

Presentación



Nuevamente les saludo en este año que nos limitó a todos en nuestros quehaceres, no solo a nivel universitario, sino que, en la vida diaria. Si bien la investigación en la Universidad de Santiago de Chile ha continuado, lo ha hecho en menor escala que un año normal. El confinamiento y las cuarentenas nos llevan a un cierre que poco a poco se va haciendo incómodamente habitual. Contribuciones, la revista vigente más antigua de la Universidad de Santiago de Chile, sigue en actividades con un alto interés por parte de los académicos por publicar en ella sus trabajos, lo cual, para nuestros investigadores, es una alternativa para la difusión global de las actividades de investigación que se realizan en nuestra Universidad. En este número, correspondiente al segundo semestre de 2020, los lectores podrán disfrutar de 5 artículos que incluyen interesantes temas: Carla Arancibia nos presenta un artículo de revisión sobre "Nanoemulsiones para la fortificación de alimentos", Jorge Gamboa realiza un resumen histórico y anecdótico del desarrollo y posterior descubrimiento de las ondas gravitacionales, incluyendo ideas desarrolladas por Einstein y Rosen con las dificultades conceptuales que ellos se enfrentaron. Angélica Peña y sus colaboradores dan cuenta de cómo la pandemia del Covid-19 fue una sorpresa para el sistema educativo mundial, y obligó a la Universidad de Santiago de Chile a implementar de manera urgente la docencia no presencial usando el programa de comunicaciones Zoom. En este artículo se muestran los factores determinantes de la docencia no presencial y hacen un estudio piloto con técnicas prospectivas desarrolladas en la Usach. Desde Venezuela el Dr. Daniel Villalobos nos introduce en nuevos conceptos estableciendo una analogía entre los procesos gerenciales y los procesos fisiológicos. Finalmente, el Dr. Javier Mallol, hace un estudio comparativo utilizando espirometría, pletismografía y reactividad bronquial a metacolina en niños con síntomas de asma autoinformados versus niños sin asma.

Ricardo Salazar González
Director DICYT



Jorge Gamboa
Departamento de Física
Facultad de Ciencia
Universidad de Santiago de Chile
jorge.gamboa@usach.cl

Sobre Ondas Gravitacionales

About gravitational waves

Jorge Gamboa y Fernando Méndez
Departamento de Física
Universidad de Santiago de Chile

Resumen

Realizamos un resumen histórico y anecdótico del desarrollo y posterior descubrimiento de las ondas gravitacionales. Primero, explicamos el contexto histórico del desarrollo de la teoría de la relatividad general y como se entendía en la época que fue formulada, segundo, enfatizamos las ideas desarrolladas por Einstein y Rosen y las dificultades conceptuales que ellos enfrentaron. La radiación gravitacional no se podía entender siguiendo el conocimiento que Einstein tenía en su época. Explicamos con anécdotas cómo se llegó al actual estado de conocimiento pasando por varios aspectos que, aunque muy técnicos, se explican de manera accesible al público general. Explicamos el origen de la clasificación de soluciones de onda plana de la teoría de Einstein y el posterior descubrimiento de las soluciones de Bondi y Pirani para terminar con el descubrimiento final de la colaboración LIGO y su premio Nobel en 2017.

Palabras claves: Einstein; Ondas gravitacionales; Relatividad general; Bondi y Pirani; Premio Nobel

Abstract

We carry out a historical and anecdotal summary of the development and subsequent discovery of gravitational waves. First, we explain the historical context of the development of the theory of general relativity and how it was understood at the time it was formulated, second, we emphasize the ideas developed by Einstein and Rosen and the conceptual difficulties they faced. Gravitational radiation could not be understood following the knowledge that Einstein had in his day. We explain with anecdotes how the current state of knowledge was reached through various aspects that, although very technical, are explained in a manner accessible to the general public. We explain the origin of the classification of planar wave solutions from Einstein's theory and the subsequent discovery of the Bondi and Pirani solutions to end with the final discovery of the LIGO collaboration and its Nobel Prize in 2017.

Keywords: Gravitational waves; General relativity; Bondi and Pirani; Nobel Prize



Introducción

La teoría de la relatividad general es una descripción dinámica del espacio-tiempo que explica como la gravitación se entiende como geometría de Riemann. La curvatura del espacio-tiempo -la cual es un concepto vital en tal geometría- es la que explica la caída de los cuerpos.

Es muy interesante observar que cuando la teoría de la relatividad general fue publicada, muchas de las nociones y varios conceptos básicos de la geometría de Riemann, o no se conocían o solo estaban a nivel de conjetura. Es por esta razón que el tensor de Riemann, una cantidad geométrica fundamental en la relatividad general, era visto como una medida de la curvatura del espacio-tiempo que entregaba información sobre la distribución de materia en el espacio-tiempo. Sin embargo, esta conclusión fue al inicio, un concepto que se justificaba a posteriori físicamente, es decir, solo después que las ecuaciones de Einstein fueron escritas.

En ausencia de materia se podía concluir -por la estructura de las ecuaciones de movimiento- que el espacio-tiempo no se curvaba, es decir que era plano. Dos años des-

pués de la aparición de la teoría general de la relatividad, el matemático Hermann Weyl descubrió que existía otro tensor, llamado ahora tensor de Weyl, que aportaba curvatura incluso en ausencia de materia.

Durante toda la década de los años veinte hubo importantes desarrollos matemáticos que permitieron clarificar y enriquecer no solo la geometría de Riemann, sino que también la propia teoría de la relatividad general.

La teoría de la relatividad general resume el trabajo de 10 años que Albert Einstein desarrolló entre 1905 y 1916 y que después de publicar varios esbozos de lo que sería su resultado final, apareció en *Annalen der Physik* con el título "Sobre la Teoría de la Relatividad General". En esta investigación Einstein no solo demostró como la ley de gravitación de Newton estaba contenida en su teoría, sino que también explicaba el corrimiento del perihelio de mercurio y también la predicción de las ondas gravitacionales.

Sin embargo, la idea de las ondas gravitacionales es mucho más sutil y difícil de ver. En efecto, cuando

en 1916 Albert Einstein publicó su trabajo fundamental no explicó en detalle bajo qué condiciones las ecuaciones de movimiento de la teoría (hoy conocidas como las ecuaciones de Einstein) predecían la existencia de ondas gravitacionales, es decir, cómo, en completa analogía con la electrodinámica, los cuerpos con masas muy grandes podían emitir radiación gravitacional cuando se aceleraban de la misma manera que las cargas aceleradas emiten o absorben radiación electromagnética.

En la descripción original de Einstein, la sola idea de propagación de ondas era difícil de digerir porque, si se procedía en analogía con la electrodinámica donde las ondas electromagnéticas se propagan en un medio que es el vacío, el análogo del medio en que estas ondas gravitacionales se propagaban no se conocía.

Un par de años más tarde del descubrimiento de la teoría general, en 1918, Einstein introdujo la aproximación de campo débil y el famoso tensor h , pero realmente él no tomó en serio la posibilidad que las ondas gravitacionales pudieran existir.



El problema de la emisión de ondas gravitacionales era, naturalmente, muy difícil de creer porque al ser la fuerza gravitacional extraordinariamente débil frente a la fuerza electromagnética (¡la razón entre la fuerza electromagnética y la fuerza gravitacional que se ejercen dos electrones es 1042!), la posibilidad de detectar efectos tan minúsculos era imposible.

Aun cuando las ondas gravitacionales, como predicción, fueron reconocidas por algunos científicos de renombre de la época como una idea nueva e interesante, su existencia y su desarrollo teórico fue escasamente conocido por casi veinte años (una excepción fue el trabajo de Guido Beck publicado en 1927 y redescubierto en los años 50 gracias a un antiguo estudiante de Beck, Peter Havas).

Es interesante hacer notar que siendo, desde el principio, la teoría general de la relatividad una descripción muy exitosa y ampliamente aceptada por la comunidad científica, mucho del trabajo científico relevante de la teoría tomó años en desarrollarse. Por ejemplo, el problema del estudio sistemático de las ecuaciones de movimiento lo desarrolló el propio Einstein en colaboración con Bannesh Hoffman y Leopold Infeld en 1938, la aproximación post-Newtoniana (es decir, las correcciones relativistas de la ley de gravitación de Newton que juegan un rol relevante en el desarrollo de comunicaciones, el GPS, por ejemplo), fueron sistematizadas por Chandrasekhar recién a mediados de los años 60.

El tema de las ondas gravitacionales fue puesto en tela de juicio por Albert Einstein y Nathan Rosen en 1936 cuando ambos enviaron para publicación a Physical Review el artículo titulado, “¿Existen las ondas gravitacionales?”.

En este trabajo se discutía en detalle la aproximación de campo débil y la imposibilidad que se propagaran ondas gravitacionales libremente en el espacio-tiempo. El argumento técnico que Einstein y Rosen presentaban para descartar la existencia de ondas gravitacionales era que su propagación necesariamente involucraba la presencia de singularidades lo que era físicamente inaceptable.

El editor del Physical Review de entonces John Tate, respondió a Einstein un mes y medio más tarde mencionándole que su artículo necesitaba ser corregido pues, tenía dos errores tipográficos y un error conceptual asociado a un tratamiento inadecuado de las singularidades de coordenadas y que un referee anónimo establecía claramente en un informe de 10 páginas que le adjuntaba. El informe del referee, además, les sugería como remediar el problema invocando una publicación de los mismos autores de unos meses antes.

Como un comentario incidental, el artículo al cual se refería el referee es actualmente un muy conocido y es aquel donde Einstein y Rosen discuten el “Einstein-Rosen Bridge” y que es la primera solución agujero de gusano conocida.

La carta de Tate sorprendió a Einstein quién no estaba acostumbrado a que le rechazaran un artículo ni menos que otro científico le revisara su trabajo y esto se refleja en la siguiente repuesta que Einstein le envió al editor del Physical Review:

Estimado Sr.

Nosotros (Rosen y yo) le enviamos nuestro manuscrito para publicación y Usted sin autorización se lo mostró a un especialista antes que esté publicado. No veo ninguna razón para responder (los comentarios erróneos) de un experto anónimo.

Teniendo en cuenta lo anterior, prefiero publicar el artículo en otra revista.

**Atentamente,
Albert Einstein**

En nuestros días la carta de Einstein sorprende porque todos los artículos enviados para publicación a revistas científicas de primer nivel son revisadas por un referee experto en el campo y solo después de un informe positivo el artículo es publicado.

No hay en la actualidad ningún documento fidedigno que permita saber quién fue el referee del artículo de Einstein y Rosen, pero si hay indicaciones que sugieren que habría sido H. P. Robertson entonces profesor en la Universidad de Princeton.

Esta hipótesis se confirma por una conversación que tuvo lugar en Princeton entre Leopold Infeld -en ese momento el nuevo asistente de Einstein que llegaba en reemplazo de Nathan Rosen- y H. P. Robertson quién le habría comentado a Infeld que el artículo de Einstein y Rosen no lo convencía. Robertson no se convencía porque la definición de frente de ondas, como en la teoría electromagnética, requería de un medio para su propagación y la aproximación de campo débil no simplificaba adecuadamente el carácter altamente no-lineal de las ecuaciones de Einstein y aparecían singularidades espurias.

El mismo día que Infeld y Robertson discutieron el artículo de Einstein y Rosen descubrieron que el error de Einstein-Rosen era usar un sistema de coordenadas incorrecto y que el argumento que daban no era suficiente para excluir la existencia de ondas gravitacionales.

Infeld le transmitió la conversación con Robertson a Einstein unas horas más tarde. Al escuchar el relato,



Einstein sonriendo le comentó a Infeld “qué curioso, anoche casualmente también me di cuenta del error y ya lo corregí”. Albert Einstein diseminó su investigación en una serie de conferencias en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton sabiendo que las conclusiones de su trabajo con Rosen no eran correctas y en el curso de sus seminarios cambió el punto de vista original para concluir que la investigación de las ondas gravitacionales era un tema “interesante de investigar cuidadosamente”.

Paralelamente a estos hechos Einstein reescribió el artículo y lo envió al Journal Franklin Institute donde fue publicado en 1937 con un ligero cambio en el título, en vez de “¿Existen las ondas gravitacionales?” lo tituló “Sobre las ondas gravitacionales” (Einstein y Rosen, 1937).

Einstein nunca más volvió a publicar un artículo sobre ondas gravitacionales en su vida, si lo hizo Nathan Rosen desde la Unión Soviética donde se afincó un tiempo para luego regresar y trabajar por el resto de su vida en Haifa (Israel). Rosen no estuvo de acuerdo con el giro del artículo con Einstein y publicó su propia versión en Phys. Z Sowjetunion en 1937 sosteniendo que las ondas gravitacionales no existían (Rosen, 1937).

El resto de la vida de Rosen estuvo profundamente influida por la aproximación de campo débil de la gravitación y fue el punto de partida para introducir la idea de gravitación bimétrica -nombre que él acuñó- y que ha llegado a ser una interesante idea explorada en la física de nuestros días pero que -injustamente- Rosen no fue reconocido en vida como merecía. A propósito de esto mismo, Nathan Rosen también fue uno de los autores del famoso artículo EPR (Einstein-Rosen-Podolsky) que originó la idea del entrelazamiento en mecánica cuántica y que

es uno de los conceptos más importantes en la mecánica cuántica.

El desarrollo e implementación física de las ondas gravitacionales requirió de un andamiaje teórico mucho más elaborado y la clasificación de todas las simetrías algebraicas del tensor de Weyl y las simetrías conforme del espacio tiempo (esto se suele llamar clasificación de Petrov). Esta clasificación es un trabajo algebraico no trivial que lleva a seis tipos de simetrías donde encajan todos los tipos de soluciones de las ecuaciones de Einstein.

La llamada simetría N es la que contiene las soluciones de frente de onda plana (y simetría cilíndrica) necesaria para estudiar las ondas y radiación gravitacional. Esta simetría fue redescubierta por Felix Pirani en 1957 sin conocer el método de clasificación de Petrov (quién lo había propuesto de manera independiente en 1954). De hecho, es esta clasificación la que permite excluir el trabajo original de Einstein y Rosen, como así también, el resultado publicado por Rosen mientras trabajaba en la Unión Soviética (Pirani, 1956).

A partir de este momento las ecuaciones de Einstein se pudieron escribir de una manera sorprendentemente simple debido al parecido con las ecuaciones de Maxwell de la teoría electromagnética.

Con los resultados establecidos por un lado por Hermann Bondi y Felix Pirani (Bondi, 1957; Bondi *et al.*, 1959; Bondi *et al.*, 1962), se pudo elaborar la teoría de la radiación gravitacional muy rápidamente y, aparte de los dos autores referidos arriba, Ivor Robinson y Andrzej Trautman jugaron un rol fundamental (Robinson y Trauman, 1960). Si revisamos la literatura sobre radiación gravitacional de los años 50 y 60 los cuatro nombres de arriba siempre

aparecen como los más importantes, algunas veces aparece también Rainer Sachs (que a propósito llegó a ser muy conocido por haber predicho el efecto Sachs-Wolfe, cuando Arthur Wolfe era su estudiante en Austin y al mismo tiempo Director de tesis de un físico chileno que muchos conocimos, Jorge Krause quién enseñó en la Universidad de Chile, Universidad Simón Bolívar y la Pontificia Universidad Católica de Chile y desgraciadamente fallecido hace algunos años atrás).

El desarrollo del formalismo de la radiación gravitacional es heroico -en muchos sentidos- por todos los esfuerzos que se tuvieron que hacer desde el punto de vista matemático para llegar finalmente a fórmulas simples. Quedaba para más adelante el problema de discriminar cómo en una medición concreta se determinaban claramente las fuentes que producían la radiación.

El desarrollo de detectores que se comenzó después -gracias al esfuerzo de Joseph Weber, Charles Misner, Brice de Witt y John Wheeler- entre los años 1958-1965 también tiene una gran cuota de heroísmo y perseverancia por la convicción y la discusión para conseguir el financiamiento y demostrar, al mismo tiempo, la viabilidad del proyecto. Se tuvo que demostrar antes las personas que administraban la ciencia que la idea tendría un fin real.

Durante estos años científicos de distintos lugares se agruparon con expertos en experimentación óptica, relatividad numérica y otras talentosas personas y conformaron en Estados Unidos principalmente el grupo LIGO y en Europa el grupo gemelo Virgo (Kennefick, 2005).

El esquema del detector LIGO que se muestra abajo tiene una estructura muy simple. Primero desde (1) se emite un haz de laser que golpea donde hay un espejo (2) semitrans-



parente que refleja la luz desde (2) y viaja (4) km hasta el espejo de la izquierda reflejándose nuevamente hasta (2). El otro haz se refracta hasta llegar al segundo brazo del espejo (3) y regresa otra vez (2). En (5) se analizan los haces reflejados y si hay alguna perturbación debida a una onda gravitacional habrá una diferencia de caminos ópticos que se detectará en (5) (Kennefick, 2005).

Teóricamente el experimento es muy simple, pero medir las perturbaciones debidas a ondas gravitacionales es un problema muy complejo por ser muy pequeños los efectos y porque el montaje del experimento requiere aislar una región muy grande y eliminar al máximo el ruido molesto para el experimento (sísmico, térmico, acústico, etc.) (Kennefick, 2005).

El detalle altamente complejo de diseñar el interferómetro y la aislación del ruido fue desarrollado principalmente por Rainer Weiss. Es curioso esto último porque a pesar que el trabajo experimental de Joseph Weber fue conocido durante largo tiempo, cayó en el olvido por lo difícil que resultaba la sola idea de detectar ondas gravitacionales, varias de las ideas que desarrolló Weiss fueron –como es reconocido ahora por todos- un redescubrimiento del trabajo hecho previamente por Weber (Kennefick, 2005).

El análisis de la física y de mediciones fue hecho por Kip. Thorne y Barry C. Barish quienes fueron además los que comandaron la colaboración LIGO que involucró a miles de científicos, técnicos y estudiantes de doctorado (Kennefick, 2005).

Las ondas gravitacionales las descubrió el grupo LIGO (y verificada por la colaboración VIRGO) en septiembre del 2015 y en octubre del

2017, Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip S. Thorne recibieron el Premio Nobel. A Rainer Weiss se le otorgó la mitad del premio en tanto que Barish y Thorne recibieron un cuarto del premio cada uno (Kennefick, 2005).

Como un comentario anecdótico, uno de nosotros (J.G.) tuvo la oportunidad de conocer a Kip Thorne en el invierno de 1984 durante una Escuela Latinoamericana de Física y conversar con él sobre ondas gravitacionales y, en particular, sobre uno de los tópicos que explicó en sus clases ese año, a saber, la aproximación de alta frecuencia como una manera de simplificar las ecuaciones de Einstein. En aquella ocasión fue la primera vez que él escuchó de los dos artículos que escribió –como parte de su tesis doctoral- Richard A. Isaacson (Isaacson, 1969a; Isaacson, 1969b).

El trabajo de Isaacson fue en parte de naturaleza técnica porque sistematizó el tratamiento de la radiación de radiación gravitacional usando lo que los físicos llaman teoría de perturbaciones, pero, por otro lado, también fue una contribución al entendimiento de lo que se mediría posteriormente porque introdujo ordenes de magnitud y escalas que sugerían como se debían interpretar los experimentos. Isaacson también puso empuje y creatividad para inaugurar un campo nuevo en la física, la relatividad numérica. Muchas de las predicciones interesantes de los años sesenta y setenta de la teoría de la relatividad general asociadas a sistemas gravitatorios binarios fue elaborada gracias a programas numéricos.

En la ceremonia de entrega del Premio Nobel en diciembre del 2017, Kip Thorne reconoció en su discurso





so, el rol fundamental que jugó Richard Isaacson en el descubrimiento de las ondas gravitacionales.

La última vez que uno de nosotros (J.G.) tuvo la ocasión de conversar con Kip Thorne fue en el año 1999 en el Centro de Estudios Científicos de Santiago, pero esta vez, fue una larga discusión filosófica en la que

estuvieron Curtis G. Callan y Stanley Deser y se habló de un tema apasionante, la evolución de estados en gravedad cuántica y teoría de cuerdas. Ambos son temas que aún no tienen una solución y se reducen a responder una aparentemente inocente pregunta, ¿Qué es tiempo en gravedad cuántica y en teoría de cuerdas?

En gravedad cuántica este problema ha sido abordado por mucha gente, en teoría de cuerdas en cambio no y recuerdo, que Stanley Deser comentó aquella tarde, “la gente ni siquiera se lo ha preguntado y es un tema tan interesante”.

Referencias

- Bondi H. 1957. Plane gravitational waves in general relativity. *Nature* 179: 1072-1073. <https://doi.org/10.1038/1791072a0>
- Bondi H, Pirani F, Robinson I. 1959. Gravitational waves in general relativity III. Exact plane waves. *Proc Roy Soc Lond A* 251: 519. <https://doi.org/10.1098/rspa.1959.0124>
- Bondi H, van der Burg MGJ, Metzner AWK. 1962. Gravitational waves in general relativity. VII. Waves from axi-symmetric isolated system. *Proc Roy Soc Lond A* 269: 21-52.
- Einstein A, Rosen N. 1937. On gravitational waves, *J Franklin Inst* 223: 43-54. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(37\)90583-0](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(37)90583-0)
- Isaacson RA. 1968. Gravitational radiation in the limit of high frequency. I. The linear approximation and geometrical optics. *Physical Review* 166: 1263.
- Isaacson RA. 1968. Gravitational radiation in the limit of high frequency. II. Nonlinear terms and the effective stress tensor. *Physical Review* 166: 1272.
- Kennefick D. 2005. Einstein versus the Physical Review. *Physics Today* 58: 43. <https://doi.org/10.1063/1.2117822>
- Pirani FAE. 1956. On the Physical significance of the Riemann tensor. *Acta Phys Polon* 15: 389-405.
- Robinson I, Trautman A. 1960. Spherical gravitational waves. *Phys Rev Lett* 4: 431.
- Rosen N. 1937. Plane polarized waves in the general theory of relativity. *Phys Z Soviet Union* 12: 366.



Carla Arancibia
Departamento de Ciencia
y Tecnología de los Alimentos
Facultad Tecnológica
Universidad de Santiago de Chile
carla.arancibia@usach.cl

Nanoemulsiones para la fortificación de alimentos

Nanoemulsions for food fortification

Daniela Rivera, Natalia Riquelme, Carla Arancibia
Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad Tecnológica
Universidad de Santiago de Chile
Obispo Umaña 050, Estación Central, Chile

Resumen

Actualmente, debido a cambios en los hábitos alimentarios de la población mundial existe déficit en algunos micronutrientes y otros compuestos lipídicos esenciales y/o beneficiosos para la salud humana. Una forma de prevenir esta problemática es la fortificación de alimentos con estos compuestos bioactivos; sin embargo, muchos de estos tienen baja solubilidad en agua y/o son inestables durante el proceso digestivo. De esta manera, los sistemas coloidales de entrega (delivery systems) proporcionan una protección a los compuestos bioactivos durante la digestión y mejoran su bioaccesibilidad, donde las nanoemulsiones son una gran alternativa ya que pueden mejorar la liberación, solubilización y absorción de estos compuestos durante el proceso digestivo. En esta revisión, nos centramos en el uso de las nanoemulsiones como método de vehiculización de diferentes compuestos bioactivos lipídicos como vitaminas, ácidos grasos libres y antioxidantes para la fortificación de alimentos. Las investigaciones recopiladas evidenciaron que la incorporación de diversos compuestos bioactivos en nanoemulsiones aumenta su bioaccesibilidad, siendo estos sistemas una buena alternativa para la fortificación de alimentos.

Palabras claves: Nanoemulsiones; Biodisponibilidad; Compuestos bioactivos; Fortificación de alimentos

Abstract

Currently, there is a deficiency in some micronutrients and other lipid compounds essential and beneficial for human health because of the changes in dietary habits of the world population. One way to prevent this problem, it is the food fortification with these bioactive compounds; however, the most of them have low water solubility and/or are unstable during the digestive process. In this way, colloidal delivery systems protect to bioactive compounds during digestion and improve their bioaccessibility, where nanoemulsions are a great alternative since they can improve the release, solubilization, and absorption of these compounds during digestion. In this review, we focus on the use of nanoemulsions for food fortification, as a carrier of different lipid bioactive compounds such as vitamins, free fatty acids, and antioxidants. The different reviewed researches have showed that the incorporation of bioactive compounds into nanoemulsions increases their bioaccessibility, being a good alternative for food fortification.

Keywords: Nanoemulsions; Bioavailability; Bioactives compounds; Food fortification.



Introducción

Las enfermedades no transmisibles (ENT) representan uno de los mayores desafíos del siglo XXI para la salud y el desarrollo, tanto por el sufrimiento humano que provocan como por los perjuicios que ocasionan en el nivel socioeconómico de los países (OMS, 2014). Las ENT matan a 41 millones de personas cada año, lo que equivale al 71% de las muertes que se producen en el mundo (OMS, 2018), donde enfermedades como diabetes tipo 2, obesidad, cáncer y cardiovasculares producen la mayoría de estos decesos a nivel mundial. Esta situación representa un problema de salud tanto para países desarrollados como aquellos en vías de desarrollo, ya que eleva los costos en salud y disminuye la calidad de vida de las personas que padecen estas enfermedades. En Chile, esto no es diferente ya que son la principal causa de muerte, donde 87 mil personas mueren aproximadamente cada año a causa de estas enfermedades lo que representa un 84% del total de los decesos en Chile (MINSAL, 2015).

El aumento de la incidencia de las ENT ocurre como consecuencia de los cambios en los hábitos alimentarios y el estilo de vida de la población. El

consumo habitual de alimentos no saludables y la inactividad física pueden manifestarse en forma de tensión arterial elevada, aumento de la glucosa y los lípidos en la sangre, y obesidad, los cuales son llamados “factores de riesgo metabólicos”, los cuales pueden dar lugar a enfermedades cardiovasculares, la principal ENT por lo que respecta a las muertes prematuras (OMS, 2018). Por ello, es que el concepto tradicional de nutrición, cuyo objetivo principal es aportar suficientes nutrientes para satisfacer los requerimientos metabólicos de los individuos, ha evolucionado hacia el concepto de “nutrición óptima”, que se entiende como la optimización de la ingesta diaria de nutrientes y compuestos bioactivos que ayuden a prevenir ciertas enfermedades y favorezcan un estilo de vida más saludable (Nehir y Simsek, 2011).

Existen diversos compuestos bioactivos lipídicos, como ácidos grasos ω -3, carotenoides y fitoesteroles, de gran interés para la nutrición de la población debido a sus potenciales efectos beneficiosos sobre la salud si son consumidos como parte de la dieta diaria, como: antioxidantes que previenen los procesos biológicos de oxidación;

anticolesterolémicos que protegen el sistema cardiovascular; compuestos que tienen efectos antiinflamatorios y antihipertensivos; o aquellos que disminuyen el riesgo de incidencia de diversos tipos de cánceres (D'Evoli *et al.*, 2015; Gutiérrez *et al.*, 2019). También, existe una gran preocupación por el déficit de algunos micronutrientes esenciales para la nutrición humana, principalmente vitaminas, debido a los cambios en los hábitos alimentarios motivados por dietas poco variadas o por la eliminación de productos de origen animal (HLPE, 2017). Adicionalmente, hay grupos etarios que tienen un mayor riesgo de presentar estas deficiencias, como por ejemplo: los lactantes de entre 6 a 12 meses debido a una alimentación sólida poco variada (OMS, 2017), o las personas mayores (>65 años) por los cambios fisiológicos que ocurren producto del envejecimiento, ya que con la edad se puede generar una ineficiente absorción de nutrientes (Shlisky *et al.*, 2017). Por lo tanto, la fortificación de alimentos con compuestos bioactivos y/o vitaminas puede ser una gran ayuda en la prevención de ENT. Sin embargo, muchos de estos compuestos tienen baja solubilidad en agua y/o son inestables frente a las condiciones del



proceso digestivo (Emam-Djomeh & Rezvankhak, 2020), por ello es importante vehiculizarlos en alimentos y/o matrices alimentarias bioaccesibles de modo de favorecer su absorción después del proceso de digestión. De esta manera, uno de los desafíos de la industria alimentaria es poder mejorar la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos lipídicos incorporados a los alimentos, lo que implica aumentar su liberación desde la matriz alimentaria durante el proceso de digestión gastrointestinal, para así mejorar su absorción por las células del epitelio intestinal (Wojtunik-Kulesza *et al.*, 2020). Recientemente, se han estudiado diversas estrategias para mejorar la liberación, solubilización y absorción de estos compuestos lipídicos, donde los sistemas coloidales de entrega (delivery systems) presentan diversas ventajas para la incorporación de compuestos bioactivos lipídicos en productos alimenticios, ya que pueden ser diseñados para prevenir la oxidación lipídica, proteger a los compuestos bioactivos durante la digestión y aumentar su biodisponibilidad (Salvia-Trujillo *et al.*, 2016; Luo, 2020). Entre los sistemas coloidales más estudiados se encuentran: emulsiones, nanoemulsiones, nanopartículas lipídicas sólidas, liposomas y transportadores de lípidos nanoestructurados (McClements, 2020); siendo las nanoemulsiones una buena alternativa para el desarrollo de alimentos biológicamente eficientes para la fortificación de alimentos (Nile *et al.*, 2020). Las nanoemulsiones pueden aumentar y/o mejorar la biodisponibilidad de compuestos bioactivos lipídicos vehiculizados en ellas debido a su menor tamaño de partícula y mayor área superficial, lo cual permite una rápida interacción con los componentes biológicos del sistema gastrointestinal (Rizvi & Saleh, 2018). Estos sistemas han sido ampliamente estudiados para el control, liberación y/o absorción de diversos compuestos lipídicos durante la digestión (Rehzo *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019; Gasa-Falcón *et al.*, 2020). Por lo tanto,

la presente revisión tiene como objetivo analizar la aplicación de las nanoemulsiones como vehículos de diferentes compuestos bioactivos lipídicos para la fortificación de alimentos.

Nanoemulsiones

Las nanoemulsiones consisten en una dispersión de dos líquidos inmiscibles (generalmente aceite y agua), donde uno de los líquidos se dispersa en forma de pequeñas gotas esféricas (<200 nm) en el otro (Liu & Hu, 2020). Las principales ventajas de emplear nanoemulsiones en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, en comparación con las emulsiones convencionales, son: i) dispersan la luz más fácilmente por lo que tienden a ser transparentes, lo cual genera un menor impacto sobre las propiedades ópticas del alimento (Simonazzi *et al.*, 2018); ii) presentan una alta estabilidad física frente a la agregación y separación gravitacional de las partículas, lo que aumenta la estabilidad de la nanoemulsión durante el almacenamiento (Liu *et al.*, 2019); y iii) pueden aumentar considerablemente la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos lipídicos vehiculizados en ellas (Montes de Oca-Ávalos *et al.*, 2017).

Si bien las nanoemulsiones presentan características prometedoras para su utilización en la industria alimentaria, aún existe cierta preocupación por parte de los consumidores y/o agencias estatales sobre los riesgos asociados al consumo de nanopartículas en alimentos y/o suplementos alimenticios. Hasta el momento, no existe una regulación específica para las nanoemulsiones en Chile y/o en países como Estados Unidos, Japón o China. En Europa a través de la EFSA (European Food Safety Authority) se ha avanzado en el tema, ya que se ha publicado una guía para evaluar el riesgo de los nanomateriales presentes o en contacto con alimentos, donde se indi-

ca que se debe evaluar la digestión completa de la nanopartícula en el tracto gastrointestinal para comprobar que no exista riesgo de absorción de especies no deseadas y de su bioacumulación (EFSA, 2018). En los últimos años se han publicado diversos estudios donde se ha evaluado la interacción de las nanoemulsiones bioactivas (tocoferoles, resveratrol y curcumina) con distintos sistemas biológicos (embriones de pollo y células HepG2, SL-N-SH y fibroblastos), los cuales han concluido que la aplicación de nanoemulsiones con fines terapéuticos es segura para el ser humano (Pund *et al.*, 2014; Sood *et al.*, 2014; Vecchione *et al.*, 2016; Kaur *et al.*, 2017). Cabe destacar, que empresas internacionales como NutraLease Ltd. (Israel) están trabajando en la nanoencapsulación de compuestos funcionales como coenzima Q10, licopenos, luteína, carotenos, ácidos grasos ω -3, vitaminas liposolubles, fitoesteroles e isoflavonas para su incorporación en bebidas. Aquanova AG (Alemania), con su producto NovaSOL®, ha desarrollado nanocarriers para mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de compuestos funcionales encapsulados. Unilever® ha desarrollado un helado más saludable y con menor contenido de grasa utilizando nanoemulsiones en su formulación (Saxena *et al.*, 2017).

Nanoemulsiones como vehículos de compuestos bioactivos durante la digestión

Los sistemas basados en nanoemulsiones diseñados para el control, liberación y/o absorción de compuestos bioactivos lipídicos durante la digestión han sido estudiados para una amplia variedad de aplicaciones en la industria farmacéutica (Tabla N° 1); sin embargo, su uso en alimentos sigue siendo limitado debido a la falta de evidencia respecto a su estabilidad y funcionalidad en su paso por el sistema gastrointestinal (Salvia-Trujillo *et al.*, 2017).

Tabla N° 1. Estudios recientes sobre la bioaccesibilidad de compuestos bioactivos lipídicos incorporados en nanoemulsiones.

Compuesto bioactivo	Composición de la emulsión	Tamaño de partícula	Bioaccesibilidad	Referencia
Vitamina A (β-caroteno)	-Fase lipídica: Aceite de maíz -Emulsificante: Tween 20 -Espesante: Fibra de mandarina	Emulsión convencional: 1920 nm Nanoemulsión: 167 nm	Las nanoemulsiones con fibra de mandarina aumentaron la bioaccesibilidad del β-caroteno (40%), en comparación con la emulsión convencional (25%).	Gasa-Falcon <i>et al.</i> , 2017
Vitamina A (β-caroteno)	-Fase lipídica: Aceite de maíz -Emulsificante: Aislado de proteína de suero, aislado de proteína de soya y caseinato de sodio	220-484 nm	Las nanoemulsiones estabilizadas con aislado de proteína de soya presentaron la mayor incorporación y retención del β-caroteno en las micelas mixtas, 32 y 68%, respectivamente.	Chen <i>et al.</i> , 2020a
Tocotrienoles (vitamina E)	-Fase lipídica: Aceite rico en triglicéridos de cadena media -Emulsificante: Saponinas del quillay	Emulsión convencional: 14-32 μm Nanoemulsión: 220-350 nm	La bioaccesibilidad de los tocotrienoles incorporados en las nanoemulsiones aumentó en relación a las emulsiones convencionales y al compuesto libre, desde 27 a 45%.	Xu <i>et al.</i> , 2018
Vitamina E	-Fase lipídica: Aceite de maíz -Emulsificante: Saponinas del quillay	0,62-0,97 μm	La nanoemulsiones óptimas (80% aceite de maíz y 20% vitamina E) presentaron la mayor bioaccesibilidad de la vitamina E (54%).	Lv <i>et al.</i> , 2018
Vitamina E	- Fase lipídica: Aceite de maíz - Emulsificante: Goma arábica, saponinas del quillay y aislado de proteína de suero	50-550 nm	Las nanoemulsiones estabilizadas con aislado de proteína de suero presentaron la mayor bioaccesibilidad de la vitamina E(85%).	Lv <i>et al.</i> , 2019

Vitamina D3	<ul style="list-style-type: none"> - Fase lipídica: Aceite de canola - Emulsificante: Proteínas de arveja 	89-135 nm	Las nanoemulsiones mejoraron la incorporación de la vitamina D3 a las micelas mixtas en relación a la vitamina libre, aumentando su bioaccesibilidad de 24 a 63%.	Jiang <i>et al.</i> , 2019
Vitamina D3	<ul style="list-style-type: none"> - Fase lipídica: Aceite de canola - Emulsificante: Proteínas de arveja y lecitina de soya 	170-350 nm	La eficiencia de transporte de la vitamina D a las células Caco-2 fue 5,3 veces mayor en comparación con la vitamina libre.	Walia & Chen, 2020
Curcumina	<ul style="list-style-type: none"> - Fase lipídica: Aceite rico en triglicéridos de cadena media - Emulsificante: Tween 20 	63-126 nm	Las nanoemulsiones con la menor concentración de emulsificante presentaron la mayor liberación de ácidos grasos (> 100%) durante la digestión intestinal.	Joung <i>et al.</i> , 2016
Luteína	<ul style="list-style-type: none"> - Fase lipídica: Aceite de maíz - Emulsificante: Aislado de proteína de suero 	69-147 nm	Al disminuir el tamaño de partícula de las nanoemulsiones aumentó la absorción de la luteína en las células Caco-2, desde 329,5 a 872,9 pmol/mg de proteína.	Teo <i>et al.</i> , 2017
Astaxantina	<ul style="list-style-type: none"> - Fase lipídica: Aceite de linaza, oliva y maíz - Emulsificante: Tween 80 	~ 340 nm	La incorporación de astaxantina en las nanoemulsiones aumentó su bioaccesibilidad (47,9 - 68,3%), en comparación con la astaxantina libre (6,5%).	Liu <i>et al.</i> , 2018

Quercetina	- Fase lipídica: Aceite de soya - Emulsificante: Proteínas del salvado de arroz	216-258 nm	La biodisponibilidad de la quercetina aumentó desde 1,4 a 12,7%, cuando fue incorporada en las nanoemulsiones.	Chen <i>et al.</i> , 2020b
Licopeno	- Fase lipídica: Aceite de sésamo, linaza y nuez - Emulsificante: Lactoferrina	200-287 nm	Las nanoemulsiones aumentaron la bioaccesibilidad del licopeno (15-25%) en relación a la pulpa de tomate (0,1%).	Zhao <i>et al.</i> , 2020
Ácido carnósico	- Fase lipídica: Aceite rico en triglicéridos de cadena media - Emulsificante: Lecitina de soya	~ 165 nm	La bioaccesibilidad del ácido carnósico fue mayor cuando se incorporó en las nanoemulsiones (28,9%), en comparación con su forma libre (5,1%).	Zheng <i>et al.</i> , 2020
Ácidos grasos ω -3 (DHA)	- Fase lipídica: Aceite de algas rico en DHA - Emulsificante: Tween 40, caseinato de sodio y lecitina de soya	148-760 nm	Las nanoemulsiones con DHA aumentaron de 1,7 a 2,3 veces el porcentaje de liberación de ácidos grasos, en relación al DHA libre.	Karthik & Anandharama-Krishnan, 2016
Ácidos grasos ω -3 (EPA y DHA)	- Fase lipídica: Aceite de pescado rico en EPA y DHA - Emulsificante: Tween 20, Span 80 y aislado de proteína de sésamo	89-126 nm	La incorporación del aislado de proteína de sésamo como co-emulsificante a las nanoemulsiones permitió aumentar la liberación de ácidos grasos (>90%).	Dey <i>et al.</i> , 2018
Ácidos grasos ω -3 (EPA y DHA)	- Fase lipídica: Aceite de pescado rico en EPA y DHA - Emulsificante: Tween 20 y Span 80	Emulsión convencional: 1529 nm Nanoemulsión: 89 nm	Las nanoemulsiones aumentaron 2,5 veces la velocidad de absorción de los ácidos grasos ω -3 en el intestino delgado de ratas, en comparación con las emulsiones convencionales.	Dey <i>et al.</i> , 2019

Cuando un alimento se consume suceden una serie de cambios en su estructura debido a los distintos procesos que ocurren dentro del sistema gastrointestinal (boca, estómago e intestinos delgado y grueso) (Norton *et al.*, 2014), donde los distintos componentes del alimento se liberan desde la matriz alimentaria durante el proceso digestivo, para luego solubilizarse en las micelas mixtas y ser absorbidos por las células del epitelio intestinal (McClements y Xiao, 2014; McClements, 2015), tal como se observa en la Figura N° 1.

El proceso de digestión de los lípidos presentes en las nanoemulsiones ocurre tanto en la fase gástrica como en la intestinal, donde los triglicéridos son hidrolizados por las lipasas gástrica y pancreática liberando diacilglicéridos (DG), monoacilglicéridos (MG) y ácidos grasos libres (FFA) (Salvia-Trujillo *et al.*, 2017). Una vez que los lípidos han sido digeridos, las moléculas liberadas (DG, MG y AGL) se mezclan con fosfolípidos, sales biliares y colesterol formando una mezcla compleja de estructuras coloidales (micelas mixtas, vesículas lipídicas y/o los cristales líquidos), que se absorben en los enterocitos por difusión pasiva y se empaquetan en quilomicrosomas antes de entrar en el sistema circulatorio, a través del sistema linfático (Ye *et al.*, 2018; Wang y Luo,

2019). De esta manera, la velocidad a la cual se liberan los distintos compuestos lipídicos desde la matriz alimentaria durante el proceso de digestión y su biodisponibilidad dependerá del tipo y estructura del alimento; donde las nanoemulsiones pueden ser una herramienta eficaz para facilitar la liberación de compuestos bioactivos lipídicos durante las fases gástrica e intestinal debido a su menor tamaño de partícula, mayor estabilidad y gran área superficial en contacto con las enzimas digestivas, lo cual podría mejorar la bioaccesibilidad de los compuestos lipídicos y su posterior absorción en el intestino (Salvia-Trujillo *et al.*, 2016). No obstante, existen numerosos factores que influyen en la digestión de las nanoemulsiones dentro del sistema gastrointestinal, como el tamaño de partícula, propiedades interfaciales, propiedades reológicas y/o textura, presencia de iones de calcio, agentes quelantes, fosfolípidos y fibras dietéticas, entre otros (Li y McClements, 2010; McClements, 2015).

Nanoemulsiones para vehicular vitaminas liposolubles

Las vitaminas son compuestos que no pueden sintetizarse en el organismo, por lo que deben obtenerse de los alimentos en cantidades adecuadas para el buen desarrollo, crecimiento y funcionamiento del

cuerpo (Borel y Desmarchelier, 2018; Dima *et al.*, 2000). Las vitaminas se dividen en dos grandes grupos: hidrosolubles y liposolubles, donde la vitamina A (retinol, ácido retinoico, retina y carotenoides pro-vitamina A), la vitamina D (ergocalciferol-D2 y colecalciferol-D3), la vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles), y la vitamina K (filoquinona y menaquinonas) corresponden al grupo de las vitaminas liposolubles (Raikos y Ranawana, 2017).

Las vitaminas liposolubles se encargan de muchos procesos metabólicos, por ejemplo, la vitamina A juega un papel fundamental en la salud visual, en la reproducción y el desarrollo embrionario, el crecimiento y diferenciación celular, y la función inmunológica (Gonçalves *et al.*, 2016). De la misma forma, la vitamina D se encarga de mantener los niveles de calcio y fósforo para la mineralización de los huesos y para mantener la función muscular (Sanders *et al.*, 2014). En el caso de la vitamina E, se caracteriza por sus propiedades antioxidantes, pueden modular la transducción de señales y la expresión génica de numerosas afecciones (Reboul, 2017; Khadangi y Azzi, 2018). Mientras que, la vitamina K, además de su rol en la coagulación de la sangre, pueden mejorar la salud ósea al regular la acumulación de minerales óseos en los huesos (Palermo *et al.*, 2017).

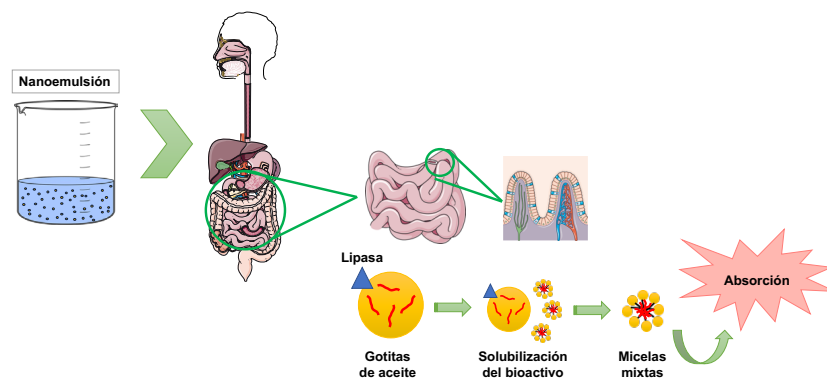


Figura N° 1. Diagrama de la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos lipídicos incorporados en nanoemulsiones luego del proceso de digestión.

Tabla N° 2. Ingesta diaria requerida de las diferentes vitaminas liposubles, según edad.

Grupo de la población	Edad	Vitamina A (µg/d)	Vitamina D (µg/d)	Vitamina E (µg/d)	Vitamina K (µg/d)
Lactantes	0-12 meses	400-500	5	4-5	2,0-2,5
Niños/as	1-8 años	300-400	5	6-7	20-55
Hombres/ Mujeres	9-13 años	600	5	11	60
	14-60 años	700-900	5	15	75
Personas mayores	>60 años	700-900	10-15	15	90-120
Embarazadas	18-50 años	750-770	5	15	75-90
Madres lactantes	18-50 años	1200-1300	5	19	75-90

Nota: Datos tomados de: Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes (OMS, 2017).

Para poder obtener los beneficios anteriormente mencionados, las vitaminas deben ser incorporadas en la dieta de forma habitual y en concentraciones que permitan sus funciones metabólicas. En la Tabla N° 2, se muestran la ingesta diaria requerida (IDR) de las distintas vitaminas liposolubles para los distintos grupos etarios de la población.

A pesar de la importancia del consumo de estas vitaminas, es posible que las poblaciones de riesgo no incorporen la IDR a su dieta, debido a las fuentes naturales limitadas, y a los diversos problemas fisiológicos y nutricionales (Öztürk, 2017). Además, su incorporación presenta algunos desafíos debido a su baja estabilidad química durante la producción, almacenamiento y transporte de los alimentos (Raikos y Ranawana, 2017).

Es por esta razón que se han aplicado diversos mecanismos para vehicular vitaminas, evaluando el impacto de diversos factores sobre la bioaccesibilidad de estos compuestos en nanoemulsiones. En este sentido, Tan *et al.* (2019) estudiaron el impacto del uso de un aceite no

digerible en la bioaccesibilidad de la vitamina D3 nanoemulsionada, formulando 4 muestras: nanoemulsión con aceite digerible (DO), nanoemulsión con aceite no digerible (IO), nanoemulsión con la mezcla de ambos aceites (OM) y la mezcla de ambas nanoemulsiones (EM). Los resultados demostraron que tanto la velocidad de digestión lipídica como la bioaccesibilidad de la vitamina aumentaron en el siguiente orden: IO>OM≈EM>DO; obteniendo la máxima bioaccesibilidad (75,2%) la muestra DO. Además, Chen *et al.* (2020a), evaluaron el uso de diferentes proteínas (aislado de proteína de suero-WPI, aislado de proteína de soya-SPI y caseinato de sodio-SC) para estabilizar nanoemulsiones sobre la bioaccesibilidad del β-caroteno (pro-vitamina A) durante el proceso de digestión in vitro. Los investigadores encontraron que el tipo de proteína afectó la bioaccesibilidad del β-caroteno, donde las nanoemulsiones con SPI presentaron la mayor absorción y retención del β-caroteno en las micelas mixtas, 32 y 68%, respectivamente. Mientras que, Xu *et al.* (2018) determinaron el efecto del tamaño de partícula de emulsiones sobre la

bioaccesibilidad de tocotrienoles (vitamina E). Así, los tocotrienoles se sometieron a un modelo de digestión gastrointestinal, en su forma libre (aceite) e incorporados en emulsiones con distinto tamaño de partícula: emulsión convencional (>10 µm) y nanoemulsión (<350 nm). Los principales resultados indicaron que la velocidad de digestión lipídica y la bioaccesibilidad del tocotrienol mejoró cuando estos fueron incorporados a las nanoemulsiones, observando que la liberación de ácidos grasos fue <100% y la bioaccesibilidad igual a 47%. Por otro lado, en el estudio realizado por Gasa-Falcon *et al.* (2017) analizaron la incorporación de fibra soluble (fibra de mandarina, 0,5-2,0 g/100 g) a nanoemulsiones que contenían β-caroteno y evaluaron el efecto sobre su bioaccesibilidad. Los autores indicaron que la adición de hasta 1 g de fibra de mandarina/100 g fue eficaz para mejorar la bioaccesibilidad del β-caroteno nanoemulsionado, alcanzando un 40% de bioaccesibilidad.

Finalmente, la evidencia científica ha demostrado la ventaja de utilizar nanoemulsiones para mejorar la

bioaccesibilidad de las vitaminas; no obstante, se necesitan más estudios de su aplicación en alimentos reales con el fin de aumentar la eficiencia biológica de las vitaminas.

Nanoemulsiones para vehicular ácidos grasos omega-3

Dentro de la familia de los ácidos grasos, los ácidos grasos poliinsaturados ω -3 de cadena larga (AGPICL ω -3), principalmente el ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3) y el ácido docosohexaenoico (DHA, C22:6 ω -3), son considerados como compuestos bioactivos esenciales para la nutrición y salud humana (Joyce *et al.*, 2018), ya que participan en múltiples procesos fisiológicos. Dentro de sus funciones, destacan su papel en la mejora de las funciones cognitivas, disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares e inflamatorias, y su relación con la reducción del riesgo de padecer ciertos tipos de cánceres (Echeverría *et al.*, 2016; Echeverría *et al.*, 2017; Gayoso *et al.*, 2019). La Consulta de Expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO, 2010) ha determinado que el promedio del rango aceptable de distribución de macronutrientes (AMDR) de ácidos grasos ω -3 (EPA+DHA) para los lactantes y niños es de 100 mg/día, para los adultos es de 250 mg/día, y para las embarazadas y mujeres en período de lactancia es de 300 mg/día.

A pesar de que los AGPICL ω -3 se encuentran en cantidades importantes en los pescados grasos, microalgas e invertebrados marinos (Cholewski *et al.*, 2018), a muchos consumidores no les gusta su sabor. Además, existe una falta de accesibilidad de los productos marinos frescos en algunas regiones del mundo, lo que provoca que gran parte de la población no consuma las dosis recomendadas de AGPICL

ω -3 (Joyce *et al.*, 2018). Es por ello, que el desarrollo de alimentos funcionales ricos en AGPICL ω -3, es una alternativa para aumentar la ingesta de estos nutrientes; sin embargo, los AGPICL ω -3 presentan una baja solubilidad en agua y son susceptibles a la oxidación en condiciones gastrointestinales y de almacenamiento, lo cual afecta su biodisponibilidad (Walker *et al.*, 2015). Por ello, las nanoemulsiones ofrecen una solución para la incorporación de AGPICL ω -3 en diversos alimentos.

En el estudio realizado por Karthik y Anandharamkrishnan (2016) sobre la incorporación de DHA en nanoemulsiones para aumentar su estabilidad y bioaccesibilidad durante la digestión *in vitro*, los autores estudiaron el efecto de diferentes agentes emulsificantes: Tween 40 (T40), caseinato de sodio (NaCa) y lecitina de soya (SL). Los resultados indicaron que la velocidad de liberación de los ácidos grasos durante la digestión intestinal fue mayor en las nanoemulsiones estabilizadas con T40, seguidas de aquellas con SL y NaCa. Además, la incorporación de DHA a las nanoemulsiones aumentó de 1,7 a 2,3 veces el porcentaje de liberación de ácidos grasos, en relación al DHA libre. Por otro lado, Dey *et al.* (2018) utilizaron una nueva proteína polimérica (aislado de proteína de sésamo-SPI) como alternativa de un surfactante natural en nanoemulsiones con aceite de pescado rico en AGPICL ω -3. Los autores demostraron que el uso de SPI como agente surfactante permitió una liberación de ácidos grasos >90% desde el aceite de pescado; además, el uso de SPI en nanoemulsiones no causó toxicidad en células mononucleares de sangre de ratas. De igual manera, Dey *et al.* (2019) investigaron el efecto del tamaño de partícula de emulsiones (emulsión convencional y nanoemulsión) sobre la biodisponibilidad de

aceite de pescado rico en AGPICL ω -3 utilizando un modelo intestinal ex vivo de rata. Los resultados indicaron que la nanoemulsión aumentó 2,5 veces la velocidad de absorción de AGPICL ω -3 en el intestino delgado en comparación a la emulsión convencional.

Por lo tanto, la vehiculización de compuestos lipídicos en nanoemulsiones es una herramienta prometedora para aumentar la bioaccesibilidad de los AGPICL ω -3; sin embargo, la composición y estructura de las nanoemulsiones es fundamental para mejorar la bioaccesibilidad de estos compuestos, y por ende es necesario optimizar dichas condiciones para generar sistemas de liberación más eficientes.

Nanoemulsiones para vehicular antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que forman parte de los alimentos que consumimos diariamente, los cuales protegen a nuestras células de los efectos nocivos de los radicales libres durante los procesos oxidativos (Mardigan *et al.*, 2018), lo que ayuda en la prevención de la incidencia de ENT (Zhang *et al.*, 2015). Los antioxidantes más comunes presentes en los alimentos son las vitaminas C y E, los carotenoides y los polifenoles (Ferramosca *et al.*, 2017; Belviranlı y Okudan, 2015), los cuales no se pueden sintetizar en el organismo, por lo que se recomienda consumir al menos 400 gramos de frutas y verduras ricas en estos compuestos (Shahidi y Ambigaipalan, 2015), como maqui, arándanos, perejil, ajo, tomate, etc. (INTA, 2016). A pesar de esto, la estabilidad y bioaccesibilidad de los antioxidantes lipídicos es limitada, debido a su escasa solubilidad en agua, inestabilidad química, fotodegradación, alta velocidad de degradación metabólica, rápida



eliminación del cuerpo y baja biodisponibilidad oral (Mahfoudhi *et al.*, 2016), cuya encapsulación y vehiculización representa todo un desafío para la industria alimentaria.

Se han realizado diversos estudios sobre la vehiculización de agentes antioxidantes en nanoemulsiones. Sun *et al.* (2015), estudiaron la influencia del tipo de aceite como carrier (aceite de linaza y aceite de oliva) en la biodisponibilidad del antioxidante pterostilbeno incorporado en nanoemulsiones. Los autores indicaron que ambas nanoemulsiones aumentaron la bioaccesibilidad del antioxidante (47 y 44% para linaza y oliva, respectivamente) en relación al pterostilbeno libre (11%). Sin embargo, las nanoemulsiones con aceite de oliva aumentaron el transporte celular (Caco-2) del pterostilbeno, en comparación con aquellas elaboradas con aceite de linaza. De igual forma, Salvia-Trujillo *et al.* (2015), estudiaron el tipo de aceite como carrier (aceite rico en triglicéridos de cadena media-MCT, aceite rico en triglicéridos de cadena larga-LCT y aceite no digerible: aceite de naranja/mineral-ND) en nanoemulsiones con fucoxantina y su efecto en la bioaccesibilidad durante la digestión *in vitro*. Los resultados mostraron que las nanoemulsiones con MCT y LCT se digirieron (lipólisis) completamente

durante la digestión *in vitro*, mientras que las que contenían ND no se digirieron. Por otro lado, la solubilidad de la fucoxantina en las micelas mixtas y su absorción en las células epiteliales intestinales aumentó en el siguiente orden: ND > MCT > LCT. Por otro lado, Joung *et al.* (2016), desarrollaron nanoemulsiones con curcumina variando la relación aceite:emulsificante (1:0,3; 1:0,5; 1:0,7; 1:1 y 1:1,5) y evaluaron su efecto en la bioaccesibilidad de la curcumina. Los resultados indicaron que el aumento de la concentración de emulsificante retrasó la liberación de ácidos grasos durante la digestión *in vitro*, sin embargo, todas las nanoemulsiones presentaron un porcentaje de liberación de ácidos grasos >100%. Mientras que, Sotomayor-Gerding *et al.* (2016), determinaron el efecto de las condiciones de proceso de homogenización por altas presiones en la obtención de nanoemulsiones bioactivas estudiando la bioaccesibilidad de dos tipos de carotenoides (astaxantina y licopeno). Los autores determinaron que los carotenoides fueron altamente bioaccesibles (>70%), y que las nanoemulsiones con las condiciones de proceso más altas de homogeneización (100 MPa) presentaron la mayor bioaccesibilidad (93%), debido su menor tamaño de partícula (<200 nm).

Por lo tanto, se ha demostrado que las nanoemulsiones son sistemas coloidales de entrega (delivery systems) eficientes para mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de diferentes antioxidantes liposolubles; sin embargo, este efecto depende de la composición de las nanoemulsiones.

Conclusión

En conclusión, diferentes investigaciones han evidenciado la eficacia de las nanoemulsiones como vehículos de compuestos bioactivos lipídicos, como vitaminas (A, D, E y K), ácidos grasos (DHA y EPA) y antioxidantes (fucoxantina, curcumina, astaxantina y licopeno) durante la digestión, permitiendo una rápida interacción con los componentes biológicos (enzimas digestivas y fluidos gastrointestinales) lo que mejora la bioaccesibilidad de estos compuestos funcionales. Sin embargo, se necesitan más estudios referentes a la aplicación de nanoemulsiones en alimentos reales, con el fin de aumentar la eficiencia de este sistema de encapsulación, ya que los distintos componentes de los alimentos pueden interactuar con las nanoemulsiones, afectando la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos.



Referencias

- Belviranlı M, Okudan N. 2015. Well-known antioxidants and newcomers in sport nutrition: Coenzyme Q10, quercetin, resveratrol, pterostilbene, pycnogenol and astaxanthin. In *Antioxidants in Sport Nutrition*. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, USA. <https://doi.org/10.1201/b17442-5>
- Borel P, Desmarchelier C. 2018. Bioavailability of fat-soluble vitamins and phytochemicals in humans: Effects of genetic variation. *Ann Rev Nutr* 38: 69-96. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082117-051628>
- Chen L, Yokoyama W, Liang R, Zhong F. 2020a. Enzymatic degradation and bioaccessibility of protein encapsulated β -carotene nanoemulsions during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Hydrocolloids* 100: 105177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105177>
- Chen W, Ju X, Aluko RE, Zou Y, Wang Z, Liu M, He R. 2020b. Rice brain protein-based nanoemulsion carrier for improving stability and bioavailability of quercetin. *Food Hydrocolloids* 108: 106042. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106042>
- Cholewski M, Tomczykowa M, Tomczyk M. 2018. A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients* 10: 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- D'Evoli L, Lucarini M, Gabrielli P, Aguzzi A, Lombardi-Boccia G. 2015. Nutritional value of Italian pistachios from Bronte (*Pistacia vera* L.), their nutrients, bioactive compounds and antioxidant activity. *Food Nutr Sci* 6: 1267. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.614132>
- Dey TK, Banerjee P, Chatterjee R, Dhar P. 2018. Designing of ω -3 PUFA enriched biocompatible nanoemulsion with sesame protein isolate as a natural surfactant: Focus on enhanced shelf-life stability and biocompatibility. *Colloids and Surfaces A* 538: 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.10.066>
- Dey TK, Koley H, Ghosh M, Dey S, Dhar P. 2019. Effects of nano-sizing on lipid bioaccessibility and ex vivo bioavailability from EPA-DHA rich oil in water nanoemulsion. *Food Chem* 275: 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.084>
- Dima C, Assadpour E, Dima S, Jafari SM. 2020. Nutritional nanodelivery; and insight into the bioaccessibility/bioavailability of different bioactive compounds loaded within nanocarriers. *Crit Rev Food Sci Nutr* 1: 1-35. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1792409>
- Echeverría F, Ortiz M, Valenzuela R, Videla LA. 2016. Long-chain polyunsaturated fatty acids regulation of PPARs, signaling: Relationship to tissue development and aging. *Prostaglandins, Leukotrienes Essent Fatty Acids* 114: 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.10.001>
- Echeverría F, Valenzuela R, Hernández-Rodas MC, Valenzuela A. 2017. Docosahexaenoic acid (DHA), a fundamental fatty acid for the brain: New dietary sources. *Prostaglandins, Leukotrienes Essent Fatty Acids* 124: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2017.08.001>
- EFSA. 2018. Guidance on risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. Part 1, human and animal health. European Food Safety Authority. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2018.en-1430>
- Emam-Djomeh Z, Rezvankhah A. 2020. Targeted release of nanoencapsulated food ingredients. In *release and bioavailability of nanoencapsulated food ingredients*, Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815665-0.00003-5>
- FAO. 2010. Estudio FAO Alimentación y Nutrición 91: Grasas y ácidos grasos en nutrición humana, Consulta de expertos. Food and Agriculture Organization, Roma, Italia.
- Ferramosca A, Di Giacomo M, Zara V. 2017. Antioxidant dietary approach in treatment of fatty liver: New insights and updates. *World J Gastroenterol* 23: 4146-4157. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i23.4146>
- Gasa-Falcón A, Odriozola-Serrano I, Oms-Oliu G, Martín-Belloso O. 2017. Influence of mandarin fiber addition on physico-chemical properties of nanoemulsions containing β -carotene under simulated gastrointestinal digestion conditions. *LWT-Food Sci Technol* 84: 331-337. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.070>
- Gasa-Falcón A, Odriozola-Serrano I, Oms-Oliu G, Martín-Belloso O. 2020. Nanostructured lipid-based delivery systems as a strategy to increase functionality of bioactive compounds. *Foods* 9: 325. <https://doi.org/10.3390/foods9030325>
- Gayoso L, Ansorena D, Astiasarán I. 2019. DHA rich algae oil delivered by O/W or gelled emulsions: Strategies to increase its bioaccessibility. *J Sci Food Agric* 99: 2251-2258. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9420>



- Gomes A, Furtado GDF, da Cunha RL. 2018. Bioaccessibility of lipophilic compounds vehiculated in emulsions: Choice of lipids and emulsifiers. *J Agric Food Chem* 67: 13-18. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05460>
- Gonçalves A, Estevinho BN, Rocha F. 2016. Microencapsulation of vitamin A: A review. *Trends Food Sci Technol* 51: 76-87.
- Gutiérrez S, Svahn SL, Johansson ME. 2019. Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. *Int J Mol Sci* 20: 5028.
- HLPE. 2017. La nutrición y los sistemas alimentarios. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, Roma, Italia.
- INTA. 2016. Los colores de la salud. <https://inta.cl/wp-content/uploads/2018/05/Los-colores-de-la-salud.pdf>
- Jiang S, Yildiz G, Ding J, Andrade J, Rababah TM, Almajwal A, Abulmeatyc MM, Feng H. 2019. Pea protein nanoemulsion and nanocomplex as carriers for protection of cholecalciferol (vitamin D3). *Food Bioproc Technol* 12: 1031-1040. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02276-0>
- Joung HE, Choi MJ, Kim JT, Park SH, Park HJ, Shin GH. 2016. Development of food-grade curcumin nanoemulsion and its potential application to food beverage system: Antioxidant property and in vitro digestion. *J Food Sci* 81: 745-753. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13224>
- Joyce P, Gustafsson H, Prestidge CA. 2018. Enhancing the lipase-mediated bioaccessibility of omega-3 fatty acids by microencapsulation of fish oil droplets within porous silica particles. *J Funct Foods* 47: 491-502. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.015>
- Karthik P, Anandharamkrishnan C. 2016. Enhancing omega-3 fatty acids nanoemulsion stability and in-vitro digestibility through emulsifiers. *J Food Eng* 187: 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.003>
- Kaur K, Kumar R, Arpita G, Uppal S, Bhaua A, Mehta SK. 2017. Physicochemical and cytotoxicity study of TPGS stabilized nanoemulsions designed by ultrasonication method. *Ultrasonics Sonochem* 34: 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.037>
- Khadangi F, Azzi A. 2018. Vitamin E - The next 100 years. *IUBMB Life* 71: 411-415. <https://doi.org/10.1002/iub.1990>
- Li Y, McClements DJ. 2010. New mathematical model for interpreting pH-stat digestion profiles: Impact of lipid droplet characteristics on in vitro digestibility. *J Agric Food Chem* 58: 8085-8092. <https://doi.org/10.1021/jf101325m>
- Liu X, Zhang R, McClements DJ, Li F, Liu H, Cao Y, Xiao H. 2018. Nanoemulsion-based delivery systems for nutraceuticals: Influence of long-chain triglyceride (LCT) type on in vitro digestion and astaxanthin bioaccessibility. *Food Biophys* 13: 412-421. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9547-2>
- Liu Q, Huang H, Chen H, Lin J, Wang Q. 2019. Food-grade nanoemulsions: Preparation, stability and application in encapsulation of bioactive compounds. *Molecules* 24: 4242. <https://doi.org/10.3390/molecules24234242>
- Liu B, Hu X. 2020. Hollow micro- and nanomaterials: Synthesis and applications. In *Advanced nanomaterials for pollutant sensing and environmental catalysis*. Elsevier Ed., The Netherlands. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814796-2.00001-0>
- Luo Y. 2020. Perspectives on important considerations in designing nanoparticles for oral delivery applications in food. *J Agric Food Res* 2: 100031. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100031>
- Lv S, Gy J, Zhang R, Zhang Y, Tan H, McClements DJ. 2018. Vitamin E encapsulation in plant-based nanoemulsions fabricated using dual-channel microfluidization: Formation, stability, and bioaccessibility. *J Agric Food Chem* 66: 10532-10542. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03077>
- Lv S, Zhang Y, Tan H, Zhang R, McClements DJ. 2019. Vitamin E encapsulation within oil-in-water emulsions: Impact of emulsifier type on physicochemical stability and bioaccessibility. *J Agric Food Chem* 67: 1521-1529. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06347>
- Mahfoudhi N, Ksouri R, Hamdi S. 2016. Nanoemulsions as potential delivery systems for bioactive compounds in food systems: Preparation, characterization, and applications in food industry. In *Emulsions*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804306-6.00011-8>
- Mardigan LP, dos Santos VJ, da Silva PT, Visentainer JV, Gomes STM, Matsushita M. 2018. Investigation of bioactive compounds from various avocado varieties (*Persea americana* Miller). *Food Sci Technol* 39: 1-7. <https://doi.org/10.1590/fst.34817>



- McClements DJ, Xiao H. 2014. Excipient foods: Designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals. *Food Function* 5: 1320-1333. <https://doi.org/10.1039/c4fo00100a>
- McClements DJ. 2015. Nanoscale nutrient delivery systems for food applications: Improving bioactive dispersibility, stability and bioavailability. *J Food Sci* 80: 1602-1611. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12919>
- McClements DJ. 2020. Recent advances in the production and application of nano-enabled bioactive food ingredients. *Curr Opin Food Sci* 33: 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.02.004>
- MINSAL. 2015. Enfermedades no transmisibles. <https://www.minsal.cl/enfermedades-no-transmisibles>
- Montes de Oca-Ávalos JM, Candal RJ, Herrera ML. 2017. Nanoemulsions: Stability and physical properties. *Curr Opin Food Sci* 16: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.06.003>
- Moulas AN, Vaiou M. 2018. Vitamin D fortification of foods and prospective health outcomes. *J Biotechnol* 285: 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.08.010>
- Nehir S, Simsek S. 2011. Food technological applications for optimal nutrition: an overview of opportunities for the food industry. *Comprehensive Rev Food Sci Food Safety* 11: 2-12. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00167.x>
- Nile SH, Baskar V, Selvaraj D, Nile A, Xiao J, Kai G. 2020. Nanotechnologies in food science: Applications, recent trends, and future perspectives. *Nano-micro Lett* 12: 1-34. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-0383-9>
- Norton JE, Wallis GA, Spyropoulos F, Lillford PJ, Norton IT. 2014. Designing food structures for nutrition and health benefits. *Ann Rev Food Sci Technol* 5: 177-195. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092315>
- OMS. 2014. Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles. <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-status-report-2014/es>
- OMS. 2017. Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255541/9789243594019-spa.pdf>
- OMS. 2018. Enfermedades no transmisibles. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Öztürk B. 2017. Nanoemulsions for food fortification with lipophilic vitamins: Production challenges, stability, and bioavailability. *Eur J Lipid Sci Technol* 119: 1500539. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500539>
- Palermo A, Tuccinardi D, D'Onofrio L, Watanabe M, Maggi D, Maurizi AR, Greto V, Buzzetti R, Napoli N, Pozzilli P, Manfrini S. 2017. Vitamin K and osteoporosis: Myth or reality? *Metabolism* 70: 57-71. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.032>
- Pund S, Thakur R, More U, Joshi A. 2014. Lipid based nanoemulsifying resveratrol for improved physicochemical characteristics in vitro cytotoxicity and in vivo antiangiogenic efficacy. *Colloid Surface B: Biointerfaces* 120: 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.05.016>
- Raikos V, Ranawana V. 2017. Designing emulsion droplets of foods and beverages to enhance delivery of lipophilic bioactive components – A review of recent advances. *Int J Food Sci Technol* 52: 68-80. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13272>
- Reboul E. 2017. Vitamin E bioavailability: Mechanisms of intestinal absorption in the spotlight. *Antioxidants* 6: 95. <https://doi.org/10.3390/antiox6040095>
- Rezhdo O, Speciner L, Carrier R. 2016. Lipid-associated oral delivery: Mechanisms and analysis of oral absorption enhancement. *J Cont Rel* 240: 544-560. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.07.050>
- Rizvi SAA, Saleh AM. 2018. Applications of nanoparticle systems in drug delivery technology. *Saudi Pharmaceut J* 26: 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2017.10.012>
- Salvia-Trujillo L, Sun Q, Um BH, Park Y, McClements DJ. 2015. In vitro and in vivo study of fucoxanthin bioavailability from nanoemulsion-based delivery systems: Impact of lipid carrier type. *J Funct Foods* 17: 293-304. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.035>
- Salvia-Trujillo L, Martín-Belloso O, McClements DJ. 2016. Excipient nanoemulsions for improving oral bioavailability of bioactives. *Nanomaterials* 6: 17. <https://doi.org/10.3390/nano6010017>
- Salvia-Trujillo L, Soliva-Fortuny R, Rojas-Graü MA, McClements DJ, Martín-Belloso O. 2017. Edible nanoemulsions as carriers of active ingredients: A review. *Ann Rev Food Sci Technol* 8: 439-466. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025908>



- Sanders K, Scott D, Ebeling P. 2014. Vitamin D deficiency and its role in muscle-bone interactions in the elderly. *Curr Osteoporosis Rep* 12: 74-81. <https://doi.org/10.1007/s11914-014-0193-4>
- Saxena A, Maity T, Paliwal A, Wadhwa S. 2017. Technological aspects of nanoemulsions and their applications in the food sector. In *Nanotechnology Applications in Food*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811942-6.00007-8>
- Shahidi F, Ambigaipalan P. 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *J Funct Foods* 18: 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shlisky J, Bloom D, Beaudreault A, Tucker K, Keller H, Freund-Levi Y, Fielding R, Cheng F, Jensen G, Wu D, Maydani S. 2017. Nutritional consideration for healthy aging and reduction in age-related chronic disease. *Adv Nutr* 8: 17-26. <https://doi.org/10.3945/an.116.013474>
- Simonazzi A, Cid AG, Villegas M, Romero AI, Palma SD, Bermúdez JM. 2018. Nanotechnology applications in drug-controlled release. In *Drug targeting and stimuli sensitive drug delivery systems*. William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813689-8.00003-3>
- Sood S, Jain K, Gowthamarajan L. 2014. Optimization of curcumin nanoemulsions for intranasal delivery using design of experiment and its toxicity assessment. *Colloid Surface B: Biointerfaces* 113: 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.09.030>
- Sotomayor-Gerding D, Oomah BD, Acevedo F, Morales E, Bustamante M, Shene C, Rubilar M. 2016. High carotenoid bioaccessibility through linseed oil nanoemulsions with enhanced physical and oxidative stability. *Food Chem* 199: 463-470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.004>
- Sun Y, Xia Z, Zheng J, Qiu P, Zhang L, McClements DJ, Xiao H. 2015. Nanoemulsion-based delivery systems for nutraceuticals: Influence of carrier oil type on bioavailability of pterostilbene. *J Funct Foods* 13: 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.030>
- Tan Y, Liu J, Zhou H, Mundo JM, McClements DJ. 2019. Impact of an indigestible oil phase (mineral oil) on the bioaccessibility of vitamin D3 encapsulated in whey protein-stabilized nanoemulsions. *Food Res Int* 120: 264-274. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.031>
- Teo A, Lee SJ, Goh KKT, Wolber FM. 2017. Kinetic stability and cellular uptake of lutein in WPI-stabilized nanoemulsions and emulsions prepared by emulsification and solvent evaporation method. *Food Chem* 221: 1269-1276. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.030>
- Vecchione R, Quagliarello V, Calabria D, Calcagno V, De Luca E, Iaffaioli RV, Netti PA. 2016. Curcumin bioavailability from oil in water nano-emulsions: In vitro and in vivo study on the dimensional, compositional and interactional dependence. *J Cont Rel* 233: 88-100. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.05.004>
- Walia N, Chen L. 2020. Pea protein-based vitamin D nanoemulsions: Fabrication, stability and in vitro study using Caco-2 cells. *Food Chem* 305: 125475. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125475>
- Walker R, Decker EA, McClements DJ. 2015. Development of food-grade nanoemulsions and emulsions for delivery of omega-3 fatty acids: Opportunities and obstacles in the food industry. *Food Function* 6: 41-54. <https://doi.org/10.1039/c4fo00723a>
- Wang T, Luo Y. 2019. Biological fate of ingested lipid-based nanoparticles: Current understanding and future directions. *Nanoscale* 11: 11048-11063. <https://doi.org/10.1039/c9nr03025e>
- Wojtunik-Kulesza K, Oniszczuk A, Oniszczuk T, Combrzyński M, Nowakowska D, Matwijczuk A. 2020. Influence of in vitro digestion on composition, bioaccessibility and antioxidant activity of food polyphenols – A non-systematic review. *Nutrients* 12: 1401. <https://doi.org/10.3390/nu12051401>
- Xu F, Pandya JK, Chung C, McClements DJ, Kinchla AJ. 2018. Emulsions as delivery systems for gamma and delta tocotrienols: Formation properties and simulated gastrointestinal fate. *Food Res Int* 105: 570-579. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.033>
- Ye Z, Cao C, Liu Y, Cao P, Li Q. 2018. Triglyceride structure modulates gastrointestinal digestion fates of lipids: A comparative study between typical edible oils and triglycerides using fully designed in vitro digestion model. *J Agric Food Chem* 66: 6227-6238. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01577>
- Zhang YJ, Gan RY, Li S, Zhou Y, Li AN, Xu DP, Li HB. 2015. Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. *Molecules* 20: 21138-21156. <https://doi.org/10.3390/molecules201219753>
- Zhao C, Wei L, Yin B, Liu F, Li J, Liu X, Wang J, Wang Y. 2020. Encapsulation of lycopene within oil-in-water nanoemulsions using lactoferrin: Impact of carrier oils on physicochemical stability and bioaccessibility. *Int J Biol Macromolecules* 153: 912-920. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.063>
- Zheng H, Wijaya W, Zhang H, Feng K, Liu Q, Zheng T, Yin Z, Cao Y, Huang Q. 2020. Improving the bioaccessibility and bioavailability of carnosic acid using nanoemulsion: complementary in vitro and in vivo studies. *Food Function* 11: 8141-8149. <https://doi.org/10.1039/d0fo01098g>



Angélica Peña
Departamento de Contabilidad y Auditoría
Facultad de Administración y Economía
Universidad de Santiago de Chile
angelica.pena@usach.cl

Correspondencia
hugo.cardenas@usach.cl

Factores determinantes de la docencia no presencial en la Universidad de Santiago de Chile durante la pandemia del Covid-19. Estudio piloto con técnicas prospectivas.

Determinants of remote learning at the Universidad de Santiago de Chile during Covid-19 pandemic. Pilot study with prospective techniques.

Angélica Peña¹, Pedro Orihuela², Fernando Krauss³, Hugo Cárdenas²

¹Facultad de Administración y Economía

²Facultad de Química y Biología

³Centro de Estudios de Futuro
Universidad de Santiago de Chile

Resumen

La pandemia del Covid-19 fue una sorpresa para el sistema educativo mundial, y obligó a la Universidad de Santiago de Chile a implementar de manera urgente la docencia no presencial usando el programa de comunicaciones Zoom. El objetivo primario de este estudio fue poner a punto una metodología para evaluar los factores que incidieron en la docencia no presencial, para lo cual se usaron los métodos Delphi y MICMAC con el fin de revelar visiones de consenso del cuerpo académico, según su experiencia durante el primer semestre de 2020. El segundo objetivo fue hacer una descripción piloto de los factores que influyeron en la docencia no presencial. Se reclutó a docentes de jornada completa de la Facultad de Administración y Economía (n=16), y de la de Química y Biología (n=21). Los resultados mostraron que los factores socio económicos y de salud mental estudiantil fueron los que más incidieron en la docencia durante este período, desplazando a un segundo lugar a los relacionados con la didáctica en la sala de clases. La metodología propuesta brinda herramientas apropiadas para la evaluación de la docencia no presencial.

Palabras claves: Covid-19; Docencia; Universidad; Zoom; Delphi; MICMAC

Abstract

Covid-19 pandemic disrupted higher education and forced emergency implementation of remote teaching at universities and colleges. University of Santiago de Chile reinitiated teaching early in the year through institutional Zoom license and massive capacitation of professors and students for remote teaching and learning. This study evaluates a methodology to assess remote teaching during the pandemic by using the prospective technics Delphi and MICMAC applied to a sample of professors and instructors from the Faculty of Economy and Administration, and the Faculty of Chemistry and Biology. Results show that student socioeconomic and mental health factors were the most important determinants of remote teaching-learning process, with didactic resources displaced as main factors for teaching efficacy. The methodology used in this report probed to be appropriate to assess remote learning and teaching during the current pandemic.

Keywords: Covid-19; Teaching; College; Zoom; Delphi; MICMAC



Introducción

La pandemia del Covid-19 fue una sorpresa para el sistema educativo mundial, y ninguna institución de educación superior (ES) estaba preparada para enfrentar esta emergencia global. El impacto del Covid-19 sobre la ES fue devastador, con la interrupción abrupta de las actividades docentes de más de 1.570 millones de estudiantes en 191 países (UNESCO & IESALC, 2020), y la paralización también de todas las otras manifestaciones de la vida universitaria, incluyendo la ciencia, el deporte y las artes. En la mayor parte del mundo, las instituciones de ES lograron reanudar parcialmente sus actividades docentes mediante clases no presenciales a través de la internet. Implementar de manera urgente la docencia universitaria no presencial representó una importante inflexión en el desarrollo y evolución de la ES en el Siglo XXI, porque modificó drásticamente las formas de interacción entre docentes y estudiantes, y puso a prueba la pedagogía y la didáctica tradicionales. Las implicaciones de esto para el futuro de las universidades están

recién comenzando a vislumbrarse, y son hoy objeto de investigaciones por las principales agencias internacionales de fomento y defensa de la educación (UNESCO, GUNI, por ejemplo).

Al igual que en todo el mundo, el COVID-19 obligó a la Universidad de Santiago de Chile (USACH) a implementar la docencia no presencial masiva, para lo cual usó la plataforma computacional Zoom. La nula experiencia en ese tipo de docencia implicó la necesidad de improvisar y experimentar a medida que se reiniciaban las clases, interrumpidas a un mes de iniciado el año académico en marzo del año 2020.

Las proyecciones internacionales sobre la duración de la emergencia sanitaria del Covid-19 coinciden en que la inmunización masiva contra este virus en los países desarrollados podría comenzar recién a contar de fines del 2021 (por ejemplo, ver The Economist 18/08/2020), lo que significa que en Latinoamérica probablemente

se podrá comenzar a controlar la pandemia sólo después de esa fecha. Debido a lo anterior, es importante examinar y comprender nuestra incipiente experiencia con la docencia universitaria no presencial, con el fin de adecuarla a nuestra realidad, ya que tendremos que vivir con ella durante varios semestres más, lo que obliga en primer lugar a disponer de una metodología que permita evaluarla.

Esta investigación tuvo el objetivo primario de poner a punto una metodología que permita examinar los factores que determinan la eficacia de las clases no presenciales en nuestra Universidad, y sus resultados son una contribución para la optimización y la planificación de la docencia durante y después de la emergencia sanitaria del Covid-19. El estudio se llevó a cabo usando técnicas de la disciplina de la prospectiva, en el marco del Diplomado en Técnicas Prospectivas efectuado en nuestra Universidad durante los meses de abril a septiembre del presente año.



Método y Resultados

ETAPA 1. Identificación de los factores que influyen en la docencia no presencial y calificación de su importancia relativa mediante Delphi

Se usó el método Delphi para identificar las variables que más influyeron en la docencia no presencial del primer semestre de 2020, encuestando a docentes de los Departamentos de Biología, Química de los Materiales, y Química del Ambiente (n=21; Facultad de Química y Biología), y del Departamento de Contabilidad y Auditoría (n=16; Facultad de Administración y Economía).

El método o encuesta Delphi fue puesto a punto en la Rand Corporation a mediados de los cincuenta (Godet y Durance, 2009) y su objetivo es revelar convergencias de opinión y despejar consensos sobre temas precisos, partiendo de la consulta a expertos y mediante cuestionarios sucesivos que aumentan la probabilidad de identificar un consenso. La condición más importante de este método es que los y las expertas responden de manera independiente e individual, sin conocer las respuestas de las otras personas participantes, lo que permite que el resultado sea una muestra de la opinión grupal con toda su diversidad, y no un consenso generado a través de una conversación entre los expertos, en la cual las voces minoritarias o menos populares se pueden inhibir o suprimir.

En el presente estudio, el método Delphi partió con una pregunta abierta y general sobre los factores que habían incidido en la docencia no presencial, que se envió de manera personalizada a los correos electrónicos individuales de los

docentes. De esta manera, quienes aceptaron participar no conocieron qué colegas estaban participando ni sus respuestas. El anonimato se mantuvo incluso cuando se les enviaron los resultados de las encuestas, ya que nunca se identificó las respuestas personales de cada participante. Esta primera encuesta reveló un total de 28 factores, aunque cada docente mencionó solamente desde uno a tres de ellos. No hubo diferencias entre las respuestas obtenidas desde los diferentes Departamentos (Tabla N° 1)

En la segunda encuesta Delphi se solicitó calificar la importancia de cada uno de los factores identificados por el grupo en la primera encuesta, además se envió a docentes del Departamento de Contabilidad y Auditoría (n=16; Facultad de Administración y Economía), a quienes se pidió agregar cualquier otro factor de importancia para la docencia no presencial que no estuviera mencionado en la consulta.

La importancia de cada factor se calificó según la siguiente escala: 0=sin importancia; 1= poco importante; 2=importancia media; 3=mucha importancia.

Los y las docentes del Departamento de Contabilidad y Auditoría no mencionaron factores adicionales a los que ya habían sido identificados en la primera encuesta por docentes de la Facultad de Química y Biología. La Tabla N°1 presenta los resultados de las encuestas Delphi, con los factores ordenados de mayor a menor importancia, y se puede apreciar la coincidencia de la valoración de los factores entre los Departamentos, a pesar de la diferencia temática de sus disciplinas académicas.

ETAPA 2. Identificación de las influencias entre los factores que determinan la docencia no presencial.

Debido a que los factores que influyen en la docencia no presencial no son independientes entre ellos, la etapa siguiente fue el examen de su importancia relativa al actuar conjuntamente sobre el fenómeno de la docencia no presencial. Para esto se usó el método de la "Matriz de Impactos Cruzados - Multiplicación Aplicada a una Clasificación", creado por Michel Godet en 1971 (MICMAC) (Noguera, 2009), el cual a partir de una lista de los factores estructurales (que determinan o dan forma al sistema) y de la matriz de las influencias directas entre ellos, permite identificar a los factores claves con la ayuda de cuadros y gráficos construidos a partir de tal matriz.

La identificación y calificación (en orden semicuantitativo de 0 a 3) de las influencias directas entre cada par de factores, usadas para construir la matriz de influencias directas, la hizo el grupo de investigación con la colaboración de colegas participantes en el estudio. Estas influencias son de consenso relativamente sencillo porque son lógicas y de sentido común; por ejemplo, con respecto a los factores "pobreza estudiantil" y "calidad del computador e internet del estudiante", es evidente que la pobreza influye en alto grado (calificación=3) sobre la calidad de los recursos computacionales de los estudiantes, y entonces en la celda correspondiente de tal matriz se introduce el valor 3 (Figura N° 1, nombres de los factores en la Tabla N° 2).

El examen acucioso de la Figura N° 1 puede revelar los factores que influyen más, así como aquellos que son menos influyentes e influenciados;

Departamentos de	Biología	Química	Contabilidad Y Auditoría	
Variables	n=11	n=10	n=16	Mediana
Empatía/interacción/comunicación entre docentes y estudiantes	4,00	4,00	4,00	4,00
Entrega de información ordenada	4,00	4,00	3,00	4,00
La pobreza	4,00	4,00	4,00	4,00
Desinterés/desmotivación del/la estudiante	4,00	4,00	4,00	4,00
Desconocimiento plataformas virtuales docentes Estudiantes	4,00	3,50	3,00	3,50
Clases cortas con objetivos claros y acotados	4,00	3,00	4,00	4,00
Figuras autoexplicativas lo más posible	3,00	4,00	4,00	4,00
Mala calidad del hardware (computador, conexión a internet)	3,00	4,00	4,00	4,00
Gran tamaño de los archivos Zoom de las clases	3,00	4,00	3,00	3,00
Evaluaciones formativas	3,00	3,50	4,00	3,50
Figuras con contenidos reducidos a lo esencial	3,00	3,50	3,00	3,00
No ver las caras del curso en la clase	3,00	3,50	3,00	3,00
Problemas familiares estudiantiles no relacionados a la pobreza	3,00	3,50	3,00	3,00
Sobrecarga de información en la clase	3,00	3,50	3,00	3,00
Videos de las clases	3,00	3,00	3,00	3,00
Zoom (uso de)	3,00	3,00	3,00	3,00
Favorece el trabajo autónomo del estudiante	3,00	3,00	4,00	3,00
Talleres dinámicos en clase	3,00	3,00	3,50	3,00
Cuestionarios en línea	3,00	3,00	3,00	3,00
Moodle	3,00	3,00	4,00	3,00
Falta de disciplina personal para conectarse a la clase	3,00	3,00	4,00	3,00
No se preguntó a los estudiantes si querían docencia por Zoom	3,00	2,50	2,00	2,50
Evaluaciones clase a clase buscando el consenso con el curso	3,00	2,00	2,50	2,50
Evaluaciones sumativas	2,00	3,50	4,00	3,50
Desconfianza honestidad estudiantil pruebas	2,00	3,50	3,00	3,00
Didáctica no convencional con juegos y videos	2,00	3,00	3,00	3,00
Desconfianza docente/estudiantil en clases por Zoom	2,00	3,00	3,00	3,00
Desconfianza en el criterio docente para hacer las evaluaciones	2,00	3,00	3,00	3,00
Mediana	3,0	3,0	3,0	3,0

Tabla N° 1. Variables que influyen en la docencia no presencial identificados mediante el análisis Delphi

	1: Video	2: empatia	3: formativ	4: zoom	5: moodle	6: ccortas	7: ordenada	8: esencial	9: autoexpl	10: clasecla	11: pruebaOL	12: tdinami	13: autónomo	14: pobreza	15: desinterés	16: calidad	17: archivos	18. familia	19: disciplina	20: exceso	21: desconfian	22: des.est	23: des.doc	24: sumativa	25: NoConven	26: Nocara
1: Video	0	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3	2	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
2: empatia	2	0	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	2
3: formativ	2	2	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	
4: zoom	0	2	2	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	0	3	0	
5: moodle	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6: ccortas	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	
7: ordenada	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
8: esencial	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
9: autoexpl	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
10: clasecla	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	
11: pruebaOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12: tdinami	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
13: autónomo	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14: pobreza	0	3	3	3	3	0	0	0	0	3	0	2	3	0	3	3	0	0	0	3	0	2	0	0	0	
15: desinterés	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
16: calidad	0	1	3	3	3	0	0	0	0	2	3	3	3	0	3	0	0	0	2	0	3	0	3	3	3	
17: archivos	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
18. familia	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	
19: disciplina	0	0	3	3	3	0	0	0	0	3	0	3	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20: exceso	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	
21: desconfian	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22: des.est	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23: des.doc	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24: sumativa	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	
25: NoConven	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
26: Nocara	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

© LPSOR-EPTA-MICMAC

Figura N° 1. Matriz de influencias directas entre las variables
Influencia 0: ninguna - 1: débil - 2: moderada - 3: fuerte

N°	Variable	Nombre Corto	Descripción Breve
1	Videos de las clases	Video	Videos de cada clase disponibles para los estudiantes
2	Empatía profesor estudiantes	empatia	Empatía, interacción, comunicación docente-estudiante
3	Evaluaciones formativas	formativ	Evaluaciones formativas
4	Zoom uso de	Zoom	Uso de Zoom para las clases
5	Moodle uso de	Moodle	Uso de Moodle
6	Clases cortas	ccortas	Clases cortas
7	Clase ordenada	ordenada	Entrega de información de manera ordenada en la clase
8	Figuras contenidos esenciales	esencial	Figuras con contenidos esenciales solamente
9	Figuras autoexplicativas	autoexpl	Figuras autoexplicativas
10	Evaluaciones cada clase	clasecla	Evaluaciones en cada clase
11	Cuestionarios en línea	pruebaOL	Cuestionarios en línea
12	Talleres dinámicos	tdinami	Talleres dinámicos
13	Favorece trabajo	autónomo	Favorece el trabajo autónomo del o la estudiante autónomo estudiantil
14	Pobreza	pobreza	Nivel socioeconómico estudiantil
15	Desinterés estudiantes	desinterés	Falta de interés y motivación estudiantil
16	Hardware mala calidad	calidad	Mala calidad computador e internet
17	Archivos Zoom grandes	archivos	Gran tamaño de archivos Zoom
18	Problemas familiares	familia	Problemas familiares no relacionados con la pobreza
19	Disciplina	disciplina	Falta de disciplina estudiantil para conectarse a clases
20	Exceso de información	exceso	Exceso de información en cada clase
21	Desconfianza en Zoom	desconfian	Desconfianza en la efectividad de Zoom por parte de docentes y estudiantes
22	Desconfianza en la Honestidad estudiantil	des.est	Desconfianza en la honestidad estudiantil en las evaluaciones
23	Desconfianza en criterio Docente	des.doc	Desconfianza en el criterio docente para evaluar
24	Evaluaciones sumativas	Sumativa	Evaluaciones sumativas
25	Didáctica no convencional	NoConven	Didáctica no convencional con juegos y videos
26	Sin caras en las clases	Nocara	No ver las caras de estudiantes en la clase

Tabla N° 2. Nombres de los factores variables usados en la Matriz de Influencias Directas y en el análisis MICMAC

Classify variables according to their influences

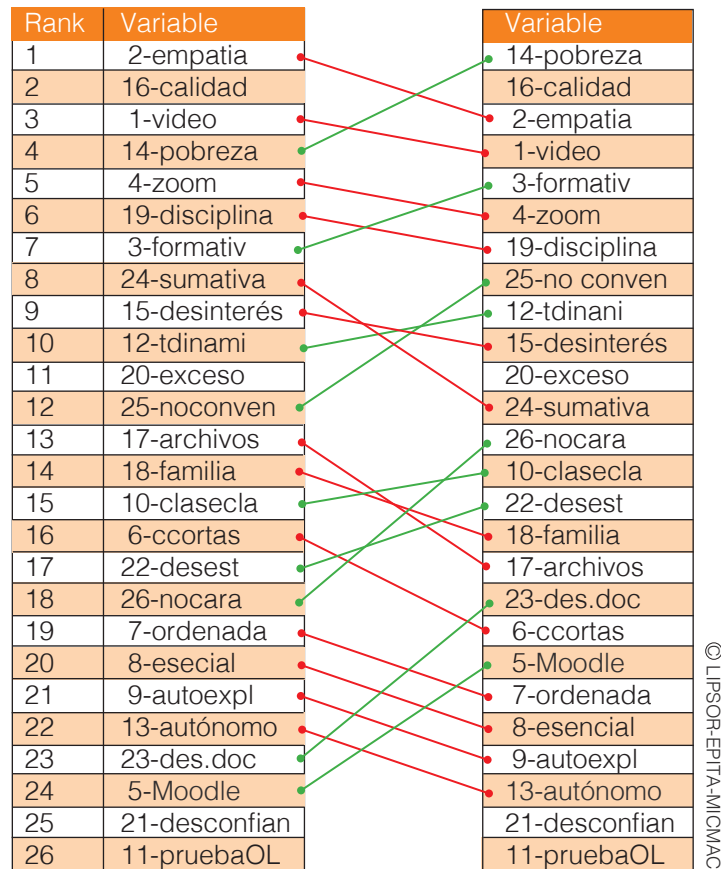


Figura N° 2. Variables que influyen en la docencia no presencial ordenadas por su grado de influencia, considerando su efecto directo (columna izquierda) y su efecto en presencia de las otras variables (columna derecha).

Indirect influence/dependence map

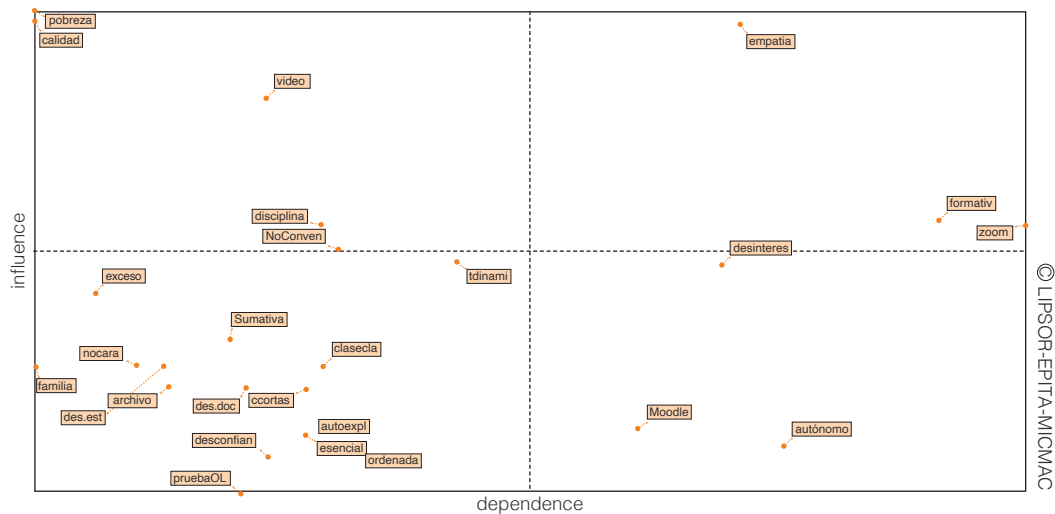


Figura N° 3. Plano de influencia/dependencia indirecta entre las variables que influyen en la docencia no presencial (programa MICMAC).



pero, hacer este análisis de manera visual directa es engorroso y es fácil cometer errores por la gran cantidad de comparaciones, además de la dificultad adicional que implica considerar las influencias indirectas entre los factores. El método MICMAC permite hacer este análisis de manera automática, lo que simplifica notablemente las cosas, y sus resultados permitieron identificar las variables que más influyeron en la docencia no presencial, como se presenta en las Figuras N° 2 y N° 3.

La Figura N° 2 muestra que los siete factores más influyentes en orden de importancia decreciente fueron la pobreza estudiantil, la calidad del hardware de los y las estudiantes, la empatía entre docentes y estudiantes, la disponibilidad del video de la clase, las evaluaciones formativas, el uso de Zoom, y la disciplina estudiantil para conectarse a la clase. Por otro lado, los factores menos influyentes en la docencia no presencial incluyeron a las pruebas en línea, la desconfianza en el programa de comunicaciones Zoom, el trabajo autónomo y, sorprendentemente, algunas características de la clase: que sean cortas y ordenadas y con figuras reducidas al contenido esencial.

Los resultados anteriores se complementan con el plano de influencia/dependencia indirecta entre los factores, presentado en la Figura N° 3 (nombres extensos de los factores en la Tabla N° 2), que los presenta ordenados según su posición en el gráfico de las coordenadas de influencia (vertical) y dependencia (horizontal), ambas con sus valores mínimos en el origen y de magnitud creciente a medida que se alejan del origen.

La influencia de un factor sobre el sistema depende del número de otros factores influenciados por él y la magnitud de tales influencias. Al

mismo tiempo, la dependencia de un factor determinado es función del número de otros factores que lo determinan y la magnitud de su efecto; por ejemplo, el tamaño de los archivos de las clases por Zoom (factor “archivos” en la Figuras N° 2 y N° 3) no influye sobre el nivel socio económico estudiantil ni sobre los otros factores y tampoco fue determinado por los otros ya que depende primariamente de la duración de la clase y de propiedades del programa computacional, de manera que el factor “archivos” en la Figura N° 3 se encuentra en el cuadrante inferior izquierdo, cerca del origen. En cambio, el factor “pobreza”, que es el nivel socio económico estudiantil, influye en alto grado sobre casi todos los otros aspectos de la experiencia docente, pero no depende de ella en los estudiantes universitarios, de manera que se ubica en los valores más altos del eje influencia y cerca de los valores más bajos del eje dependencia, en el cuadrante superior izquierdo de la Figura N° 3.

Así, los cuadrantes del plano de influencia/dependencia indirecta que presenta la Figura N° 3 facilitan visualizar los factores más y los menos influyentes sobre la docencia. Sin embargo, también es necesario examinar el cuadrante superior derecho, ya que este incluye aquellas variables que tienen alta influencia, pero que se pueden modificar porque son al mismo tiempo altamente dependientes, de manera que brindan la posibilidad de optimizar la docencia mediante iniciativas y políticas universitarias diseñadas para tal efecto.

Los resultados presentados en las Figuras N° 2 y N° 3 muestran que los factores que más influyen en la docencia no presencial son dos muy correlacionados entre sí, de manera que se pueden agrupar para fines del análisis en la categoría “nivel

socioeconómico estudiantil”: (1) la pobreza estudiantil y (2) la calidad de los recursos computacionales/internet del estudiantado. Los otros factores que presentan alta influencia incluyen a un subgrupo también correlacionado entre sí, y que se pueden agrupar en el subgrupo “salud mental estudiantil”: (1) la empatía entre docentes y estudiantes, (2) la disciplina para conectarse a la clase no presencial, y (3) el desinterés por el curso. La ventaja metodológica de agrupar los factores que más influyen en la docencia, cuando están altamente correlacionados, es que enriquece el diseño de las iniciativas y estrategias para mejorar los indicadores del grupo, ampliando al mismo tiempo las consideraciones teóricas y prácticas de las políticas universitarias.

Otro factor que estuvo entre los más influyentes fue el uso de Zoom, lo que es esperable dado que fue el programa computacional el que hizo posible la docencia no presencial. Las evaluaciones formativas también resultaron tener alta influencia, lo que es lógico dado que estimulan el estudio autónomo estudiantil y reducen el estrés psicológico asociado a las evaluaciones tradicionales, el cual se suma al estrés propio de las consecuencias de la pandemia del Covid-19, con su alto impacto en la salud mental de toda la sociedad.

Un aspecto notable de los resultados es que todos los factores relacionados con aspectos didácticos en la clase, tales como su duración (que fueran cortas), el uso de figuras auto explicativas, y centradas en los contenidos esenciales, aparecen en el cuadrante de los factores menos influyentes. Esto por cierto no significa que no sean importantes, sino que en el contexto de los graves problemas generados por la pandemia y de la implementación acelerada de la docencia no presencial,



su impacto es de menos importancia que los factores socio económicos y la salud mental estudiantil.

Discusión

El resultado principal de este estudio fue probar una estrategia metodológica que, a la luz de los resultados, aparece como plausible para examinar las variables que determinan la docencia en estos tiempos de pandemia. Los resultados de la estrategia permitieron identificar los factores más importantes que influyeron en la docencia no presencial en el primer semestre de 2020, los cuales se pueden agrupar en dos categorías principales, los factores socioeconómicos y la salud mental estudiantil. Hoy, existe un consenso creciente en la salud pública mundial que esta pandemia se está convirtiendo en crónica, con la cual conviviremos durante mucho tiempo, lo que aumenta la relevancia de estas conclusiones.

La investigación se basó en una muestra representativa, porque incluyó a una proporción substancial (un tercio aproximadamente) de los docentes de dos Facultades de naturalezas bien diferentes: la Facultad de Química y Biología y la de Administración y Economía. Los resultados obtenidos en ambas Facultades fueron virtualmente idénticos, a pesar de la gran diferencia entre sus áreas del conocimiento, lo que apoya la conclusión de que la muestra fue adecuadamente representativa. Sin embargo, la diversidad disciplinaria entre las diferentes escuelas y Facultades de la USACH, y las evidentes desigualdades entre los niveles socioeconómicos de sus estudiantes, hacen necesario examinar la pertinencia de estos resultados para otras unidades académicas. Esto último no necesariamente implicará repetir el estudio, sino que se podrían usar otras metodologías para examinar

si los problemas socioeconómicos estudiantiles están influyendo indebidamente en la docencia no presencial. Asimismo, la evaluación de la salud mental estudiantil ya está incorporada al quehacer de la Universidad, de manera que se podrá estudiar directamente su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Los hallazgos de este estudio tienen que entenderse en el marco del punto de inflexión del orden mundial en que se encontraba la humanidad justo antes del Covid-19, y que se aceleró a niveles insospechados con esta pandemia viral. Así, antes del Covid-19, el desafío más relevante para la educación superior en el mundo era la inequidad en el acceso y en la calidad, tanto entre como dentro de los países. Desde el comienzo de la pandemia, algunos organismos internacionales e investigadores de la educación superior plantearon el riesgo del agravamiento de dicha inequidad, dado el gigantesco impacto económico y social del Covid-19 (López, 2020). Cabe recordar que, como resultado de la rapidez de diseminación del virus por el planeta, prácticamente de la noche a la mañana se perdieron en el mundo alrededor de 500 millones de puestos de trabajo de tiempo completo por el cierre de empresas y de las fronteras entre los países (D'Urbino, 2020). Esta caída catastrófica del empleo mundial significó que millones de estudiantes vulnerables de la educación superior interrumpieron sus estudios.

Nuestro hallazgo del rol preponderante de la pobreza estudiantil en la docencia no presencial es entonces consistente con el agravamiento de la inequidad en la educación superior causado por el Covid-19. Los estudiantes de la USACH pertenecen mayoritariamente a familias modestas, de la clase media baja o emergente, y muchos son los primeros

miembros de sus familias que acceden a la universidad, lo que se refleja en su fragilidad académica durante sus estudios universitarios. Esta realidad socioeconómica obligó a la USACH a implementar sistemas de emergencia para proveer de computadores y conexión de internet para miles de sus estudiantes que de otra manera no hubieran podido continuar sus estudios.

Por otro lado, y dadas las consideraciones anteriores, no resulta sorprendente que el segundo grupo de factores que influyen más en la docencia no presencial en nuestro medio se relaciona con la salud mental, la cual en nuestros estudiantes está amenazada tanto por las limitaciones económicas para tener acceso eficaz a los sistemas de docencia por internet, como por el estrés natural de estar expuestos al impacto del Covid-19 en la sociedad. La salud mental estudiantil durante esta pandemia ha sido un tema de preocupación y acción, tanto en la Universidad de Santiago de Chile como en las otras principales universidades chilenas (<https://www.uc.cl/noticias/salud-mental-universidades-del-g9-realizan-acompanamiento-integral-a-estudiantes/>), ya que se ha detectado niveles patológicamente aumentados de estrés y ansiedad en los estudiantes universitarios. Las manifestaciones del estrés psicológico pueden incluir la desmotivación para estudiar y asistir a clases y el desinterés en los cursos, factores detectados en este estudio, que influyeron de manera importante en la docencia no presencial.

La Universidad de Santiago de Chile llevó a cabo estudios de diagnóstico entre sus estudiantes al inicio del año académico, de manera que se dio cuenta tempranamente del deterioro masivo de la situación socioeconómica y de la salud mental estudiantil. Esto llevó a incrementar



los mecanismos asistenciales tales como becas en dinero, becas de conexión a internet y préstamos de computadores, así como la implementación de una línea de apoyo psicológico a estudiantes y docentes disponible 24 h a través de su Centro de Salud y Atención Primaria. Estas medidas fueron bastante eficaces para disminuir al máximo la deserción estudiantil producida en el sistema universitario chileno y que tendrá impactos negativos en el largo plazo al acentuar la inequidad en el acceso a la educación superior.

Así, esta investigación es consistente con estudios previos de otras y otros autores, que han planteado que las inequidades socioeconómicas y de salud mental, que históricamente han afectado a los más pobres en Chile y en Latinoamérica y el Caribe, se han acentuado con la pandemia del Covid-19, y serán factores determinantes en la educación superior del futuro (López, 2020). La investigación presentada en este documento no es una investigación prospectiva, a pesar de que usó técnicas de la prospectiva para diagnosticar e identificar los factores determinantes de la docencia durante la pandemia, porque no se propuso visualizar los escenarios

de futuros para la docencia universitaria. La prospectiva es una rama relativamente nueva del conocimiento, que nació lentamente en los primeros años del Siglo XX, pero que se ha desarrollado con el tiempo hasta convertirse en una disciplina compleja y especializada, que dispone de un extenso y rico marco conceptual y herramientas metodológicas para visualizar racionalmente los escenarios futuros posibles de países y de áreas económicas y sociales (Medina y Obregon, 2006; Miles, 2010; Concheiro y Medina, 2012). Entre tales herramientas se encuentran los métodos Delphi y MICMAC, usados en esta investigación, pero hay muchas otras herramientas de la prospectiva que son esenciales para cumplir el rol de visualización y construcción de los futuros para un país, región o empresa.

El uso de las técnicas prospectivas Delphi y MICMAC en un estudio enfocado en las necesidades urgentes de una institución como la Universidad de Santiago de Chile, originadas en una situación de emergencia semi crónica como es el Covid-19, es una propuesta novedosa ya que generalmente estas herramientas metodológicas se han

usado en investigaciones de mucho mayor alcance territorial (Brocheto *et al.*, 2013). Los resultados muestran que las técnicas prospectivas, aunque fueron diseñadas primariamente para identificar y describir diagnósticos de consenso sobre los escenarios futuros de grandes sistemas complejos, también se pueden utilizar para examinar, descubrir y describir los factores determinantes de un sistema acotado como es una universidad estatal latinoamericana.

Agradecimientos

Se agradece la guía, ejemplos y enseñanzas de los docentes del Diplomado en Técnicas Prospectivas, organizado por el Centro de Estudios de Futuro de la Universidad de Santiago de Chile – 2020, quienes con su generosidad intelectual siempre estuvieron dispuestos a orientar la presente investigación: Susana Coper, Francisco López, Javier Medina, Rafael Popper, Darío Sierra. Sin embargo, esto no significa que ellos necesariamente están de acuerdo ni que avalan todos o algunos de los contenidos de la presente publicación.



Referencias

- Bocheto R, Ghezan G, Vitale J, Porta F, Grabois M, Tapia C. 2013. Trayectoria y prospectiva de la agroindustria alimentaria argentina: agenda estratégica de innovación. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Buenos Aires, Argentina.
- Concheiro AA, Medina J. (Eds.) 2012. Eleonora Barbieri Masini. Alma de los estudios de los futuros. D.R., Fundación Javier Barros Sierra, México DF, México.
- D'Urbino L. 2020. The pandemic has caused the world's economies to diverge. *The Economist*, October 8.
- Godet M, Durance P. 2009. La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios. Cuadernos del LIPSOR, Serie de Investigación N° 10. Laboratoire d'Innovation de Prospective Stratégique et d'Organisation CNAM, Paris, France.
- López F. 2020. Itinerario, prospectiva y consecuencias del covid-19. Primera parte: Impacto global de covid-19. *Rebelión.org*. Publicado el 17/07/2020. <https://rebelion.org/itinerario-prospectiva-y-consecuencias-del-covid-19/>
- Medina J, Obregon E. 2006. Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe. Serie Manuales. Naciones Unidas, Cepal.
- Miles I 2010. The development of technology foresight: A review. *Technological forecasting and Social Change* 77: 1448-1456.
- Noguera AL. 2009. Enseñando prospectiva. Colección Lecciones de Administración, Facultad de Administración, Universidad Nacional del Rosario, Bogotá, Colombia.
- UNESCO – IESALC. 2020. COVID-19 y educación superior: De los efectos inmediatos al día después. Análisis de impactos, respuestas políticas y recomendaciones.



Daniel Villalobos
Facultad de Medicina
Universidad del Zulia
Maracaibo, Venezuela
danielvillalobos13@gmail.com

Neurodigestión gerencial: una herramienta estratégica para la construcción del aprendizaje organizacional

Neuromanagement digestion: a strategic tool for the construction of organizational learning

Daniel Villalobos^{1,2} y Martin Leal¹

¹Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales (CICAG),
Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín

²Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Nutrición, Escuela de Nutrición y Dietética,
Facultad de Medicina, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Resumen

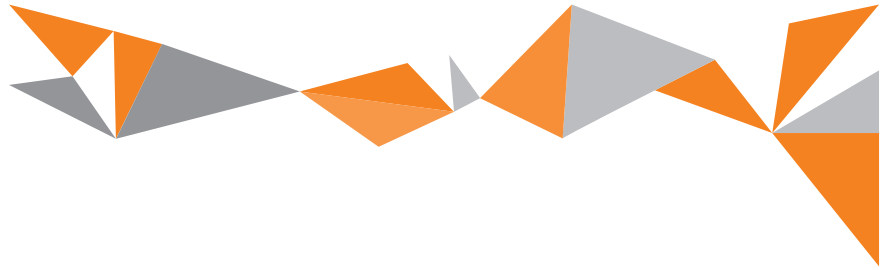
La analogía de los procesos gerenciales con los procesos fisiológicos, en función de cohesionar los conocimientos de los eventos biológicos de la digestión humana y la información de la disciplina gerencial, crear un marco unificado de entendimiento, frente a la necesidad de evitar que las organizaciones colapsen en trastornos indigeribles. El propósito de esta investigación fue analizar el significado de la neurodigestión gerencial como una herramienta estratégica para la construcción del aprendizaje organizacional. El tipo de investigación fue un enfoque cualitativo, a través del método de la Teoría Fundamentada. Los datos se recogieron utilizando entrevistas semiestructuradas; para analizar los datos se utilizó el método comparativo constante de Corbin y Strauss. Concluida la exploración, se consideró que la neurodigestión gerencial: es un proceso de capacitación y aprendizaje continuo, producto del contacto social e interacción emocional, que a través de la comunicación e interconexión se nutre y se construye el aprendizaje organizacional para la innovación creativa. Esta perspectiva de la digestión nos invita a pensar y enfrentar la realidad actual de las empresas y sus desafíos constantes, desde una analogía del sistema digestivo humano capaz de reconocer y detectar quienes tienen potencial para la innovación.

Palabras claves: Neurodigestión; Aprendizaje; Empresa; Capital humano.

Abstract

The analogy of managerial processes with physiological processes, in order to unite the knowledge of the biological events of human digestion and the information of managerial discipline, to create a unified framework of understanding, against the need to prevent organizations from collapsing in indigestible disorder. The purpose of this research was to analyze the meaning of management neurodigestion as a strategic tool for the construction of organizational learning. The type of research is of qualitative approach, through the method of Grounded Theory. The data was collected using semi-structured interviews; the constant comparative method of Corbin and Strauss was used to analyze the data. Results concluded the exploration, it was considered that the managerial neurodigestion: it is a process of training and continuous learning, product of the social contact and emotional interaction, that through the communication and interconnection is nourished and the organizational learning for the creative innovation is constructed. In conclusion, this perspective of digestion, invites us to think and face the current reality of companies and their constant challenges, from an analogy of the human digestive system capable of recognizing and detecting those who have the potential for innovation.

Keywords: Neurodigestión; Learning; Company; Human capital.



Introducción

El sistema organizativo del aparato digestivo ha sido siempre elemento de estudio, puesto que se ha evidenciado que todo el reordenamiento continuo y gerencial de los recursos del cual depende el mismo, determina la permanencia vital, aun cuando muchas veces se ve afectada por elementos externos como las emociones o entes patógenos que atentan contra su estructura organizada. Sin lugar a duda, el sistema digestivo, siempre ha guardado los secretos que hacen de su organización una maquinaria exitosa, que día a día se renueva, adapta y utiliza los recursos disponibles de manera eficiente y eficaz para el cumplimiento de su objetivo (Villalobos, 2019).

Las empresas y organizaciones mientras ejecutan cada una de sus actividades dentro de su estructura gerencial, están haciendo la digestión, en cada uno de sus elementos que la conforman. Desde que inicia el proceso de captación de recursos humanos, transformación de la materia prima, hasta la atención al cliente, se inician procesos digestivos inconscientes.

Cada uno de estos elementos de la organización van tomando forma desde los procesos de masticación, donde atravesaran y penetraran una vez seleccionados por las microestructuras especializadas de selección y captación de la empresa. La aventura de este capital humano e intelectual, que ya ha tomado forma y quizás parte del sistema, no ha hecho más que empezar. En el estómago o centro gerencial de la organización será sometido a perfeccionamiento intelectual, que lo convertirá en un mecanismo llamado elemento fundamental para la innovación, el cual, comenzara a hacer separado de útil y no útil. Este atravesará luego una puerta que conduce al intestino delgado o maquinaria operativa de la organización donde se desarrollan cada una de sus actividades de las cuales, dependerá su existencia, donde, a lo largo de su transitar administrativo, operativo y gerencial, continuará especializándose debido a las necesidades, exigencia del mercado, para acceder luego al intestino grueso, o plataforma de especificidad y selección de capital, que a su vez, será el medio por el que se llega a la expulsión, reordena-

miento y reciclaje de los productos no digeribles.

El fin del proceso de la neurodigestión en términos gerencial no es otra cosa, que el de transformar elementos o capitales de la organización que se generan desde la entrada de los recursos en unidades más específicas y esenciales, capaces de ser absorbidas por la organización y penetrar así en cada uno de los sistemas operativos para la generación de procesos gerenciales innovados, eficaces y eficientes, acorde a las demandas de un ambiente cambiante, es decir, toda esa cadena de generación de valor, desde su inicio hasta sus fases finales, se genera desde un producto de la digestión (Villalobos, 2019).

Sin duda, el aparato digestivo se ha reivindicado en los últimos tiempos, no solo ocupa ya el centro de nuestro cuerpo, sino también, el centro de todas las organizaciones y empresas, formando así un eje en torno al cual se enlazan el capital humano y la organización, dos mitades armoniosas, donde una depende de la otra para la preservación del soporte vital de la estructura gerencial.



Así mismo, sino ha dado el salto a la presencia de otras disciplinas, al depender de elementos como la nutrición, las emociones y la salud, para el bienestar de todos los que integran la macrobiótica o el sistema “vida interior de la organización”; visto esta nueva organización gerencial, como ecosistema interno en el que habitan distintas especies y que todas ellas transforman el entorno para la supervivencia, para la competición en el mundo (Villalobos, 2018; Villalobos, 2019).

Por otra parte, la comparación entre el aparato digestivo y una organización, se analizan desde las aproximaciones entre el funcionamiento de los principales órganos del sistema digestivo y sección de la organización estableciendo así una analogía para facilitar la comprensión del funcionamiento general de las empresas u organizaciones. En este sentido, el aparato digestivo es un ejemplo perfecto de trabajo debido a que cada uno de sus órganos o partes que conforman el sistema trabajan de manera coordinada para cumplir con los objetivos establecidos.

Esto, está formado por la boca, esófago, estómago, intestinos delgados, intestino grueso, recto y ano. Ninguno de ellos es más importante que el otro, pues todos cumplen con una función específica que sin duda complementa y hace que los procesos sean más eficientes y efectivos en el logro del objetivo de sobrevivencia, crecimiento económico y desarrollo organizacional. Independientemente de la analogía que pueda resultar, lo importante es mantener en buenas condiciones el centro vital de una organización, lo cual, implica todo un reto humano y empresarial (Villalobos, 2018; Villalobos, 2019). Esto pone en evidencia que los actuales modelos gerenciales no están al margen con los cambios y transformación que caracteriza

al actual proceso de globalización. Puesto que cada vez se hace más difícil que las actuales organizaciones respondan mejor y con mayor rapidez a los desafíos de un mundo en crecimiento. Fielmente, las estrategias implementadas a los diversos problemas por la que transitan estas empresas han sido inadecuadas, transitorias y tardías, que más allá de solventar la problemática, agudiza y pone en riesgo la estabilidad de la organización.

Sin duda, la gerencia tradicional es muy compleja puesto que responde a una visión vertical de los procesos de la organización que jerarquiza cada uno de sus elementos que la conforman y depende de numerosos factores, lo que hace necesario preparar y adoptar nuevos modelos gerenciales para asesorar a las empresas en materia de prevención de riesgos y definir estrategias. En la actualidad las organizaciones para poder seguir siendo competitivas en un mercado de cambios continuos no sólo deben ser eficientes, sino que además deben ser innovadoras. Entendiéndose este último como la forma en que todas las actividades que la integran se entrelazan en un instrumento directivo de primera magnitud, capaz de contribuir substancialmente al éxito (Pineda, 2010).

Dicha invención implica cambios significativos en la mejora de los procesos técnicos de las organizaciones, el cual, está estrechamente relacionada con su estructura y las estrategias orientadas en la búsqueda de la eficiencia y mejora de sus aspectos operativos de funcionamiento. No obstante, es posible que en los procesos gerenciales se hayan experimentado algunos episodios de discontinuidad técnica lo que imposibilita la dirección de la visión de la organización o simplemente cambios que obedecen a estrategias

políticas o de mercado, lo que constituye una de las fuerzas selectivas más influyentes.

Concebir el término biomédico de la digestión como un elemento para explicar los componentes organizacionales no digeribles estratégicamente, posibilita acertadamente identificar las necesidades reales de la organización en relación con el futuro deseado, para que de esta forma se puedan trazar las acciones y correctivos de forma planificada. En este sentido, los procesos biológicos en la gerencia deben ser considerados como una ciencia articuladora de diferentes áreas del conocimiento, con aportes fundamentales para la estructuración de la organización de empresas, en especial para construir un modelo orgánico que la represente (Rosales - Valbuena, 2012).

Esta aproximación de los procesos gerenciales y los procesos fisiológicos, en función de cohesionar los conocimientos de los eventos biológicos de la digestión humana y la información de la disciplina gerencial, crear un marco unificado de entendimiento, frente a la necesidad de evitar que las organizaciones colapsen en trastornos indigeribles, al tomar decisiones improvisadas que afecten la permanencia de la organización en el mercado, este enfoque, favorecerá la evolución de la gerencia, al fomentar una variedad de estrategias mejor digeribles; lo que permite una gran toma de medidas eficientes frente a los cambios sociales, políticos, económicos, biológicos, ambientales, culturales y tecnológicos, por los que transita el mundo empresarial (Villalobos, 2018).

En este contexto, esta perspectiva sostiene la reflexión en torno al sistema organizacional y/o empresarial, permite concebirlas como “seres vivos”. Son amplios y variados los aportes de la biomedicina en este sentido. Entender la orga-



nización institucional como un sistema digestivo invita a explorar esta analogía. El aparato digestivo ejerce una influencia considerable en la eficiencia, capacidad de trabajo del organismo y las fallas que puedan existir en los procesos o agravamiento de algunos de sus componentes preexistentes por agentes externos e internos, son las causas más frecuentes del colapso del sistema, que ponen en riesgo su existencia.

Y es que, la digestión es el conjunto de mecanismos por los cuales se producen transformaciones de sus elementos básicos como estrategia para subsistir, aun cuando está aislado del mundo exterior, no es totalmente impermeable, deja penetrar y transformar los elementos necesarios, así como también, expulsa y reconsidera los residuos para la existencia (Mataix, 2002). Lo anterior podría permitir concebir, identificar, y explicar los fenómenos que ocurren en las organizaciones desde un orden biológico. Basadas en las necesidades e interacciones de sus partes con su entorno, como elemento cooperante que transita en la búsqueda del beneficio del conjunto.

La neurodigestión gerencial, es un proceso que inicia con la ingestión del conocimiento como valor potenciador y transformador de la organización, es a través de él, donde se incorporan y fortifican determinados conocimientos en función de la supervivencia de la estructura organizativa. Dentro de este contexto, es importante resaltar que esta nueva perspectiva, nos permite visualizar la estructura organizacional como un conjunto de unidades operativas que trabajan en función de un mismo objetivo y de las cuales, depende el futuro de esta estructura. Por lo anteriormente expuesto, el propósito de esta investigación es el significado de la neurodigestión gerencial como una herramienta estratégica para la construcción del aprendizaje organizacional.

Desarrollo

Fundamentación Teórica

Acercamiento al fenómeno de la neurodigestión gerencial

Para definir estas categorías se empleó lo teorizado por Mahan y Escott (2014), Biesalski y Grimm (2008) y Mataix (2002). A continua-

ción, se indica cómo se vinculan los hallazgos de la investigación con el desarrollo teórico preexistente. La digestión desde el punto de vista fisiológico es un proceso por el que los alimentos ingeridos se transforman en sustancias asimilables para el organismo. De acuerdo con esto, la digestión es un mecanismo mediante el cual los alimentos ingeridos se fragmentan en sustancias más pequeñas para que el organismo pueda usarla como fuente de energía y preservar la vida. Sin embargo, para Biesalski y Grimm (2008), además de este proceso mecánico, en el que consiste la digestión desde este punto de vista, la función principal del tubo digestivo es de dividir los componentes en unidades más absorbibles que faciliten el óptimo aprovechamiento para la supervivencia del organismo (Tabla N° 1).

Sin embargo, para comprender este concepto desde la gerencia, es necesario recordar que el sistema digestivo es un conjunto de órganos o subsistemas que tienen funciones definidas (Mahan y Escott, 2014). Y que este sistema organizativo ha sido siempre elemento de estudio, puesto que se ha evidenciado que todo el reordenamiento continuo y

Tabla N° 1. principales aportaciones sobre la digestión

Autores	Principales aportes de la investigación
Mahan y Escott, (2014)	La digestión consiste en la hidrólisis dirigida por enzimas. Cofactores como el ácido clorhídrico, la bilis y el bicarbonato sódico los cuales favorecen los procesos de digestión y absorción.
Biesalski y Grimm, (2008)	Es un proceso neuro-mecánico, en el que consiste la digestión desde este punto de vista, la función principal del tubo digestivo es de dividir los componentes grandes de los alimentos en unidades más pequeñas absorbibles.
Mataix (2002)	Digestión desde el punto de vista fisiológico es un proceso por el que los alimentos ingeridos se transforman en sustancias asimilables para el organismo. De acuerdo a esto, la digestión es un mecanismo mediante el cual los alimentos ingeridos se fragmentan en sustancias más pequeñas para que el organismo pueda usarla como fuente de energía y preservar la vida.

Fuente: elaboración a partir de los autores citados.



gerencia de los recursos del cual depende el mismo, determina la permanencia vital, aun cuando muchas veces se ve afectada por elementos externos que atentan contra su estructura organizada. Sin lugar a duda, el sistema digestivo, siempre ha guardado los secretos que hacen de su organización una maquinaria exitosa, que día a día se renueva, adapta y utiliza los recursos disponibles de manera eficiente y eficaz para el cumplimiento de su objetivo.

Asimismo, el aparato digestivo tiene su propio sistema nervioso intrínseco (sistema nervioso entérico), este sistema puede regular las funciones motoras de los órganos digestivos (sistemas y secciones), de forma independiente al sistema nervioso autónomo extrínseco. Este “cerebro” digestivo, o sistema nervios entérico está localizado en todo el aparato digestivo (esófago, estómago, intestino delgado y el colon). Es una entidad anatómica única, compuesta por redes de células nerviosas y sustancias neurotransmisoras, que actúan como mensajeras entre las neuronas, capaces de aprender y de influir sobre todo los elementos organizados del aparato digestivo (Villalobos, 2019).

Hasta hace relativamente poco se creía que el cerebro controlaba directamente los nervios y músculos intestinales a través del nervio vago. Sin embargo, se ha descubierto en los últimos años que el intestino contiene más de cien mil millones de neuronas, casi tantas como el cerebro. La red nerviosa está dirigida por un número de neuronas que reciben órdenes básicas del cerebro y las redirigen a las millones de neuronas que se extienden a través redes nerviosas propias del intestino.

Estas neuronas responden a estímulos mecánicos y químicos y regulan las funciones fisiológicas del tubo digestivo, transmitiendo la in-

formación a otras neuronas; esta función se lleva a cabo a través de las células enterocromafines, localizadas en el epitelio entérico y funcionan como transductores sensoriales. Además, existen unas Interneuronas, las cuales son las encargadas de integrar la información generada y enviarla a las neuronas motoras. Se clasifican en ascendentes o descendentes, de acuerdo a la dirección de las señales que emiten (Mazzone y Farrugia, 2007; Navarro, 2002).

De igual forma, las estructuras nerviosas del sistema digestivo también contienen células glía que nutren las neuronas. Las células glía están implicadas en la respuesta inmunitaria y sirven de barrera frente a sustancias nocivas que pudieran dañar las neuronas intestinales. La actividad inmunitaria del intestino resulta tan significativa que se le puede considerar el mayor órgano del sistema de defensa y este puede también mantener las condiciones óptimas para el desarrollo de una barrera beneficiosa, que permite la detección y expulsión inmediata de los microorganismos que pudieran resultar perjudiciales (Heanue y Pachnis, 2007).

Es así como el cerebro digestivo controla las actividades del intestino para detectar agentes que indican la progresión de la digestión. A partir de esta información generada, decide las sustancias que debe secretar para optimizar la asimilación de nutrientes y el ritmo con que los contenidos intestinales deben ser organizados.

Sin duda, el cerebro como el sistema digestivo se caracterizan por su capacidad para aprender. El aparato digestivo al igual que las organizaciones también puede hacerlo, pues, se le puede entrenar. Las organizaciones mientras ejecutan cada una de sus actividades dentro de su estructura gerencial, están

haciendo la neurodigestión, en cada uno de sus elementos que la conforman. Desde que inicia el proceso de captación de recursos humanos, transformación de la materia prima, hasta la atención al cliente, se inician procesos digestivos inconscientes que permiten la interacción, comunicación y aprendizaje continuo.

La analogía de la fisiología del aparato digestivo nos invita a concebir a las organizaciones como estructuras vitales, que al igual que el sistema nervioso entérico; son un complejo sistema de neuronas (capital intelectual) y células de sostén (Recurso Humano), capaces de generar información, integrarla y producir una respuesta. Sin embargo, tiene conexiones con el Sistema Nervioso Central (Alta Gerencia), lo cual crea también respuestas ante diferentes situaciones e intercambiar información entre ambos sistemas.

Metodología

Metodológicamente, la presente investigación responde a un estudio, post positivista, de paradigma epistémico cualitativo. En las que participaron tres gerentes de hospitales del municipio Maracaibo del Estado Zulia - Venezuela. El proceso de selección de la muestra se basó en los siguientes criterios: 1) ser director de un hospital tipo III, de la región del Maracaibo, 2) Tener 5 años en el cargo de gerente y/o director de un hospital, y 3) Tener voluntad de participar en el estudio.

La selección de los participantes se inició utilizando un muestreo por casos tipos, donde el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, no la cantidad ni la estandarización (Hernandez *et al.*, 2014), después se realizó una indagación teórica (para completar las categorías y conceptos creados a partir de entrevistas) hasta alcanzar la saturación. Los sujetos del estudio participaron en entrevistas semies-



estructuradas en las que se utilizaron preguntas abiertas para investigar el significado de la neurodigestión y el proceso de desarrollo del aprendizaje organizacional. Se entrevistó a cada participante en el trabajo, individualmente, entre 40 y 60 minutos ($n=3$). A medida que la entrevista avanzaba se realizaron preguntas más específicas y detalladas.

Las entrevistas fueron grabadas con el permiso de los participantes, y más tarde fueron transcritas. Antes del análisis, los datos brutos se codificaron literalmente. Este es un estudio cualitativo, basado en el enfoque de la Teoría Fundamentada. Para analizar los datos se utilizó el análisis comparativo constante de Corbin y Strauss (2008). Este proceso está compuesto de tres fases distintas: codificación abierta, codificación axial y codificación selectiva. La recolección y análisis de datos en el proceso de investigación ocurrió simultáneamente y la teoría que surgió fue propuesta basada en los datos (Corbin y Strauss, 2008). El análisis de los datos continuó simultáneamente después de la primera entrevista hasta que se alcanzó la saturación.

Para informar los hallazgos cualitativos del estudio, la fiabilidad de los métodos se considera ampliamente aplicable en lugar de validez y confianza (que es asociada con investigaciones cuantitativas (Elo y Kynäs, 2008). Se aplicaron cuatro procesos de soporte de la fiabilidad, los que fueron: conformidad, confianza, credibilidad y transferibilidad. La credibilidad se confirmó mediante la selección del método apropiado de recolección de datos de las entrevistas.

Posteriormente después de la codificación, las transcripciones de las entrevistas fueron devueltas a los participantes para garantizar la

exactitud de los códigos y de las interpretaciones importantes. La fiabilidad se estableció a través del análisis de datos detallados, descriptivos y de referencias directas a las experiencias profesionales del individuo. La conformidad y consistencia del análisis se mantuvieron durante las reuniones del equipo de expertos de la Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín, que tuvieron como finalidad discutir y analizar los resultados preliminares. El análisis temático y el proceso de codificación fueron obtenidos por consenso.

Antes de la recolección de datos, se obtuvo el consentimiento informado por escrito para asegurar el anonimato, la privacidad y la confidencialidad de los participantes; fue enfatizado que la inscripción era voluntaria. La información sobre los propósitos del estudio se explicó en detalle y se suministraron los datos de contacto del investigador, para que éste pudiese responder a preguntas de los participantes.

Resultados

Los datos se presentaron utilizando el marco propuesto por Corbin y Strauss (2008), para el desarrollo de categorías y subcategorías. Las categorías incluyeron: condiciones causales; fenómenos (cómo experimentaron los participantes la necesidad de desarrollar y potenciar nuevas habilidades); contexto en que ocurrió; términos de intervención que afectaron las estrategias de concreción del aprendizaje organizacional; acción/reacción (estrategias interacción, comunicación e interconexión); y consecuencias de elegir sus estrategias neurodigestivas para el desarrollo del aprendizaje. Finalmente, las categorías fueron conectadas entre sí y se teorizó el significado de la neurodigestión.

La codificación abierta

El análisis inició con la comparación de los datos, a partir de la interpretación del investigador acerca del mundo de los participantes. En las respuestas se identificó la idea principal y se generó un código. Además, se realizó un análisis de afinidad semántica, que consistió en verificar la bibliografía existente de los significados usuales de las palabras que aparecían en esas ideas principales, se contrastaron sus significados y se generaron los códigos. En el caso de los atributos no deseables, se ubicó el código en un primer momento, para después encontrar el antónimo con la ayuda de un diccionario, de tal manera que pudiera hablarse de presencia de atributos y no de su ausencia.

A continuación, se presentan algunas respuestas de los participantes para ejemplificar la generación de códigos. Ante la pregunta de qué se entiende como neurodigestión, las personas respondieron lo siguiente: “la digestión del talento humano es tener a ese personal capacitado, capacitarlo, tenerlo dentro de la empresa, para absorberle todos sus conocimientos en pro del buen desarrollando de todo lo que se realice en esta empresa que genera o produce salud”; “al igual que el sistema digestivo humano, tiene la capacidad que diferentes órganos dinamicen y actúen para extraer los nutrientes que luego serán distribuidos a otros sistemas mayores, con la finalidad de nutrir la organización con el intelecto humano a la par que la distribuye a todos los sistemas y sub sistemas que conforma la estructura de la empresa”.

“es un conjunto de elementos dinámicos que permiten que cada segmento organizacional actué en un espacio determinado de la red de trabajo, cuyo objetivo es la auto



organización y aprendizaje continuo, transdisciplinario de toda la estructura gracias a la interacción e intercambio de la información". En este sentido, los datos que dan luz a la teoría de la neurodigestión: capacitación, red de interconexión e interacción, aprendizaje continuo, nutrir la organización.

En ocasiones se genera un código a partir de algunas respuestas que son muy parecidas, pero quizá ocurra que, al leer una respuesta, el investigador se cuestione qué tan semejante es a las ya clasificadas bajo determinado código. Entonces, éste debe determinar si vale la pena conservar diferencias sutiles o desvanecerlas, según el propósito de la investigación. A esto nos referíamos cuando anteriormente hablamos del proceso de comparación constante entre datos, códigos y familias. Es importante detallar las diferencias, porque los códigos y las categorías deben ser mutuamente excluyentes para un mismo nivel de análisis, condición propia de todo proceso de codificación o categorización.

Los códigos y las familias deben definirse claramente por dos razones: para incrementar la precisión en la codificación de manera personal y para que cualquiera emplee los mismos criterios al llevar a cabo este proceso. En algunas investigaciones se tiene a varios codificadores que analizan diferentes segmentos de información o bien, hay varias personas que codifican la misma información y posteriormente se verifica el acuerdo entre éstas, para tener mayor confiabilidad en el análisis. Finalmente, el análisis cualitativo también se auxilia de notas u observaciones de quienes analizan los datos en el proceso de investigación, que reciben el nombre de memo. El memo se emplea para precisar lo que se requiera o para conservar las ideas o reflexiones que surgen en la cabeza del investigador.

La codificación axial

Durante el proceso de comparación constante se identificaron relaciones entre códigos (subcategorías) y familias (categorías). Por ejemplo, la neurodigestión es un proceso de aprendizaje que antecede a la interacción e interconexión, por lo que este código es causa de los códigos de aprendizaje y nutrición de la organización. En el caso de la relación entre los códigos neurodigestión y aprendizaje organizacional, se obtuvo que estos códigos se asocian con los procesos de capacitación continua, ya que una empresa que cumple estrategias de capacitación en su entorno laboral y que tiene un adecuado manejo de su capital intelectual y humano, buscará la mejora y el progreso de su comunidad organizacional y empleará los recursos necesarios para conseguirlo. Las relaciones también pueden establecerse entre familias.

La codificación selectiva

Por último, se llegó a la codificación selectiva que es en sí misma la teorización. Ésta se presenta a continuación, es decir, que la neurodigestión gerencial: es un proceso de capacitación y aprendizaje continuo, producto del contacto social e interacción emocional, que a través de la comunicación e interconexión se nutre y se construye el aprendizaje organizacional para la innovación creativa.

Fisiología gerencial de la neurodigestión y su relación con el proceso de construcción del aprendizaje organizacional

El término Neuro es un elemento conceptual muy tratado y aplicado últimamente en otras disciplinas como es el caso de las ciencias gerenciales (García - Albea, 2011), expone al respecto que existe un auge de lo neurológico, quizá no

hacía falta profundizar sobre el estudio neurocientífico para saber la importancia que reviste el funcionamiento del sistema nervioso en el control del resto de las funciones del organismo, porque de éste depende la conducta, la capacidad y hasta el logro de los individuos.

Ahora bien, al hablar de la aplicación o la analogía de mundo biomédico del cerebro digestivo no es más que crear estructuras teóricas para dar soluciones a problemas prácticos dentro y fuera de las organizaciones, a la vez, que se nutre de saberes de otras disciplinas. Por ello, la proliferación de lo Neuro a áreas científicas como la psicología, administración, ergonomía, mercadotecnia, entre otras, y lo más importante es que las soluciones que aporten serán innovadoras en las diferentes áreas en términos de la gerencia.

En este contexto, Rocha y Giraldo (2015), exponen que en esa búsqueda de oportunidades para innovar lo que un emprendedor o empresa requiere son nuevas tendencias, ideas, recursos, elementos novedosos conocidos como innovación, herramientas fundamentales del emprendedor, y generar mucha creatividad, base del crecimiento y desarrollo que ayudan al surgimiento de programas o proyectos dirigidos ellos a generar innovación y por ende nuevo conocimiento. Al respecto, se puede decir que la neurodigestión en una nueva plataforma para el desarrollo de las organizaciones, puesto que, va de la mano el saber y la capacidad creativa del ser. Al respecto Galvis (2014), expone que los neuro procesos incluyen conocimiento, desarrollo cerebral, ideas innovadoras, y sobre todo una nueva gerencia; al servicio de una neurosociedad y neurocultura. Puesto que es el control de factor más poderoso que el hombre haya descubierto: La mente humana, la



cual se puede aplicar y gestionar en contextos mundiales, organizaciones y personales.

Esta perspectiva nos sugiere que la neurodigestión, refiere un elemento transformacional de los individuos y las empresas que los acogen; teniendo como epicentro el conocimiento y la capacidad creativa para solucionar problemas en el sector gerencial. Es en el aprendizaje organizacional, la estructura que permite innovar de manera creativa y desarrollar nuevas habilidades que han conllevado al nacimiento de nuevos conocimientos e innovaciones con características diferenciadoras, es decir, que la neurodigestión es el resultado del funcionamiento de las relaciones, interconexiones e interacciones sinápticas, sensaciones - emociones digestivas y cognitivas del capital humano; las cuales, lo conducen hacia el logro de acciones que generan productos y/o servicios novedosos, altamente competitivos.

Sin lugar a duda, el proceso neuro - digestivo de aprendizaje permite al capital humano y las empresas su adaptación al entorno. Este proceso requiere de cambios en el sistema nervioso, de ahí la necesidad de la plasticidad de este (estructura operativa de la empresa) para poder tener la capacidad de aprendizaje y de adaptarse a nuevas situaciones. Asimismo, esta capacidad de aprender también está mediada por la memoria que posibilita el aprendizaje por la experiencia. Son los procesos de memoria, los que le permiten al recurso humano codificar, almacenar, retraer e integrar nueva información con la ya almacenada. Wolfe (2001), al respecto plantea que en este proceso neural operan tres interacciones de las memorias denominadas memoria sensorial, de largo plazo.

El papel de la memoria sensorial es llevar la información nueva al cere-

bro a través de receptores sensoriales y mantenerla ahí por una fracción de segundos hasta que una decisión es tomada sobre qué hacer con esta. La memoria funcional nos permite integrar la información actual percibida con el conocimiento almacenado y conscientemente manipular la información, posiblemente para asegurar si lo almacena en la memoria de largo plazo.

Por último, la memoria de largo plazo tiene una capacidad desconocida hasta ahora, pero es considerada extremadamente grande, algunos estiman que contiene más de un millón de billones de conexiones que le permiten una permanencia a la información. Esta categoría de memoria recibe información elaborada y organizada por la memoria funcional, y a través de dos tipos de memoria, la declarativa que permite almacenar y evocar información que podemos declarar, o sea, decir o escribir y la de procedimiento que facilita el almacenar procesos para acciones de rutina, juntas permiten al sujeto recuperar la información o las habilidades.

Es así, como la neurodigestión gestiona el conocimiento y permite que las organizaciones tengan una plataforma más inteligente. Esta herramienta debe entenderse también como un conjunto de principios, interconexiones e interacciones del saber empresarial que permiten obtener la información precisa y adecuada en el tiempo oportuno, de la forma más eficiente y sencilla, con el fin de conseguir una actuación lo más inteligente posible.

Si bien es cierto que el conocimiento es algo abstracto para que se pueda gestionar; lo que se gestiona en una organización son el capital humano que se emplean en ella, optimizándolos y haciéndolos más productivos y sostenibles. Sin em-

bargo, lo que se puede es la gestión de su recurso humano lo que le permite crear y desarrollar más y nuevos conocimientos. Es por ello, que esta analogía del sistema nervio digestivo nos invita a ver y comprender las organizaciones como seres vivos donde coexiste en ecosistema vivo generador de conocimiento a través de sus experiencias, capacidades y habilidades competitivas.

El capital humano es el único activo que genera conocimiento y para ello las actuales empresas deben tener en cuenta que se requiere una visión más actualizada con el futuro, por lo que es necesario desarrollar programas destinados a formar y capacitar a este recurso humano en general, para lograr la creación de nuevos conocimientos y su transmisión inmediata o materialización práctica. Las organizaciones son sistemas complejos que pueden dar interesantes indicios para lidiar con problemas prácticos que difícilmente podremos resolverlos con una mentalidad lineal y mecanicista (Villalobos, 2019).

Solo cuando las organizaciones y/o empresas se acerquen a metas y visiones humanistas; es cuando tendrán un conocimiento más amplio del entorno, perfeccionado por la interacción cerebro – digestión – aprendizaje. De esta forma permitirá, a la alta gerencia comprender y saber cómo el cerebro digestivo, aprende, procesa, registra, conserva, innova y evoca una información para transformar una realidad. Esta sería la plataforma de despegue para que a partir de este conocimiento se pueda mejorar las propuestas y estrategias de mercado y las experiencias de aprendizaje organizacional, plasmándolas de forma dinámica, liderada y motivadora en la planificación de todas las actividades que se desarrollan en el entorno empresarial.



Construcción del aprendizaje organizacional desde la neurodigestión gerencial.

El carácter biológico y gerencial que conlleva el ser humano confiere al estudio de su capacidad de administrar y generar conocimiento. Para ello, se hace necesario observar la neurodigestión como una clase de estados funcionales del cerebro en los que se generan patrones cognitivos sensoriales y emocionales que incluyen la autoconciencia. Esta forma de concebir el sistema nervioso digestivo reconoce la necesidad del estudio del cerebro digestivo en los procesos de aprendizaje del ser humano, actividad que es consustancial al proceso de aprendizaje del entorno empresarial. Tal y como lo indican Rivière y Nuñez (1996), existe una excesiva polarización inconsciente entre lo cognitivo y lo social del desarrollo que, en ocasiones, no atiende los procesos biológicos que facilitan la construcción del conocimiento, mediante los procesos de aprendizaje.

Desde hace mucho hemos tenido una visión muy limitada de la inteligencia humana, puesto que desde la neurodigestión se puede evidenciar que los pensamientos, emociones, sensaciones, imaginación y predisposiciones operan simultáneamente; estos interactúan con otros modos de adquisición y transformación de la información y con el aumento del conocimiento general. Tal como sucede en el aparato digestivo sucede en las organizaciones, en ocasiones las amenazas de elementos se asocian para liberar reacciones distintas, produce aprendizaje, y es desde estos hechos o experiencias donde se fortalecen las habilidades para establecer prioridades y hacer frente a las posibles amenazas de manera efectiva y eficaz.

Es sin duda, los ambientes y estímulos los que permiten la generación

de redes conceptuales de conocimiento que la memoria del recurso humano evoluciona. Así como lo describe Wolfe (2001), sucede en la red neural de la digestión gerencial y es en la determinación de qué es significativo y qué no, está reflejado no sólo en el proceso perceptivo inicial, sino también en el procesamiento consciente de la información.

Sin duda, cuando se incorporan nuevos aprendizajes a las organizaciones, estos se vinculan con experiencias pasadas. Dicha conexión puede ser significativa y va a depender del grado de vinculación de las estructuras operativas (capital humano) y la gerencia empresarial. Visto desde esta perspectiva el aprendizaje organizacional produce nuevas conexiones con cada elemento o estructura dentro de la empresa, la misma, se fortalece cuando las experiencias y conocimientos posteriormente son incorporados como elementos novedosos en la cadena de valor; además de ser un conocimiento coherente para la empresa que aprende. Kandell y Hawkins (1992), mencionan por su parte, que el aprendizaje es uno de los mayores vehículos para la adaptación comportamental y es una poderosa fuerza para el progreso.

Por otra parte, las habilidades intelectuales del recurso humano, visto desde la perspectiva de la neurodigestión, son habilidades cognitivas y emocionales, lo que potencia su capacidad de análisis y síntesis para solucionar los problemas. Es entonces a través de los procesos neuro digestivos de los individuos, que se puede no solo mejorar el aprendizaje, sino, también controlar sus emociones y aprender de ellas para potenciar, el desarrollo de su capacidad para reconocer sus sentimientos y el de los demás. Y de esta manera aumentar la confianza en sí mismo mejorando integridad, autocontrol, aumentando la perseverancia

para conseguir sus objetivos organizacionales, a la par que mejora su habilidad para resolver conflictos de actitudes, aumentando su capacidad de comunicación.

En síntesis, la neurociencia representa para las ciencias gerenciales un recurso importante para el desarrollo de estrategias que permitan el aprendizaje organizacional y de todos los individuos que integran las empresas. Dicho proceso de aprendizaje al cual hemos llamado "neurodigestión", no solo determinará el valor intelectual, sino, también la conducta operativa que deberá contemplar el capital humano con bases neurológicas para la generación de valor. En consecuencia, esta perspectiva neuro – digestiva permitirá innovar cada uno de los procesos administrativos y gerenciales desde dentro del capital humano, como proceso de internalización – abstracción – concreción del conocimiento adquirido que dan lugar a la memoria digestiva.

En este sentido, basándonos en Bernal (2011), podemos describir el aprendizaje empresarial como aquella sensibilidad que tiene el cerebro frente a los estímulos externos, el dinamismo cerebral, su plasticidad neuronal, los cuales ofrecen la posibilidad de que se puedan generar las condiciones en el ambiente organizacional que permitan suscitar la confianza, la seguridad emocional, la imaginación y el fortalecimiento de la memoria funcional necesarias para la autorrealización personal, la cooperación social y crecimiento empresarial.

Esta razón permite comprender a la neurodigestión, como un proceso de interacción, abstracción e innovación de las unidades operacionales, "capital humano", con el objeto de producir una conducta y esta se transforme en nuevas habilidades, destrezas, prácticas y/o conocimiento que potenciaran el intelecto or-



ganizacional. No obstante, para que esto se materialice se debe concebir el capital intelectual como un valor generado por un proceso mental – ambiental el cual es el resultado de las interacciones neuro – digestivas intrínsecas y extrínsecas del capital humano que conforma parte de la empresa. Resulta fundamental para toda institución comprender mejor los procesos neuro – digestivos y como la digestión gerencial es el resultado de las actividades neurales del sistema de gestión, operación y desarrollo.

Sin duda, la neurodigestión gerencial nos muestra como desde la perspectiva biológica y humanística las organizaciones pueden reorganizarse de manera sistemática tal como lo hace el aparato digestivo, para que de esta manera se generen mejores prácticas desde el auto aprendizaje continuo en cada uno de sus procesos operativos, este fenómeno es posible gracias a las conexiones en las que siempre están sumergidas el capital humano, ya que este le permite el intercambio de información y este a su vez el desarrollo de nuevas ideas que potencian la transformación de la cadena de valor dotándola de características diferenciadoras e innovadoras.

En líneas generales la comprensión del aprendizaje empresarial demanda su vinculación con las ciencias biomédicas a través de la “neurodigestión”, en un afán por alcanzar una visión gerencial interdisciplinar que permita poder establecer estrategias de acción en materia de gestión del capital intelectual; que puedan a la vez influir en la estructura de la organización durante su desarrollo productivo. En este contexto, se concibe a las organizaciones como una estructura constituida por múltiples capacidades que se complementan a través de su interconexión cuyo fin es determinar cuál

es el mejor comportamiento frente a la realidad que se transite, para de esta manera influir y ser influenciada desde el desempeño individual y colectivo.

De acuerdo a esto, las organizaciones poseen propiedades que otorgan al sistema la autoorganización, es decir, innovarse así mismo; este actúa en red, donde cada elemento que integra la estructura organizacional transforma a los demás sistemas que la integran desde sus unidades funcionales. Por lo tanto, esta debe ser entendida como una creación continua e indivisible que le otorga la neurodigestión a las empresas cuyo resultado es ampliar el proceso circular de cognición que garantiza la vida misma de la organización.

Se ha observado, que las organizaciones al igual que el sistema digestivo tienen la capacidad para enfrentarse con diferentes amenazas a través de la abstracción, memoria, auto organización e innovación de las funciones; estas ventajas competitivas son concebidas desde el auto aprendizaje de la empresa el cual es generado del quehacer diario y a partir de ello, no solo mejora su proceso sino también sus productos y/o servicios. Sin embargo, cada individuo de la empresa tiene capacidades diferentes y valiosas, por lo que esto les permite a las organizaciones resolver situaciones y crear productos y/o servicios desde otras perspectivas.

Desde una perspectiva neurodigestiva, las organizaciones se hacen entes inteligentes a través de procesos adaptativos resultantes de las experiencias, es decir, que mediante la interconexión neural – digestiva el auto aprendizaje mejora la conducta empresarial ante determinados escenarios. En tal sentido, se podría afirmar que la neurodigestión en el aprendizaje empresarial es

determinada por cambios ambientales que podría afectar la estructura de la organización y este podría tener como efecto crear nuevas conexiones en la red digestiva afín de potenciar la inteligencia colectiva como ingrediente básico de la innovación creativa.

De lo anterior se dependen los principales umbrales para la construcción del aprendizaje organizacional desde la perspectiva de la neurodigestión:

- El aprendizaje organizacional desde el cerebro que aprende: el cerebro digestivo absorbe información de su entorno consciente, y también de lo que está más allá del foco inmediato de atención. Esto como resultado del estímulo sensorial que evoca el ambiente laboral; aunque la experiencia sensorial son procesados bajo el nivel de conciencia, esta es uno de los estados donde se produce mayor aprendizaje, por lo que, el gerente deberá incluir en el contexto laboral estrategias cognitivas que permitan expandir creativamente ideas, habilidades y experiencia.
- La plasticidad de la conducta que se observa: el cerebro digestivo tiene la capacidad biológica de registrar experiencias completas y comportamientos observados en el entorno donde se desenvuelve y hacer de ellas, un comportamiento aprendido. El aprendizaje ocurre a través de una combinación del modelaje cognitivo - conductual, determinado por la experiencia de la persona. En este sentido, el gerente de una organización debe desarrollar y potenciar el aprendizaje organizacional a través de conductas que desea implantar en el entorno, pero que en sus inicios deben ser aprendidas, aceptadas, y ejecutadas por él; para ser el patrón a seguir por el resto de los colaboradores.



- Capacidad de contacto para el perfeccionamiento de habilidades: el cerebro digestivo interactúa y se relaciona con el entorno, para dar respuestas a sus necesidades, de tal modo que el aprendizaje está profundamente influido por la naturaleza de las relaciones y comunicaciones sociales, como ambiente de búsqueda de significados de experiencias aprendidas y observadas. En tal sentido, las organizaciones deben propiciar entornos laborales adecuados que permitan la interacción e interconexión de las personas y dirigir la búsqueda de significados para el alcance de los objetivos empresariales, a través del desarrollo de las relaciones y de un sentido de identidad, hasta una exploración de las potencialidades, capacidades de innovación y búsqueda de nuevas tecnologías.

- El aprendizaje desde la digestión emocional: todas las emociones tienen una respuesta fisiológica en el sistema digestivo y de esta manera el cerebro aprende de forma óptima de cada emoción que percibe y siente. Por lo que, en toda estrategia empresarial debe tenerse en cuenta siempre las emociones, pensamientos e imaginación con-

currente en que todo el sistema interactúa e intercambia información con su entorno laboral. Esta habilidad de neurodigestión sin lugar a duda, le permite al individuo a través de intuición y aprendizaje, anticiparse a las amenazas del entorno y desarrollar estrategias para la prevención y adaptación que mantengan el soporte vital de la organización.

Conclusión

Lo anterior implica comprender y aplicar científicamente los aspectos del sistema digestivo humano en el desarrollo del aprendizaje organizacional, como la acción gerencial con la cual el capital humano es un elemento generador de conocimiento e innovación. Asimismo, la síntesis de los aportes de las ciencias biomédicas no solo requiere la creación y desarrollo de estrategias para la gestión del capital intelectual, sino también de la incorporación del espacio de la biología digestiva en la comprensión del aprendizaje afectivo - cognitivo organizacional. Este llamado de neurodigestión, busca proponer nuevos recursos teóricos y estratégicos para potenciar el conocimiento integral de las empresas. Además, desarrollar una capacidad

para captación del aprendizaje, a través de entornos creativos que promuevan la innovación.

Abrir las puertas a la neurodigestión, nos invita a reconocer que el capital humano en las empresas necesita una formación especial y continua; por lo que un gerente requiere no sólo el conocimiento del contexto y de la disciplina, sino la comprensión y entendimiento de los procesos digestivos por los cuales el individuo transita para construir los conocimientos. En este sentido, la búsqueda de la transformación y construcción del aprendizaje organizacional amerita comprender su naturaleza bio-gerencial, que también media durante los procesos de aprendizaje, podrían resultar en una toma de decisiones poco estratégicas e improvisadas. Por lo que, la toma de decisiones requiere la comprensión del objeto teórico de los procesos neurodigestivos, las estrategias y el entramado emocional - neural - biológico - gerencial que el capital humano presenta. Finalmente, integrar los avances de las investigaciones neurológicas y fisiológicas del sistema digestivo pretende enriquecer la comprensión del proceso, sobre el aprendizaje organizacional.



Referencias

- Biesalski U, Grimm P. 2008. *Nutrición texto y atlas*. Ed. Panamericana, Caracas, Venezuela.
- Bernal-Guerrero A. 2011. *Neuro-ciencia y aprendizaje para la vida en el mundo actual*. Congreso de Neurociencias y Educación, Universidad de Sevilla, España.
- Corbin J, Strauss A. 2008. *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage Publications Inc., Los Angeles, USA.
<https://doi.org/10.4135/9781452230153>
- Elo S, Kyngäs H. 2008. The qualitative content analysis process. *J Adv Nurs* 62: 107-115.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Galvis L. 2014. *Neurociencia aplicada a la empresa. Oportunidades para el desarrollo de organizaciones Inteligentes y Sostenibles*. Cámara de Comercio de Medellín. Colombia.
- García-Albea J. 2011. Usos y abusos de lo “Neuro”. *Revista de Neurología Pespectiva*.
<https://doi.org/10.1186/1744-859X-12-6>
- Heanue T, Pachnis V. 2007. Enteric nervous system development and Hirschsprung’s disease: advances in genetic and stem cell studies. *Nat Rev Neurosci* 8: 466-479.
- Hernández R, Fernández C, Baptista L. 2014. *Metodología de la Investigación*. Editorial Mc Graw Hill, México.
- Kandell E, Hawkins R. 1992. The biological basis of learning and individuality. *Scientific American* 53-60.
- Mahan LK, Escott S. 2014. Editor. *Nutrición y dietoterapia de Krause*. Mc Graw Hill, México.
- Mataix J. 2002. *Nutrición y alimentación humana*. Tomo I. Situaciones fisiológicas y patológicas. Ed. Ergon, Granada, España.
- Mazzone A, Farrugia G. 2007. Evolving concepts in the cellular control of gastrointestinal motility neurogastroenterology and enteric sciences. *Gastroenterol Clin North Am* 36: 499-513.
- Navarro X. 2002. Fisiología del sistema nervioso autónomo. *Rev Neurol* 35: 553-562.
- Pineda S. 2010. Alineamiento entre la estrategia corporativa y la estrategia tecnológica y de innovación en una muestra empresarial de diferentes regiones de Colombia. *Investigación y Desarrollo* 18: 2-23.
- Rivière A, Nuñez M. 1996. *La mirada mental*. Aique Ed., Buenos Aires, Argentina.
- Rocha W, Giraldo G. 2015. *Perfil del emprendedor de la ciudad de Valledupar*. Universidad Popular del Cesar, Argos Grupo de investigación, Alpha & Omega, Colombia.
- Rosales-Valbuena H. 2012. Migraciones conceptuales y teóricas desde las ciencias fácticas de orden natural y la estructuración de la administración de empresas durante la primera mitad del siglo XX. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración* 8: 29-44.
- Villalobos D. 2018. *Digestión gerencial desde la automía caudal y sus implicaciones en la transformación de las organizaciones*. En: Méndez J. Ed. *De la gerencia tradicional a la gerencia transformacional: un estudio interdisciplinario*. Fondo editorial UNERMB.
- Villalobos, D. (2019). *Digestión gerencial como método de cambio transformacional de organizaciones del sector salud*. Tesis, Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín, Venezuela.
- Wolfe P. 2001. *Brain Matters: Translating research into classroom practice*. ASCD, Virginia, USA.



Javier Mallo
Medicina Respiratoria Infantil
Hospital y CRS El Pino
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad de Santiago de Chile
javier.mallo@usach.cl

Espirometría, pletismografía y reactividad bronquial a metacolina en niños con síntomas de asma autoinformados versus niños sin asma

Spirometry, plethysmography and bronchial reactivity to methacholine in children with self-reported asthma symptoms versus children without asthma

Javier Mallo¹ y Diego D. Brandenburg²

¹Neumólogo Pediatra, Departamento de Medicina Respiratoria Infantil, Hospital CRS El Pino, Escuela de Medicina, Universidad de Santiago de Chile (USACH)

²Neumólogo Pediatra, Departamento de Neumología Pediátrica, Hospital de Clínicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil

Resumen

Aunque los estudios globales han proporcionado información valiosa sobre la prevalencia del asma en niños de América Latina, hay muy poca información en la región acerca de si el asma actual reportada por los niños se asocia con características funcionales de esta como disminución de la función pulmonar e hiperreactividad bronquial (BHR). Este estudio examinó la relación entre las sibilancias auto informadas en los últimos 12 meses, la espirometría, la pletismografía, la capacidad de respuesta de las vías respiratorias y la atopia en dos muestras aleatorias (60 cada una) de niños de 13 a 14 años que habían tenido o no sibilancias en los últimos 12 meses. En comparación con los niños sin sibilancias, aquellos que informaron sibilancias actuales tuvieron una hiperreactividad bronquial (HRB) significativamente mayor a la metacolina (55% frente a 18,2%, $p=0.007$), función pulmonar significativamente más baja en la espirometría ($p=0.001$) y una resistencia significativamente mayor en pletismografía ($p=0.001$). La atopia fue significativamente mayor en los que informaron síntomas de asma actuales ($p=0.007$). Nuestros resultados muestran que los adolescentes que reportan síntomas actuales del asma mediante un cuestionario tienen una HRB significativamente más alta y una función pulmonar más baja que los niños sin antecedentes de asma.

Palabras claves: Asma; Hiperreactividad bronquial; Función pulmonar; Prueba de metacolina; Pletismografía; Niños; Adolescente; ISAAC.

Abstract

Although global studies have provided with valuable information on the prevalence of asthma in children of Latin America, there is very few information in the region on whether self-reported current asthma is associated to objective functional features of asthma as decreased pulmonary function and bronchial hyperresponsiveness (BHR). This study examined the relationship between self-reported wheezing in the last 12 months, spirometry, plethysmography, airway responsiveness and atopy in two random samples (60 each) of children aged 13-14 years who have reported or not, wheezing in the last 12 months. As compared to children without wheezing, those who reported current wheezing had significantly higher bronchial hyperresponsiveness (BHR) to methacholine (55% vs. 18,2%, $p=0.007$), significant lower lung function at spirometry ($p=0.001$) and significantly higher resistance at plethysmography ($p=0.001$). Atopy was significantly higher in those reporting current asthma symptoms ($p=0.007$). Our results show that adolescents who self-report current asthma symptoms by questionnaire have significantly higher BHR and lower lung function than healthy children.

Keywords: Asthma; Bronchial hyperresponsiveness; Lung function; Methacholine challenge test; Plethysmography; Children; Adolescent; ISAAC.



Introducción

El asma es una enfermedad altamente prevalente en la niñez. La mayoría de las estimaciones de la prevalencia a nivel global, regional y local se han realizado desde hace décadas mediante la aplicación de cuestionarios para ser respondidos por los adolescentes y en niños más pequeños por sus padres (Asher *et al.*, 2006; ISAAC, 2021). El Internacional Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC), el estudio epidemiológico mundial de asma en la niñez más grande realizado hasta el presente ha entregado valiosa información acerca de la prevalencia y severidad del asma (Mallol *et al.*, 2013; ISAAC, 2021). Esos datos se obtuvieron mediante la aplicación de cuestionarios para ser respondidos por cientos de miles de niños o sus padres. A pesar de la muy valiosa información epidemiológica obtenida hay cierta duda acerca de si las preguntas empleadas para detectar asma, y en especial de una de las preguntas claves en casi todos los cuestionarios de asma: “¿Ha tenido sibilancias o silbido al pecho en los últimos 12 meses?”, se correlacionan con alguno de los elementos fisiopatológicos fundamentales del asma

como reducción de la función pulmonar y la hiperreactividad bronquial (HRB). En la actualidad existe muy poca evidencia reciente al respecto, y a pesar de la amplia evidencia local, regional y global con respecto a la prevalencia de asma en la niñez (Asher *et al.*, 2006; Mallol *et al.*, 2013; ISAAC, 2021), la información disponible acerca de la relación existente entre la prevalencia actual de asma (en los últimos 12 meses) obtenida con cuestionarios ISAAC-Fase III respondidos por los niños y la función pulmonar e HRB es prácticamente inexistente. La comparación de la función pulmonar e HRB entre niños sanos y niños que reportan síntomas actuales de asma mediante cuestionarios, podría apoyar el poder de dichas preguntas de asma para identificar niños con alteraciones de la función pulmonar y de la reactividad compatibles con asma. Lo anterior proporcionaría un apoyo científico adicional a los estudios que determinan la prevalencia del asma en miles de individuos (y a sus resultados), y en los que por razones logísticas y económicas las mediciones funcionales son impracticables.

Este estudio se realizó para comparar los valores espirométricos, pletismográficos, de reactividad bronquial a metacolina y proporción de atopía, en adolescentes que respondieron tener síntomas actuales de asma y adolescentes que respondieron no tener síntomas actuales de asma.

Métodos

Diseño del Estudio:

Este estudio transversal fue realizado con el objetivo de explorar diferencias en la función pulmonar, reactividad bronquial a metacolina y atopía entre niños asmáticos y sanos empleando espirometría (flujos espiratorios forzados), pletismografía (volúmenes y resistencia de la vía aérea), test de metacolina (reactividad bronquial) y test cutáneo para alérgenos comunes (atopía). El estudio se realizó en el Departamento de Medicina Respiratoria Infantil del Hospital CRS El Pino en dos muestras aleatorias (n=60) seleccionadas de una población escolar de 13 a 16 años que fue parte del Estudio ISAAC (2021) (International Study of Asthma and Allergies in Children) y en el que participaron



3050 escolares de establecimientos educacionales del área sur de Santiago. Las muestras estuvieron constituidas por 60 adolescentes que respondieron positivamente a la pregunta de si habían tenido síntomas de asma en los últimos 12 meses (sibilancias actuales) y otro grupo de 60 adolescentes que respondió no haber tenido síntomas de asma en ese periodo (grupo control); se estimó una muestra de 60 participantes por grupo para alcanzar una potencia mayor de 80% para detectar una diferencia en la respuesta de la vía aérea a metacolina de una concentración o dilución doble (DD) de metacolina; o una diferencia de 12% en el promedio de VEF1 (espirometría) entre los grupos, con un nivel de confianza de 95%. Los niños con enfermedades asociadas (cardiológicas, metabólicas, neuromusculares u otras) con posibles repercusiones pulmonares no fueron incluidos en este estudio.

Los niños seleccionados concurren con sus padres para la realización de los exámenes de función pulmonar, reactividad bronquial y atopia (alergia). Para la realización de los exámenes los participantes no debían haber tenido resfríos o infecciones respiratorias en el último mes, no haber fumado en el día del examen y no haber usado medicamentos que pudieran interferir en los resultados de los exámenes (antialérgicos, broncodilatadores, corticoides, xantinas, etc.), conforme a recomendaciones internacionales y de acuerdo con las propiedades farmacológicas de cada fármaco.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Ministerio de Salud de Chile, Área Metropolitana de Salud Sur, y se obtuvo el consentimiento totalmente informado y firmado de los padres.

Pruebas de función pulmonar

Espirometría: La espirometría se realizó utilizando un sensor de flujo pre-Vent con el sistema de procesamiento Medgraphics CPFS / D (Medical Graphics Corp., St. Paul, Minnesota, USA). El porcentaje del valor predicho para cada parámetro (FVC, FEV1, FEF25-75% y FEV1 / FVC) se calculó de acuerdo con las ecuaciones de GLL y se expresaron como z-scores (Quanjer *et al.*, 2012). Los valores anormales se definieron como aquellos por debajo del límite inferior normal, o un z-score $< -1,64$. Las maniobras de capacidad forzada se realizaron por triplicado y se seleccionaron los mejores valores de acuerdo con los criterios ATS de aceptabilidad y reproducibilidad (Graham *et al.*, 2019). Los agonistas adrenérgicos beta 2 de acción corta se interrumpieron 12 horas antes del día de la prueba y ningún niño estaba en tratamiento con LABA, esteroides orales, antihistamínicos, teofilina o antileucotrienos.

Pletismografía

Se utilizó un pletismógrafo corporal total de volumen constante (Jaeger®, modelo MasterScreen Body, Germany). El equipo fue calibrado diariamente previo a su uso con jeringa de 2 litros para el neumotacógrafo; la calibración de los sensores de presión y test de fuga del equipo fueron realizados automáticamente; el método de la medición pletismográfica empleado en este estudio ha sido explicado en detalle en otra publicación (Mattiello *et al.*, 2010). La pletismografía se realizó con el paciente sentado, respirando de forma tranquila y relajada, a una frecuencia de 1 Hz, con pinza nasal y con las manos en las mejillas para evitar la inflación de estas durante la oclusión del sistema. Los pará-

metros pletismográficos fueron: volumen gaseoso intratorácico (ITGV), capacidad pulmonar total (CPT), volumen de residual (VR), resistencia específica de vía aérea (sRaw) y la conductancia específica (sGaw). Los valores se expresan en porcentaje del predicho de acuerdo con las ecuaciones de Zapletal (Zapletal, 1987). La sRaw (resistencia al flujo del aire corregida por el volumen gaseoso intratorácico, VGIT) y la sGaw (velocidad del flujo de aire dentro de la vía aérea corregida por VGIT), se expresaron como porcentajes de los valores predichos y se consideraron anormales los valores de sRaw por sobre el 95° (1,40 kPa*s) y de sGaw por debajo del 5° percentil (0,77 1/kPa*s).

Prueba de metacolina

Se realizó si el FEV1 era $>$ al 80% del valor predicho. Después de la inhalación de solución salina normal, se inhalaban concentraciones dobles de metacolina de 0,03 mg/mL a 8 mg/mL, cada cinco minutos hasta alcanzar una caída del FEV1 superior al 20% del valor post salino. La concentración provocadora de metacolina que resulta en una caída del 20% del FEV1 (PC20) se calculó por interpolación lineal (Zapletal, 1987), una prueba positiva de metacolina (hiperreactividad bronquial, HRB) se definió como una PC20 \leq 4 mg/mL. (Crapo *et al.*, 1999). En general y a modo de explicación ilustrativa, una mayor reactividad bronquial a la metacolina significa que la obstrucción bronquial inducida por este agente inhalado ocurre a concentraciones más bajas.

Prueba cutánea (Prick Test)

Se realizó para ocho aeroalérgenos comunes en la cara anterior del antebrazo, incluyendo un control positivo



(histamina) y un control negativo (solvente). Se emplearon los siguientes alérgenos: Dermatophagoides pteronyssinus, Dermatophagoides farinae, gato, perro, alternaria, mezcla de hierbas, mezcla de árboles y una mezcla de malezas (Nelco Laboratories, Nueva York, USA). La presencia de atopia se definió como una reacción positiva (tamaño de la roncha de 3 mm o más después de restar el valor de control) a uno o más alérgenos.

Análisis de los datos

Las variables continuas de distribución normal fueron expresadas en promedio e intervalo de confianza al 95% y contrastadas mediante estadística paramétrica. Las diferencias en las proporciones de pacientes con función pulmonar normal o anormal en cada grupo se analizaron mediante test de chi-cuadrado; las variables que no estaban normalmente distribuidas se analizaron con estadística no-paramétrica. Las PC20 de metacolina de ambos grupos se convirtieron en logaritmos para su comparación.

Las diferencias entre los niños con asma y sanos con respecto a CVF, FEV1, CVF/VEF1 y FEF25-25% para la espirometría y de sRaw, sGaw, CPT, ITGV, VR y VR/CPT para pletismografía, la presencia de atopia, y la respuesta a metacolina, se analizaron con ANOVA y la significación estadística se estableció a un valor de $p < 0,05$; para el análisis se utilizó el software estadístico MedCalc versión 19.5.3, Ostende, Bélgica.

Resultados

Los datos antropométricos y de función pulmonar en los grupos de asmáticos y sanos se aprecian en la Tabla N° 1. El número de niños y niñas en el grupo de asmáticos y no asmáticos fue 23/27 y 24/32, respectivamente, y la diferencia no fue significativa ($p=0.482$)

Función Pulmonar (Espirometría y Pletismografía).

Los niños con síntomas actuales de asma tuvieron una función pulmonar significativamente menor que los

niños sanos, tanto en los parámetros espirométricos como en los pletismográficos y tuvieron una reactividad bronquial a la metacolina significativamente mayor, Tabla N° 1. Con respecto a la proporción de niños con valores anormales de espirometría hubo un 20% con espirometría anormal en grupo de asmáticos y un 14,3% en el grupo sin síntomas asmáticos ($p=0.740$). En la pletismografía, hubo un porcentaje mayor de niños con sRaw anormal (46,7%) en el grupo con síntomas actuales de asma que en los sin asma (28,6%), pero la diferencia no fue significativa ($p=0,213$); el 68,3% de los asmáticos tuvo sGaw anormal versus un 60,7% en los no asmáticos ($p=0.495$); no hubo diferencia significativa en los volúmenes pulmonares medidos VGIT y CPT entre ambos grupos.

Abreviaturas

VA	Vía Aérea
FP	Función Pulmonar
HRB	Hiperreactividad Bronquial
VEF1 (L)	Volumen Espiratorio Forzado en el 1º segundo
CVF (L)	Capacidad Vital Forzada
VEF1/CVF%	Porcentaje del VEF1 en relación con la CVF
FEF25-75% (L/s)	Flujo espiratorio forzado entre 25% y 75% de la CVF
sRaw (kPa/s)	Resistencia Específica de la VA
sGaw (1/kPa*s)	Conductancia Específica de la VA
CPT (L)	Capacidad Pulmonar Total
ITGV (L)	Volumen gaseoso intratorácico total (Capacidad residual pulmonar por pletismografía)
RV (L)	Volumen residual
PC20 (mg/mL)	Concentración de metacolina que causa una caída de 20% en el VEF1
LogPC20	Valor de PC20 convertido a logaritmo base 10

Tabla N° 1. Datos antropométricos, de función pulmonar y reactividad bronquial en escolares que tuvieron síntomas de asma (sibilancias) en los últimos 12 meses versus escolares sin antecedentes de asma.

	Asma (n=60)		Sanos (n=56)		p
	Media	95% CI	Media	95% CI	
Edad	14,7*	14,3 - 14,9	14,9	14,6 - 15,1	0,391
Peso	62,3*	59,1 - 65,7	57,1*	54,4 - 59,9	0,017
Talla	163,6	161,5 - 165,6	161,9	159,9 - 163,8	0,222
Espirometría (z-scores)					
zCVF	0,69	0,42 - 0,95	0,59	0,28 - 0,88	0,614
zVEF1	0,44	0,15 - 0,73	0,64	0,37 - 0,90	0,328
zFEF25-75%	-0,23	-0,48 - 0,02	0,30	0,05 - 0,54	0,003
zfVEF1/CVF	-0,36	-0,61 - -0,11	0,10	-0,16 - 0,37	0,012
Pletismografía (% del predicho)					
sGaw	61,46	56,7 - 66,1	67,20	61,9 - 72,8	0,019
sRaw	169,79	157,1 - 183,4	148,97	137,3 - 161,5	0,025
VGIT	120,24	115,2 - 125,2	117,46	112,9 - 122,0	0,415
CPT	106,99	103,9 - 110,0	107,73	104,8 - 110,6	0,730

La reactividad bronquial a la metacolina fue significativamente mayor en los niños con sibilancias actuales que en los sanos ($p=0.001$), como se aprecia en la Figura N° 1. La proporción de niños asmáticos con HRB (PC20 \leq 4 mg/mL) (55%) fue significativamente mayor que en niños sanos (18,2%), $p<0,0001$.

Hubo una proporción significativamente mayor de atopia en los niños asmáticos (71,7%) que en los sanos (50%), $p=0,014$. Cuando se analizaron los niños de ambos grupos para estudiar la relación entre atopia e HRB se encontró que el 48,6% de los niños con atopia tuvieron HRB vs un 20% en los no atópicos ($p=0,001$), y la atopia fue un predictor significativo de HRB en ambos grupos después de ajustar por otras variables en el modelo de regresión logística (OR 3,8 IC95% 1,6-8,9, $p=0.007$). Otros factores que estuvieron significativamente asociados con HRB ($p<0.05$) fueron género masculino, espirometría anormal (patrón obstructivo), y sGaw disminuida.

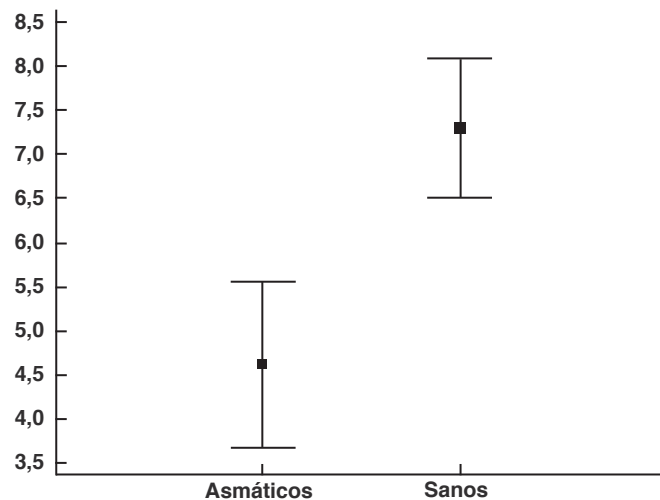


Figura N° 1. Reactividad bronquial a la metacolina en niños asmáticos y sanos (PC20 mg/mL promedio e IC95%).

Considerando ambos grupos juntos, se encontró que la función pulmonar fue significativamente más baja en los niños que tuvieron el antecedente de haber sufrido de síntomas de asma (sibilancias recurrentes) y uso de inhaladores en los primeros 2 años de vida, en ellos el FEF25-75% ($p=0.007$), VEF1/CVF ($p=0.017$) y sGaw ($p=0.025$) estuvieron significativamente disminuidos ($p<0.05$), en tanto que sRaw estuvo significativamente aumentada ($p=0.009$), Figura N° 2.

Asimismo, en ambos grupos se observó que los niños expuestos pasivamente al humo de tabaco en sus casas tuvieron una disminución significativa en algunos índices de la espirometría como FEF25-75% y FEV1/CVF% ($p=0.007$), Figura N° 3.

Discusión

Este estudio muestra que los adolescentes de un área urbana de bajo nivel socioeconómico, que informaron haber tenido síntomas de asma (sibilancias) en los últimos 12 meses tuvieron una función pulmonar significativamente menor y una HRB a la metacolina significativamente mayor que aquellos que no tenían síntomas de asma. Lo que revela que aun cuando el asma está estable los pacientes tienen una menor función pulmonar que los niños sanos, lo cual se expresó claramente en los resultados de la espirometría y pletismografía demostrando una disminución de la función pulmonar en parámetros que indican trastornos fisiológicos similares (flujos espiratorios forzados, conductancia y resistencia de vía aérea). Lo anterior, y de acuerdo con estudios previos, sugiere que aun cuando los niños que reportaron síntomas recientes de asma (en los últimos 12 meses) se encuentren estables o mínimamente sintomáticos al momento de la realización de los exámenes, ellos tienen un déficit de su función pulmonar (Bui *et al.*, 2018).

Se ha demostrado que tanto la reducción de la FP como la presencia de asma en la adolescencia son factores de riesgo importantes para presentar déficit de función pulmonar, asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en la adultez (Ruotsalainen *et al.*, 2010; Dratva *et al.*, 2016; McGeachie, 2017; Bui *et al.*, 2017; Bui *et al.*, 2018; Bui *et al.*, 2020), por lo tanto la adecua-

da identificación y tratamiento del asma en la niñez podría ser parte importante de la estrategia para prevenir de enfermedad pulmonar obstructiva en la adultez y ancianidad, edades en las que estas condiciones disminuyen gravemente la calidad de vida. Sin embargo, el más importante predictor de EPOC, daño en la función pulmonar y asma en la adultez es la exposición activa o

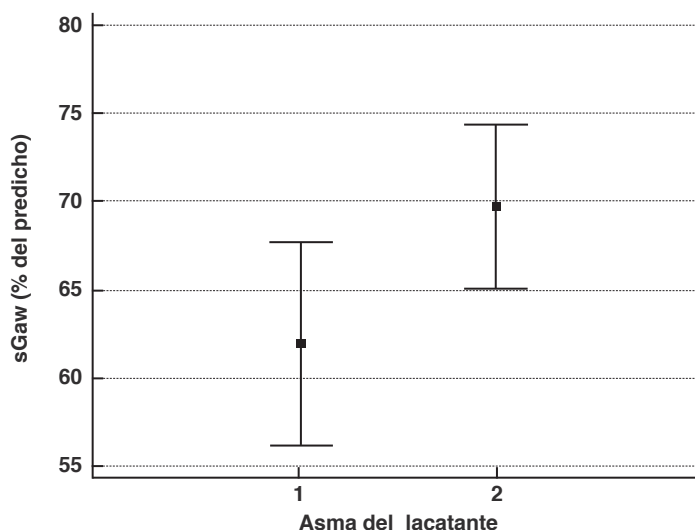


Figura N° 2. Valor promedio (IC95%) de conductancia específica de la vía aérea (sGaw, % del predicho) en niños con antecedente asma y uso de inhaladores en el periodo de lactante (1) versus aquellos que no tuvieron asma del lactante (2), $p=0.007$.

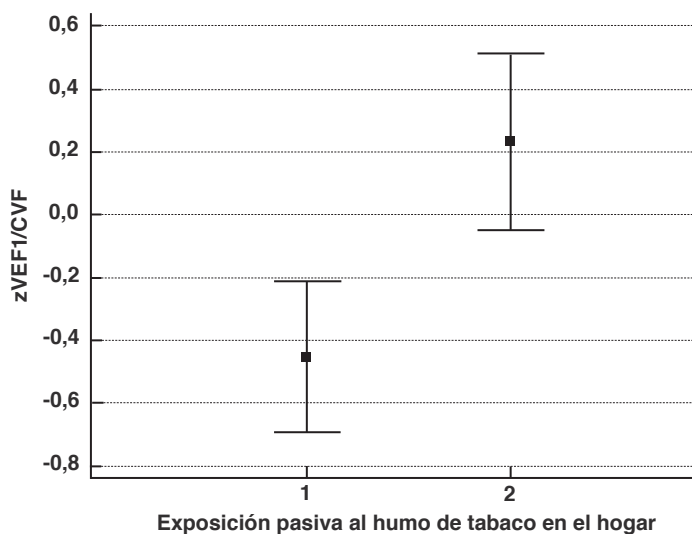


Figura N° 3. Valor promedio (IC95%) de zVEF1/CVF (z-score) en niños expuestos pasivamente al humo de tabaco en sus casas (1) versus aquellos no expuestos (2), $p=0.025$.

pasiva al humo de tabaco, (Oberg *et al.*, 2011; Fernandez-Plata *et al.*, 2016; ASH, 2018; Lopez-Blazquez *et al.*, 2018; Mallol *et al.*, 2020; Merianos *et al.*, 2020). En nuestro estudio los niños expuestos al humo de tabaco pasivamente tuvieron una función pulmonar significativamente menor lo cual indica que el efecto deletéreo del humo de tabaco en niños sanos o asmáticos está presente ya en la adolescencia y como se ha mencionado representa un potente factor de riesgo para iniciar el tabaquismo activo y para sufrir de enfermedades pulmonares crónicas en la adultez, pero también de una mayor prevalencia de asma y enfermedades respiratorias en la adolescencia (Oberg *et al.*, 2011; ASH, 2018). Similarmente, los niños que tuvieron antecedentes de haber sufrido de síntomas de asma con uso de inhaladores antiasmáticos en los primeros dos años de vida tuvieron menor función pulmonar; se ha demostrado que los niños con síntomas recurrentes de asma en el periodo de lactantes tiene mayor riesgo de función pulmonar disminuida y de asma en la adolescencia y la adultez (Dravya *et al.*, 2016; Bui *et al.*, 2018; Bui *et al.*, 2020).

Sin embargo, es importante distinguir entre función pulmonar más baja en los niños asmáticos con respecto a los niños normales, y función pulmonar anormal (valor del parámetro de función pulmonar por debajo del límite inferior normal esperado). En este estudio la proporción de niños con espirometría y pletismografía anormal en los niños asmáticos fue baja, en concordancia con hallazgos previos que indican que la gran mayoría de los niños asmáticos estables tienen función pulmonar normal (Murray *et al.*, 2017; Lo *et al.*, 2020; Mallol *et al.*, 2020), pero cuando esa función pulmonar "normal" se compara con la de niños normales, la FP de los asmáticos es generalmente menor; sin embargo, la evidencia reciente al respecto en

muestras de asmáticos y sanos obtenidas al azar como en este estudio, es prácticamente inexistente. Estudios de cohorte han encontrado que los niños asmáticos tienen función pulmonar baja e HRB en forma consistente y aunque estén asintomáticos, lo cual sugiere que la obstrucción de las vías respiratorias y la hiperreactividad bronquial son rasgos estables del asma infantil desde la vida neonatal, lo que implica que la enfermedad sintomática puede ser en parte una consecuencia de estos rasgos, pero no su causa (Hallas *et al.*, 2019).

Previamente habíamos encontrado que solo un 16% de los niños con diagnóstico de asma hecho por un especialista tenía función pulmonar anormal y solo un 33% tenía óxido nítrico exhalado (FENO) elevado (inflamación de vía aérea) (Mallol *et al.*, 2020); otros autores en una cohorte de nacimiento americana también encontraron que la proporción de niños asmáticos con espirometría y FENO anormal fue incluso más baja (Murray *et al.*, 2017). En el presente estudio se incorporó la pletismografía lo cual podría aumentar las posibilidades de identificar asmáticos mediante la adición del estudio de resistencia de la vía aérea y porque se ha demostrado que los resultados de emplear espirometría junto con pletismografía serían mejores que cada una por separado para la evaluación del monitoreo del asma en niños (Korten *et al.*, 2019).

Este estudio demuestra que los niños que reportan sibilancias en los últimos 12 meses tienen una reactividad de la vía aérea a la metacolina significativamente mayor que los niños que no tienen asma, y la prueba de metacolina fue un factor discriminador entre los asmáticos y los no asmáticos. La HRB es un pilar fundamental en la definición de asma, junto con la inflamación, la función pulmonar y la clínica, y

cuando es negativa casi siempre descarta el diagnóstico de asma. Se ha demostrado una estrecha relación entre sibilancias en los últimos 12 meses e HRB medida empleando solución salina hipertónica como agente provocador, dicha asociación está presente independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico de los países, pero es mayor en niños atópicos (Bûchele *et al.*, 2010). Los resultados de este estudio en términos de HRB y FP refuerzan la potencia y utilidad de la pregunta sobre asma actual (sibilancias en los últimos 12 meses) para su uso en estudios epidemiológicos de gran envergadura, que involucran cientos de miles de niños como ISAAC y en los cuales el uso concomitante de estudios de FP e HRB es impracticable, no solamente por razones logísticas sino por el enorme costo que eso implicaría en estudios epidemiológicos de esa magnitud. Tanto la reactividad bronquial como la función pulmonar parecen tener un comportamiento dinámico y ambas pueden variar de acuerdo con cambios en los niveles de irritantes ambientales intra y extradomiciliarios, tabaquismo y niveles de aeroalergenos presentes en los distintos lugares, infecciones virales agudas, entre otros.

En la actualidad, se desconocen las razones de la variabilidad reportada en la prevalencia de síntomas de asma, HRB y atopia, pero dada la naturaleza multifactorial del asma es posible que dichas variaciones puedan ser explicadas por las diferentes características ambientales, o por interacciones genético-ambientales (ecológicas, epigenéticas). Aunque ese tema se ha discutido en estudios globales de prevalencia de asma en la niñez (Mallol *et al.*, 2008; Mallol *et al.*, 2013), las conclusiones no son definitivas. En un estudio multicéntrico internacional (ISAAC Fase II) y empleando otro método de provocación bronquial (inhalación de solución salina hiper-



tónica al 4,5%) (26) se encontró que a nivel individual, la HRB se asoció positivamente con sibilancias en los últimos 12 meses (prevalencia actual) tanto en países ricos (OR 3,6; IC95% 2,7–5,0) como en los en desarrollo (OR 3,0; IC95% 1,6–5,5) y aunque esta asociación fue más pronunciada en niños atópicos, también ocurrió en niños no atópicos. Los autores encontraron una alta variabilidad entre los centros de los distintos países y las altas tasas de HRB no se limitaron a los países ricos ni a centros con alta prevalencia de síntomas de asma; esta heterogeneidad podría explicarse en gran medida por la atopia. Asimismo, la misma amplia variabilidad, tanto en la prevalencia como en su relación con los síntomas actuales de asma en niños de distintos países, ha sido descrita para la atopia (Weinmayr *et al.*, 2007). En nuestro estudio la atopia estuvo asociada con la HRB tanto en niños sanos como asmáticos, pero preponderantemente en estos últimos. Otro factor que debe ser considerado en el estudio de las relaciones entre asma, HRB y atopia es el estado socioeconómico el cual es un importante factor que incide no solamente en una mayor prevalencia y severidad, sino también en la variabilidad encontrada entre diferentes centros (Weinmayr *et al.*, 2007; Gong *et al.*, 2014).

En el presente estudio, el tabaco de segunda mano (o tabaquismo pasivo) se asoció con una función pulmonar más baja lo cual coincide con otros estudios y resalta el importante factor de riesgo para el asma, función pulmonar disminuida e HRB del humo del tabaco pasivo (Sua-

rez-Lopez de Vergara *et al.*, 2007; Ruotsalainen *et al.*, 2010; Oberg *et al.*, 2011; Mitchell *et al.*, 2012; Merghani & Saeed, 2013; Fernandez-Plata *et al.*, 2016; ASH, 2018; Lopez-Blasquez *et al.*, 2018; Merianos *et al.*, 2020). La exposición al tabaco de segunda mano es un fenómeno altamente prevalente estimándose que en el mundo un 40% de ellos está expuesto al tabaco de segunda mano, con una prevalencia que oscila entre el 12% y el 67% en las diferentes regiones del mundo; además, el tabaquismo pasivo es responsable de una alta carga de enfermedades (Fernandez-Plata *et al.*, 2016; ASH, 2018).

Fortalezas y limitaciones

El presente estudio tiene limitaciones que son inherentes a todos los estudios transversales ya que el diseño no permite sacar conclusiones definitivas sobre causalidad; sin embargo, son eficientes para evaluar la prevalencia, plantear hipótesis y evaluar cambios en los factores estudiados a lo largo de los años en los mismos lugares. Este estudio entrega datos recientes de la asociación entre la prevalencia de asma en los últimos 12 meses reportada por los mismos escolares mediante cuestionarios, y la reactividad de la vía aérea a metacolina, función pulmonar espirométrica y pletismográfica. Nuestros hallazgos validan el uso de esas preguntas para evaluar la prevalencia de asma en adolescentes. El presente estudio demuestra que la espirometría, siendo un método sencillo y ampliamente disponible en los distintos niveles de atención de la salud

pública, es por sí sola suficiente para demostrar las alteraciones funcionales asociadas con los síntomas de asma; la pletismografía, aunque aporta información adicional acerca de la resistencia de la vía aérea y de los volúmenes pulmonares, aspectos que no pueden ser medidos con la espirometría, parecería jugar un rol secundario.

Nuestros resultados demuestran el profundo efecto deletéreo de la exposición pasiva al humo de tabaco sobre la función pulmonar y la reactividad bronquial en los adolescentes, probablemente reflejando el efecto prolongado de la exposición en sus hogares desde muy temprano en la vida. Al mismo tiempo, nuestros datos se suman a los otros estudios que han demostrado que sufrir de sibilancias recurrentes o asma del lactante se relaciona con una menor función pulmonar en la adolescencia; a su vez, una menor función pulmonar en la adolescencia es un factor de riesgo para EPOC (Bui *et al.*, 2017).

Conclusión

Este estudio demuestra que los niños que responden afirmativamente a la pregunta de síntomas actuales de asma (sibilancias en los últimos doce meses) tienen un déficit de su función pulmonar y una mayor HRB que los niños que no refieren tener síntomas de asma. Lo anterior confirma la utilidad y el poder discriminatorio de dichas preguntas para identificar niños con posible asma en estudios epidemiológicos.



Referencias

- ASH. 2018. Second-hand tobacco: effects on children, Action on smoking and health (ASH), Research Report 2018; <https://ash.org.uk/wp-content/uploads/2018/12/ASHReport-The-Impact-of-Secondhand-Smoke-and-Children.pdf>
- Asher MI, Montefort S, Björkstén B, Lai CK, Strachan DP, Weiland SK, Williams H; ISAAC Phase Three Study Group. 2006. Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phases One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys. *Lancet* 368: 733-743. Erratum in: *Lancet* 2007 - 370:1128.
- Bui DS, Burgess JA, Lowe AJ, Perret JL, Lodge CJ, Bui M, Morrison S, Thompson BR, Thomas PS, Giles GG, Garcia-Aymerich J, Jarvis D, Abramson MJ, Walters EH, Matheson MC, Dharmage SC. 2017. Childhood lung function predicts adult chronic obstructive pulmonary disease and asthma-chronic obstructive pulmonary disease overlap syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 196: 39 - 46. <https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1272OC>
- Bui DS, Lodge CJ, Burgess JA, Lowe AJ, Perret J, Bui MQ, Bowatte G, Gurrin L, Johns DP, Thompson BR, Hamilton GS, Frith PA, James AL, Thomas PS, Jarvis D, Svanes C, Russell M, Morrison SC, Feather I, Allen KJ, Wood-Baker R, Hopper J, Giles GG, Abramson MJ, Walters EH, Matheson MC, Dharmage SC. 2018. Childhood predictors of lung function trajectories and future COPD risk: a prospective cohort study from the first to the sixth decade of life. *Lancet Respir Med* 6: 535-544. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(18\)30100-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(18)30100-0)
- Bui DS, Perret JL, Walters EH, Abramson MJ, Burgess JA, Bui MQ, Bowatte G, Lowe AJ, Russell MA, Alif SM, Thompson BR, Hamilton GS, Giles GG, Thomas PS, Morrison S, Johns DP, Knibbs LD, Zock JP, Marcon A, Garcia-Aymerich J, Erbas B, Jarvis D, Svanes C, Lodge CJ, Dharmage SC. 2020. Lifetime risk factors for pre- and post-bronchodilator lung function decline. A population-based study. *Ann Am Thorac Soc* 17: 302 - 312. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201904-329OC>
- Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, Enright PL, Hankinson JL, Irvin CG, MacIntyre NR, McKay RT, Wanger JS, Anderson SD, Cockcroft DW, Fish JE, Sterk PJ. 2000. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing ATS 1999. *Am J Respir Crit Care Med* 161: 309 - 329. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.161.1.ats11-99>
- Dratva J, Zemp E, Dharmage SC, Accordini S, Burdet L, Gislason T, Heinrich J, Janson C, Jarvis D, de Marco R, Norbäck D, Pons M, Gómez Real F, Sunyer J, Villani S, Probst-Hensch N, Svanes C. 2016. Early life origins of lung ageing: early life exposures and lung function decline in adulthood in two european cohorts aged 28-73 years. *Plos One* 11: e0145127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145127>
- Fernández-Plata R, Rojas-Martínez R, Martínez-Briseño D, García-Sancho C, Pérez-Padilla R. 2016. Effect of passive smoking on the growth of pulmonary function and respiratory symptoms in schoolchildren. *Rev Invest Clin* 68: 119 - 127.
- Gong T, Lundholm C, Rejnö G, Mood C, Långström N, Almqvist C. 2014. Parental socioeconomic status, childhood asthma and medication use-a population-based study. *Plos One* 9: e106579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106579>
- Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, Hallstrand TS, Kaminsky DA, McCarthy K, McCormack MC, Oropez CE, Rosenfeld M, Stanojevic S, Swanney MP, Thompson BR on behalf of the American Thoracic Society and the European Respiratory Society. 2019. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement Statement.. *Am J Respir Crit Care Med* 200: e70-e88. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1590ST>
- Korten I, Zacharasiewicz A, Bittkowski N, Hofmann A, Lex C. 2019. Asthma control in children: Body plethysmography in addition to spirometry. *Pediatr Pulmonol* 54: 1141 - 1148. <https://doi.org/10.1002/ppul.24320>
- Hallas HW, Chawes BL, Rasmussen MA, Arianto L, Stokholm J, Bønnelykke K, Bisgaard H. 2019. Airway obstruction and bronchial reactivity from age 1 month until 13 years in children with asthma: A prospective birth cohort study. *Plos Med* 16: e1002722. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002722>
- ISSAC, 2018. The International Study of asthma and allergies in childhood (ISAAC). <http://isaac.auckland.ac.nz/resources/tools.php?menu=tools1>



- Lo DK, Beardsmore CS, Roland D, Richardson M, Yang Y, Danvers L, Wilson A, Gaillard EA. 2020. Lung function and asthma control in school-age children managed in UK primary care: a cohort study. *Thorax* 75: 101 - 107. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2019-213068>
- López Blázquez M, Pérez Moreno J, Vigil Vázquez S, Rodríguez Fernández R. 2018. Impact of passive smoking on lung function and asthma severity in children. *Arch Bronconeumol* 54: 436 - 437. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2017.10.016>
- McGeachie MJ. 2017. Childhood asthma is a risk factor for the development of chronic obstructive pulmonary disease. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 17: 104 - 109. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000348>
- Mallol J, Castro-Rodríguez JA, Cortez E, Aguirre V, Aguilar P, Barrieto L. 2006. Heightened bronchial hyperresponsiveness in the absence of heightened atopy in children with current wheezing and low income status. *Thorax* 63: 167-171. <https://doi.org/10.1136/thx.2006.063180>
- Mallol J, Crane J, von Mutius E, Odhiambo J, Keil U, Stewart A; ISAAC Phase Three Study Group. 2013. The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Phase Three: a global synthesis. *Allergologia et Immunopathologia* 41: 73-85. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2012.03.001>
- Mallol J, Riquelme C, Aguirre V, Martínez M, Gallardo A, Sánchez C, Córdova P. 2020. Value of bronchial reversibility to salbutamol, exhaled nitric oxide and responsiveness to methacholine to corroborate the diagnosis of asthma in children. *Allergol Immunopathol* 48: 214 - 222. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2019.11.001>
- Mattiello R, Mallol J, Fischer GB, Mocelin HT, Rueda B, Sarria EE. 2010. Pulmonary function in children and adolescents with postinfectious bronchiolitis obliterans. *J Bras Pneumol* 36: 453 - 459. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132010000400010>
- Merghani TH, Saeed AM. 2013. The relationship between regular second-hand smoke exposure at home and indicators of lung function in healthy school boys in Khartoum. *Tob Control* 22: 315 - 318. <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2011-050169>
- Merianos AL, Jandarov RA, Mahabee-Gittens EM. 2020. Tobacco smoke exposure, respiratory health, and health-care utilization among US adolescents. *Chest* 158: 1104 - 1114. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.038>
- Mitchell EA, Beasley R, Keil U, Montefort S, Odhiambo J, ISAAC phase three study group. 2012. The association between tobacco and the risk of asthma, rhino-conjunctivitis and eczema in children and adolescents: analyses from Phase Three of the ISAAC programme. *Thorax* 67: 941 - 949. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2011-200901>
- Murray C, Foden P, Lowe L, Durrington H, Custovic A, Simpson A. 2017. Diagnosis of asthma in symptomatic children based on measures of lung function: an analysis of data from a population-based birth cohort study. *Lancet Child Adolesc Health* 1: 114 - 123. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(17\)30008-1](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(17)30008-1)
- Oberg M, Jaakkola M, Woodward A, Peruga A, Pruss-Ustun A. 2011. Worldwide burden of disease from exposure to second-hand smoke: a retrospective analysis of data from 192 countries. *Lancet* 377:139 - 146.
- Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, Enright PL, Hankinson JL, Ip MSM, Zheng J, Stocks J and the ERS Global Lung Function Initiative. 2012. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J* 40: 1324-1343. <https://doi.org/10.1183/09031936.00080312>
- Ruotsalainen M, Piippo-Savolainen E, Hyvarinen MK, Korppi M. 2010. Adulthood asthma after wheezing in infancy: a questionnaire study at 27 years of age. *Allergy* 65: 503 - 509. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02212.x>
- Suárez López de Vergara RG, Galván Fernández C, Oliva Hernández C, Doménech Martínez E, Dorta Delgado JM, Dorta Suárez M. 2007. Lung function and exposure to tobacco smoke among adolescents. *An Pediatr* 67: 559 - 566. [https://doi.org/10.1016/s1695-4033\(07\)70804-4](https://doi.org/10.1016/s1695-4033(07)70804-4)
- Weinmayr G, Weiland SK, Björkstén B, Brunekreef B, Büchele G, Cookson WO, Garcia-Marcos L, Gotua M, Gratziau C, van Hage M, von Mutius E, Riiikjäv MA, Rzehak P, Stein RT, Strachan DP, Tsanakas J, Wickens K, Wong GW, ISAAC Phase Two Study Group. ISAAC. 2007. Phase two study group. Atopic sensitization and the international variation of asthma symptom prevalence in children. *Am J Respir Crit Care Med* 176: 565 - 574. <https://doi.org/10.1164/rccm.200607-994OC>
- Zapletal A. 1987. Lung function in children and adolescents. Methods, reference values. *Prog Respir Res*, Basel, Karger. <https://doi.org/10.1159/000414072>