

Año 5 Volumen 5 Número 1

Enero-Junio, 2019



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD



REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



CONACYT



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD



REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, Año 5, Volumen 5, Número 1, Enero-Julio de 2019, es una publicación arbitrada de divulgación científica digital iniciativa del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), Centro Público de Investigación de CONACyT, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23096, Tel (612) 12 38484, <http://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/> aortega@cibnor.mx. Editor en Jefe responsable Dr. Alfredo Ortega-Rubio. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-100710152500-20; ISSN: 2448-7406. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dr. Alfredo Ortega-Rubio, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23096, Tel (612) 1238484, aortega@cibnor.mx, fecha de la última modificación 30 Julio 2019. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de esta publicación sin previa autorización de los autores de este número de **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**.

Con deferente gratitud **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD** reconoce y agradece la colaboración de Lic. Gerardo R. Hernández García en la edición gráfica editorial para esta revista, de la M. en C. Diana Dorantes Salas en la revisión del idioma Inglés, de la Lic. Adriana Landa Blanco en la elaboración del Logotipo y del Lic. Oscar Fisher Dorantes en la elaboración y actualización de la página WEB. Fotografía de la Portada: babysitio.com, adorable-baby-cute-64242, amanda-jones-1224807-unsplash, phong-duong-1332848-unsplash

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota Director General	
Dr. Ilie Sava Racotta Dimitrov Director de Gestión Institucional	
Dr. Aradit Castellanos Vera Dirección de Planeación y Desarrollo Institucional	
Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra Directora de Estudios de Posgrado Formación de Recursos Humanos	
Dr. César Augusto Salinas Zavala Coordinador de Servicios Especializados y Proyectos Institucionales	
Dr. Humberto Villarreal Colmenares Coordinador de Biohelis Parque de Innovación Tecnológica	
Dra. Sara Díaz Castro Coordinadora Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación (PACE)	
Dr. Jesús Alfredo de la Peña Morales Coordinador de la Oficina de Propiedad Intelectual y Comercialización de Tecnología	
MC. María Sara Burrola Sánchez Coordinadora Unidad Guaymas	
MC. Rigoberto López Amador Coordinador Unidad Guerrero Negro	
MC. Maria Elena Castro Nuñez Directora Administrativa	
CP. Antonio García Rodríguez Subdirector de Finanzas	
MC. Rafael Palomeque Morales Subdirector de Servicios Generales	
CP. Bernardo Careaga Espinoza Subdirector de Recursos Humanos	
Lic. María Luisa de la Cruz Agüero Subdirectora de Análisis y Evaluación	
CP. Liz Aleida Cota Almazán Subdirectora de Contabilidad	
MC. Luis Gómez Castro Subdirector de Planeación	
Lic. Cinthya Castro Iglesias Jefa del Departamento de Extensión y Divulgación Científica	
Lic. Ana María Talamantes Cota Jefa del Centro de Información- Biblioteca	
Lic. Silvia Yolanda Alzaga Mayagoitia Jefa del Departamento Eventos	
Editorial	7
Balance between contaminants and antioxidants in breast milk. <i>Tania Zenteno-Savín, Patricia Carolina Castillo-Castañeda, Lía Celina Méndez-Rodríguez y Ramón Gaxiola-Robles</i>	12
Reseña de Libro: Ciencia viva. Reflexiones sobre la Aventura intelectual de nuestro tiempo. <i>Autor: Jesús Monsterín. Revisión por: Fernando García Carreño</i>	22
Diálogo entre bacterias ¿cómo se comunican las bacterias? <i>Abraham Loera-Muro, Aarón Barraza y María Goretty Caamal-Chan</i>	32



Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur; La Paz,
B.C.S. México; C.P. 23096, Tel:(52) (612) 123-8484

Editorial

Hoy día RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD alcanza el Octavo número publicado. Indudablemente ello refleja el tenaz trabajo y el permanente compromiso de todas y todos los integrantes del Cuerpo Editorial y del Comité Editorial de esta Revista Digital de Divulgación Científica. Mi agradecimiento y reconocimiento a todas y todos ellos por su profesional trabajo. Tres son las aportaciones que incluye este número, en la primera el Dr. Abraham Loera-Muro y sus colaboradores nos introducen al insospechado mundo de la comunicación que existe entre las bacterias. Quien pensaría que seres unicelulares aparentemente tan sencillos como las bacterias (que inclusive no tienen núcleo), son capaces de comunicarse con otros organismos no solo de su misma especie, sino con otras especies, e inclusive con organismos pluricelulares como las plantas y los animales. No abundo más, en lugar de ello los invito a que lean tan interesante contribución

Today, RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD reaches Number 8 published. Undoubtedly, it reflects the tenacious work and permanent commitment of all the members of the Editorial Board and the Editorial Committee of this Digital Magazine of Scientific Divulgateion. My thanks and recognition to all of them for their professional work. Three contributions are included in this number. First, Dr. Abraham Loera-Muro and their collaborators us to the unsuspected world of communication that exists among bacteria. Who would think that unicellular beings apparently as simple as bacteria (without nucleus), are able to communicate with other organisms, not only of their own species but also with other species, and even with multicellular organisms, such as plants and animals? I do not abound more; instead I invite you to read such an interesting contribution.

Por su parte el Dr. Fernando García-Carreño nos comparte un análisis del libro “Ciencia Viva: reflexiones sobre la aventura intelectual de nuestro tiempo” cuyo autor es Jesús Monsterin. En la reseña efectuada se ilustra que este libro es esencialmente un compendio que revela las interacciones que existen entre la Filosofía y la Ciencia, y el cómo estas interacciones enriquecen mutuamente a ambas... y enriquecerán a quienes lean esta obra, cuya reseña es una incitante invitación a ello.

En la tercera contribución la Dra. Tania Zenteno-Savín y sus colaboradores nos comparten estudios sobre los factores que pueden inducir la exposición a los bebés humanos a los contaminantes en la leche materna, y el cómo las defensas antioxidantes en la propia leche materna pueden inhibir los efectos perjudiciales de estos contaminantes para evitar daños al cerebro de los bebés, ¿Qué se recomienda incluir en la dieta de una madre que amamanta? ¡No deje de leer este artículo si le interesa la respuesta!

RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD agradece asimismo la generosidad de quienes contribuyen con sus manuscritos y los someten al proceso editorial en esta revista del CIBNOR.

Uno de los objetivos esenciales en estos nuevos tiempos es ahora contribuir de manera eficaz en la APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO. Si bien este es, en 2019 uno de los mandatos para

On his part Dr. Fernando García-Carreño shares an analysis of the book “Living Science: Reflections on the intellectual adventure of our time” whose author is Jesus Monsterin. The review shows that this book is essentially a compendium that reveals the interactions that exist between Philosophy and Science, and how these interactions enrich each other ... and enrich those who read this review, which is an invitation thereto.

In the third contribution, Dr. Tania Zenteno-Savín and her colleagues share studies on the factors that can induce exposure to human babies to contaminants in breast milk, and how antioxidant defenses in breast milk can inhibit the harmful effects to these contaminants to prevent damage to the babies' brains, What is recommended to include in the diet of a mother who breastfeeds? Do not hesitate reading this article if you are interested in the answer!

RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD also appreciates the generosity of those who contribute with their manuscripts and submit them to the editorial process in this CIBNOR journal.

One of the essential objectives in these new times is now to contribute effectively to the SOCIAL APPROPRIATION OF

el desarrollo de las actividades de investigación Científica, es muy importante enfatizar que, desde su creación hace ya 44 años nuestro Centro de Investigaciones ha contribuido de muchas maneras a este objetivo, y que también a través de RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, desde hace ya 4 años el CIBNOR ha estado contribuyendo de manera contundente a esta apropiación social del conocimiento.

KNOWLEDGE. Although in 2019 this is, one of the mandates for the development of scientific research activities, it is very important to emphasize that, since its creation 44 years ago, our Research Center has contributed in many ways to this objective, and also through RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, and for 4 years now, CIBNOR has been contributing in a forceful way to this social appropriation of knowledge.

Dr. Alfredo Ortega-Rubio

Verano/Summer, 2019

Balance between contaminants and antioxidants in breast milk

BALANCE ENTRE CONTAMINANTES Y
ANTIOXIDANTES EN LECHE MATERNA



Recursos Naturales y Sociedad, 2019. Vol. 5 (1): 24-39. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2019.05.05.01.0001>

Tania Zenteno-Savín^{1*}; Patricia Carolina Castillo-Castañeda¹, Lía Celina Méndez-Rodríguez¹, Ramón Gaxiola-Robles^{1,2}

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). Planeación Ambiental y Conservación. La Paz. Baja California Sur. México,

² Hospital General de Zona No.1, Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), La Paz, Baja California Sur, México.

*Autor de Correspondencia: tzenteno04@cibnor.mx

Abstract

This study provides information on the factors that affect the load of contaminants and antioxidant defenses in breast milk. It is important to understand the role of the balance between contaminants and antioxidants during breastfeeding.

This period of high vulnerability is due to the fact that the infant depends solely and exclusively on breast milk for its growth. Exposure to pollutants can affect brain development, an impact that cannot be measured in the short-term but would be expressed in the medium- and long-term. The way in which antioxidants and related enzymes in breastmilk contribute to detoxification is still unknown. This review suggests that a marine origin diet provides a significant advantage because of the large number of micronutrients it contains, including fatty acids that are important for brain development in infants, potentially providing balance against the amount of pollutants it may contribute.

Keywords: Antioxidants, breast milk, fish, marine diet, micronutrients.

Resumen

Este manuscrito proporciona información sobre los factores que contribuyen a la exposición de contaminantes y el beneficio de las defensas antioxidantes en la leche materna. Es importante comprender el papel del equilibrio entre los contaminantes y los antioxidantes durante la lactancia. Este período de alta vulnerabilidad se debe al hecho de que el neonato depende única y exclusivamente de la leche materna para su crecimiento. La exposición a contaminantes puede afectar el desarrollo del cerebro, un impacto que no se puede medir a corto plazo y se expresará a mediano y largo plazo. La forma en que los antioxidantes y las enzimas relacionadas en leche materna desempeñan el papel de la desintoxicación es aún desconocida. En esta revisión, sugerimos que la dieta de origen marino proporciona una ventaja significativa debido a la gran cantidad de micronutrientes que proporciona, incluyendo ácidos grasos que son muy importantes para el desarrollo del cerebro en los infantes, balanceando potencialmente la cantidad de contaminantes que podría aportar.

Palabras clave: Antioxidantes, dieta de origen marino, leche materna, micronutrientes, pescado.

Introduction

Breast milk as a nutrient for newborn

Regardless of the socioeconomic or health status of the mother, breast milk provides a unique and specific combination of nutrients and immune factors (Picciano, 2001). Colostrum, produced during the first week postpartum, is rich in proteins, antibodies, various nutrients and antioxidants, and is a good source of vitamins, such as vitamin A, vitamin E, and carotenoids (Neville, 1995; Saint et al., 1984). Transition milk is produced during the second week postpartum; protein and salt content is lower, but the concentration of lipids, carbohydrates (lactose), and vitamins is higher, than in colostrum (Shellhorn and Valdés, 1995). In the mature milk, produced after the second week postpartum and for the remainder of the lactation, vitamin and water content are increased (Lawrence, 2007).

Breast milk is rich in proteins. Casein stimulates the infant's immune system, contributes to absorption of calcium ions, and possesses antithrombotic, antihypertensive, and opioid activities (Lönnerdal, 1985; Lönnerdal, 2003; Migliore-Samour and Jolles, 1988). Lactalbumin is one of the most abundant proteins in breast milk and contains enough cysteine and tryptophan to meet the infant's requirements; these amino acids are essential for growth and nitrogen balance, and are a limiting factor in formula and bovine milk (Hanning et al., 1992; Heine et al., 1991; Lien, 2003). Lactoferrin, found in elevated concentration in colostrum, can bind iron atoms such that microorganisms cannot use it to proliferate, exerting a bacteriostatic effect in the infant's intestine, in synergy with immunoglobulins (Giansanti et al., 2016). Immunoglobulins A, G and M are abundant in breast milk, particularly in colostrum, and provide the capacity to synthesize antibodies that bind microorganisms and, thus, prevent pathogens from crossing the infant's intestinal mucosa (de Ferrer, 2000; Hamosh, 1998; Xanthou, 1998). Functional proteins, enzymes, are also present in breast milk. Among them, lysozyme acts as a bactericide

breaking the β -1,4 bonds in bacterial cell walls, and lipase contributes to lipid hydrolysis and absorption in the infant's gastrointestinal tract (Lönnerdal, 1985).

Amino acids, nucleotides, carbohydrates and other molecules are also found in breast milk. Nucleotides contribute to modulation of the immune system, development of bifidobacteria and maturation of the gastrointestinal tract (Uauy, 1994). Free fatty acids have antimicrobial and anti-inflammatory activities, thus protecting the infant from protozoa, bacteria and viruses (Hamosh, 1998). The amino sulfonic acid taurine is abundant in breast milk; its deficiency affects the function of the retina (Gaul, 1989). Lactose, a disaccharide synthesized from glucose, contributes to the energetic requirements of the infant, favors build-up of acidophilic bacteria and promotes intestinal calcium absorption, due to the catalytic function of intestinal lactase (Cochet et al., 1983; de Ferrer, 2000). Oligosaccharides, because their structure is similar to that of epithelial intestinal cell

receptors, can compete with pathogenic microorganisms, contribute to maintain an acidic pH, and have a prebiotic effect in the infant; over 20 oligosaccharides in breast milk have the capacity to bind competitively to pathogens in the digestive, respiratory and urinary systems (Gudiel-Urbano and Goñi, 2001; Kunz and Rudloff, 1993; Uauy, 1994; Yamashita et al., 1977).

Breast milk as carrier of contaminants (trace elements and pesticides) – maternal detoxification, infant contamination?

A number of contaminants and xenobiotics (substances that are foreign to the body), including trace elements and pesticides, that the mother obtains from food, water, air, and the environment in general, can make their way to breast milk (Esteban and Castaño, 2009). Because of their lipophilic characteristic, many contaminants can be bioaccumulated and their concentration can increase throughout the trophic chain (a phenomenon known as biomagnification) (Sonawane, 1995). The concentration of lipids in breast milk depends mainly on lipase enzymes; however, the lipid composition is determined by the mother's storage of lipids in the adipose tissue and her diet during pregnancy and lactation (Mena and Milad, 1998). Migration of lipids during lactation can function as a detoxification mechanism for the mother, but can favor the transference of lipophilic contaminants to the infant, via breast milk. Some of the lipophilic contaminants can be humoral antagonists or endocrine disruptors and can induce, amongst other complications, abnormalities in the reproductive system, damage to tissues such as brain, liver, kidney or the immune system of the infant (Colborn et al., 1993).

Trace elements in breast milk

Trace elements are found in breast milk. Some of these elements are nutrients required in the diet, whether in small amounts to fulfill physiological functions, or acting as either structural components or

cofactors in enzymes. These elements, also known as microelements, contribute to the maintenance of the immune defenses, the antioxidant system and the genetic expression (Strachan, 2010). Iron (Fe) is required for erythrocyte (red blood cell) production, oxygen transport and cognitive development (Beard and Connor, 2003). Zinc (Zn) is essential for the infant's growth and development, contributes to the development of the immune system and in other physiologic processes, is a structural part of some hormones, and acts as cofactor of certain enzymes that participate in metabolic processes. Copper is necessary for the optimal function of Fe, is a cofactor in glucose metabolism and in the synthesis of hemoglobin, connective tissue and phospholipids (Lonnerdal, 1997).

However, some of the trace elements can also have toxic effects. Elements such as cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As) and mercury (Hg) can be integrated as part of the trophic chain and, depending on the element's speciation, the type of diet and nutritional state of the individual,

can induce toxicity (Gaxiola-Robles et al., 2014). Trace element toxicity depends mainly on their transport across cell membranes, which can be affected by solubility, volatility, molecular weight, and the presence of specific transport mechanisms (Ferrer, 2003).

The main source of exposure to As is food, including fish, shellfish, mushrooms, poultry and, in smaller amounts, meat, milk and vegetables (Jomova et al., 2011). Permissible limits for As in breast milk and drinking water are between 1 and 25 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Gaxiola-Robles et al., 2014). Most studies report As concentration in breast milk under the permissible limits. For example, breast milk As levels were reported at 0.68 $\mu\text{g L}^{-1}$ in Taiwan (Chao et al., 2014), at 3.2 $\mu\text{g L}^{-1}$ in the Andean region of Colombia (Alonso et al., 2014), and at 0.67 $\mu\text{g L}^{-1}$ in Baja California Sur (Castillo Castañeda, 2017).

Mercury is found in nature; sources of exposure to Hg are, among others, fossil fuels, metallurgy, processing of petroleum and cement, waste water treatment (Behrooz et al., 2012). Increased Hg concentrations have been reported

in association to diets rich in fish and shellfish, especially marine fish (Acosta-Saavedra et al., 2011). Permissible limits for Hg in food are in the range of 0.001 to 1 mg kg^{-1} (Gaxiola-Robles et al., 2014). In breast milk, Hg concentrations were reported to be on average in Spain 0.53 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 0.62 $\mu\text{g L}^{-1}$ in women with high fish and shellfish consumption (134 g d^{-1}) (García-Esquinas et al., 2011); in Iran, 0.4 $\mu\text{g Hg L}^{-1}$ (Behrooz et al., 2012); in Austria, 1.59 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Gundacker et al., 2002); in Taiwan, 2.03 $\mu\text{g L}^{-1}$, with no difference between women who live in the city or near fishing camps (Chien et al., 2006) and in Baja California Sur 1.54 $\mu\text{g L}^{-1}$ with no effect due to including fish in the mother's diet (Castillo Castañeda, 2017; Gaxiola-Robles et al., 2014). Elements such as selenium (Se) interfere with Hg metabolism by either forming a Hg-Se complex or competing for binding sites, decreasing its bioavailability and toxicity (Gaxiola-Robles et al., 2014). In Taiwan, Hg concentration was lower in breast milk from women who included Se from. The elevated content of vitamin E and Se in food of marine origin, besides providing an antioxidant defense, contribute to maintain relatively low levels of Hg (Chien et al., 2006; Gundacker et al., 2002).



Organochlorine pesticides in breast milk

Pesticides contribute to maintain human health by controlling vector-borne diseases and eradicating pests from agriculture. Because increased reproductive and neuronal issues, as well as increased incidence of diseases such as diabetes and cancer in humans were reported in association with persistent organochlorine pesticides (POPs), their use was banned in developed countries >40 years ago, and in Mexico 17 years ago (Ramírez et al., 2003). The use of POPs for agricultural application, as well as the presence of POPs in tissues from several mammal species in the Baja California peninsula have been reported (Nino-Torres et al., 2009).

Along with biomolecules, POPs are mobilized through the mother's body during lactation and, because of their lipophilic character, are excreted in breast milk (Waliszewski et al., 2000). Several factors, such as age, body mass index (MBI), diet and number of pregnancies (parity) have been related to POPs concentration in breast milk. Presumably because of accumulation of POPs in the mother's adipose tissue, age is associated to increased POP levels in breast milk (Chávez-Almazán et al., 2014). Eating foods of animal origin, preferentially those rich in fat, has been associated to a higher concentration of POPs (Azeredo et al., 2008). Parity has been negatively correlated to POP concentrations in breast milk; this is assumed to be related to the elimination of contaminants in every reproductive event and subsequent lactation period (Sudaryanto et al., 2008).

In breast milk of women from Veracruz, elevated concentrations of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) (0.651 mg kg^{-1}) and of its main metabolite dichlorodiphenyl-ethylene (pp'DDE) (3.997 mg kg^{-1}) were reported (Waliszewski et al., 2001). Higher concentrations of β -hexachlorocyclohexane, dieldrin, aldrin, heptachlor, DDT and DDE were reported in breast milk from women of urban areas than those of rural zones; this is assumed to be due to the continuous use of pesticides in urban homes (Prado et al., 2004). In 2008, over 30% of the breast milk

samples collected from women in Yucatán, were reported to contain POPs, including DDT, at levels above the acceptable daily ingestion established in 2006 by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ($0.1 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$) for POPs (Rodas-Ortíz et al., 2008). In Guerrero in 2014 lower POP concentrations were reported in comparison to those found in previous years in other areas of the country (Chávez-Almazán et al., 2014). Therefore, it is suggested that POP levels in the overall population are decreasing since the prohibition of production and use of POPs in Mexico of 1991, ratified in 2001 (eliminated: aldrin, hexachlorocyclohexanes, chlordanes, dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene, lindane; restricted: DDT) in the Stockholm Convention (Ramírez et al., 2003).

Factors that affect trace elements and organochlorine pesticides concentrations in breast milk

The mother's age is related to pollutant concentrations found in breast milk. A positive relationship

between maternal age and POPs levels in breast milk was reported (ANOVA, $p < 0.002$) (Zhou et al., 2012). Significant correlations have been found between age and POPs, specifically HCHs and DDTs ($r = 0.36$ y $r = 0.34$, respectively) concentrations in adipose tissue in humans (Aulakh et al., 2007). However, there are also reports where no significant differences in POPs content in breast milk were found associated to age, but were related to marine-origin food, particularly contaminated fish (Azeredo et al., 2008). In Baja California Sur, no significant correlations were found between mother's age and POP content in breast milk (Castillo Castañeda, 2017). Concentration of POPs in adipose tissue is product of exposure and bioaccumulation, while in breast milk POPs derive from mother's adipose tissue and her diet during lactation (Migliore-Samour and Jolles, 1988).

Higher content of DDE and total chlordanes (528 ng g⁻¹ lipid, 45 ng g⁻¹ lipid, respectively) were reported in people with a BMI > 25.6 kg m⁻² (Hardell et al., 2010). Positive correlations have been found between BMI and concentrations of β HCH ($r = 0.171$, $p = 0.044$) and Σ HCH ($r = 0.171$, $p = 0.044$) in breast milk samples (Lu et al., 2015). In Baja California Sur, a positive correlation was reported between BMI and Σ HCH ($r = 0.23$, $p > 0.05$). This can be due to the lipophilic characteristic of HCH and consequent persistence in tissues with elevated lipid content (Lu et al., 2015).

Antioxidants, reactive oxygen species and oxidative damage in breast milk

Antioxidant capacity, defined as the capacity of neutralizing the reactivity of or inhibiting the production of ROS (Thornalley and Vařák, 1985), in breast milk is higher as compared to formula (Hanna et al., 2004). Antioxidants (enzymes and other proteins, vitamins, and low molecular weight molecules) in breast milk contribute to avoid oxidation of lipids and proteins, and serve as an additional defense for the infant (Lindmark-Månsson and Åkesson, 2000).

The antioxidant enzyme superoxide dismutase (SOD) catalyzes the dismutation of superoxide radical to hydrogen peroxide (H₂O₂). In biology,

three types of SOD, depending on the metal (Fe, manganese (Mn), or copper and zinc) bound to the enzyme, are known (Fridovich and Freeman, 1986). In breast milk, the main isozyme is Mn-SOD (Lindmark-Månsson and Åkesson, 2000). Catalase (CAT) subsequently decomposes H₂O₂ into water and oxygen (Gaetani et al., 1996; Halliwell, 2007). Glutathione peroxidase (GPx) also metabolizes H₂O₂ as well as other peroxides; one of the GPx isoforms has selenium (Se) bound to its functional site; Se is oxidized by H₂O₂ and is then reduced by glutathione (GSH), which is converted to its oxidized form (GSSG). Glutathione reductase (GR) reduces GSSG is back to GSH in a redox cycle (Halliwell and Gutteridge, 2007). The antioxidant enzyme glutathione S-transferase (GST) participates in the process of detoxification of biomolecules and xenobiotics, in reaction that also utilize the GSH-GSSG redox cycle (Halliwell, 2007).

Vitamin A and vitamin E content is three times higher, while carotenoid level is ten times higher in colostrum than mature milk (Stoltzfus and Underwood, 1995).

The main function of vitamin C (or ascorbic acid) is as an antioxidant and as cofactor in enzymatic reactions that occur during bone and cartilage development (Iqbal et al., 2004). Vitamin A participates in different biological functions, is part of the visual pigment rodopsin which allows for vision under low light (Zile and Cullum, 1983) and is needed for growth and immune response (Sun, 2012); its concentration varies in breast milk, for it is dependent on the mother's diet (Khachik et al., 1997). Vitamin E is a potent antioxidant; this is relevant in breast milk given its elevated concentration of polyunsaturated fatty acids, which are highly susceptible to oxidative damage (Sun, 2012).

Oxidation of molecules such as lipids, proteins, and nucleic acids can originate an oxidative stress state; that is, an imbalance between prooxidants and the antioxidant defenses in favor of the former, generating molecular and cellular damage (Castillo Castañeda, 2013). Oxidant agents can be exogenous (xenobiotics) or endogenous (ROS) (Castillo Castañeda, 2017). Reactive oxygen species (ROS) are

molecules, including free radicals, that are highly reactive, have a very short half-life and can oxidize all types of molecules (Halliwell and Gutteridge, 2007). In mammals, ROS participate in a suite of physiological and pathological processes, such as defense against microorganisms (Halliwell and Gutteridge, 2007).

Factors that affect antioxidant defenses in breast milk

The concentration of antioxidants in breast milk depends on the mother's diet, her place of residence and her lifestyle (Sadeghi et al., 2009). Activity of SOD is 10 to 25 times higher in breast milk than serum (Labbe and Friel, 2000), its activity changes throughout lactation, being higher in colostrum and decreasing after 4 months (Kasapović et al., 2005). In Baja California Sur, increased activities of SOD (45.6%), CAT (65%), GPx (205%), and GST (117%) were found in breast milk from women with 3 or more pregnancies as compared to women with 1 pregnancy (Castillo Castañeda, 2013).

The presence of toxic trace elements and pesticides can increase production of reactive oxygen species (ROS), such as superoxide radical ($O_2^{\cdot-}$) and hydroxyl radical ($\cdot OH$), and lead to an imbalance between these pro-oxidants and the antioxidant defenses which can result in oxidative stress (Halliwell, 2007). Therefore, the content of trace elements and pesticides in breast milk will affect the antioxidant capacity and the biomarkers of oxidative damage. Positive relationships have been reported between concentration of pesticides (α -HCH, γ -HCH and total HCHs) and the concentration of malondialdehyde (MDA; biomarker of oxidative damage to lipids), as well as a negative relationship between POPs concentration and the content of the antioxidant GSH, in human placenta (Agarwal et al., 2012). POPs affect metabolism (glucose transport, glycolysis, mitochondrial activity and oxidation of fatty acids) and are associated to an increase in lipid and protein oxidation due to increased ROS production via induction of the cytochrome P450 complex (Androutsopoulos et al., 2013). In breast milk from women from Baja

California Sur, a weak correlation between POPs content and oxidative damage to lipids (quantified as TBARS levels) and proteins (quantified as protein carbonyls concentration) was observed (Castillo Castañeda, 2017). This can be the product of antioxidants (enzymatic and non-enzymatic) in breast milk neutralizing ROS and their effects.

Discussion

Balance between contaminants and antioxidants in breast milk – advantages for the neonate.

The main source of exposure to contaminants is suggested to be through the diet, especially animal food products with elevated fat content (Nag and Raikwar, 2011). A marine diet has been related to the presence of high concentrations of POPs in populations around the World (Fujii et al., 2012). For instance, in Brasil, POP content in breast milk was associated to the type of diet, characterized by a high consumption of marine fish as the main source of protein; fish in which the presence of POPs has been reported (Azeredo et al., 2008). In the coasts of the Gulf of California, 13 POPs (aldrin, dieldrin y δ -HCH (100%), endosulfan 1, endrin, heptachlor epoxide and γ methoxychlor (80%)) were reported in different fish species of commercial value (Reyes-Montiel et al., 2013). Fish may be exposed to waste water and residues from agriculture drained into lakes, rivers and/or directly into the ocean, leading to storage and bioaccumulation of trace elements and POPs in fish tissues. Further, these contaminants can be transferred to humans by ingestion of contaminated products (Pazou et al., 2013). However, food of marine origin (fish and shellfish) also have an elevated content of proteins, of enzymatic and non-enzymatic antioxidants (including carotenoids and vitamins), of elements and minerals that contribute to enzyme activity (such as Fe and Se), as well as of ω -3 and ω -6 fatty acids (Corredor and Landines, 2009) which may contribute to avoid or alleviate the effects of contaminants and xenobiotics (Hamre, 2011).

Recommendations

Many coastal communities, such as those in Baja California Sur, base their diet on fish and other staple products such as rice, beans and corn. However, consumption of staple products by themselves represents an exposure to contaminants almost comparable to fish intake without the beneficial antioxidants and micronutrients associated with seafood. Therefore, the potential risk of toxicity to the unborn fetus and neonates is higher from consumption of rice beans and corn than fish or shellfish.

World-wide, the population has been exposed to different contaminants, including heavy metals, pesticides, plastics and electronic and pharmaceutical waste. Until now, there are few comprehensive studies, making it difficult to assess the global load of contaminant exposure through food intakes. In this review we suggest

that a diet of marine origin provides a significant advantage because of the large number of micronutrients it provides, greater than the amount of pollutants it may contribute. Fatty acids that are found in fish are of great importance for brain development in infants, so the intake of marine products should be recommended during pregnancy and lactation. Therefore, in this study we addressed the influence of consumption of fish and shellfish, particularly of marine origin. In this type of studies, it is relevant to assess not only the contaminant load, but also the levels of antioxidants and other nutrients that food items may provide to the mother and, via breastmilk, to the infant. We suggest that a diet of marine origin provides micronutrients, fatty acids, vitamins and antioxidants that are important for the appropriate development of infants.

Acknowledgments

This work was supported by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (SALUD 2010-C01-140272 and SALUD 2015-C01-261224); Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), S.C. (PC2.0, PC0.10, PC0.5); Comisión Nacional de Investigación en Salud del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (2016-785-013) and Consejo Nacional de Bioética (CONBIOETICA-09-CEI-009-2016060). Authors are grateful for the technical advice and assistance provided by B. Acosta-Vargas, N. O. Olguin-Monroy and O. Lugo-Lugo, laboratories of atomic absorption and oxidative stress at CIBNOR. PCCC is recipient of a CONACYT graduate studies scholarship (377293). We thank Ms.C. Diana Dorantes for the Abstract English Edition and D.G. Gerardo Hernandez for the Graphic Design.

Literature cited

- Acosta-Saavedra, L.C., Moreno, M.E., Rodríguez-Kessler, T., Luna, A., Gomez, R., Arias-Salvatierra, D., Calderon-Aranda, E.S., 2011. Environmental exposure to lead and mercury in Mexican children: a real health problem. *Toxicology Mechanisms and Methods* 21, 656-666.
- Agarwal, A., Aponte-Mellado, A., Premkumar, B.J., Shaman, A., Gupta, S., 2012. The effects of oxidative stress on female reproduction: a review. *Reproductive biology and endocrinology* 10, 49.
- Alonso, D.L., Latorre, S., Castillo, E., Brandão, P.F., 2014. Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. *Environmental pollution* 186, 272-281.
- Androutsopoulos, V.P., Hernandez, A.F., Liesivuori, J., Tsatsakis, A.M., 2013. A mechanistic overview of health associated effects of low levels of organochlorine and organophosphorous pesticides. *Toxicology* 307, 89-94.

- Aulakh, R., Bedi, J., Gill, J., Joia, B., Pooni, P., Sharma, J., 2007. Occurrence of DDT and HCH insecticide residues in human biopsy adipose tissues in Punjab, India. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 78, 330-334.
- Azeredo, A., Torres, J.P., de Freitas Fonseca, M., Britto, J.L., Bastos, W.R., e Silva, C.E.A., Cavalcanti, G., Meire, R.O., Sarcinelli, P.N., Claudio, L., 2008. DDT and its metabolites in breast milk from the Madeira River basin in the Amazon, Brazil. *Chemosphere* 73, S246-S251.
- Beard, J.L., Connor, J.R., 2003. Iron status and neural functioning. *Annual review of nutrition* 23, 41-58.
- Behrooz, R.D., Esmaili-Sari, A., Peer, F.E., Amini, M., 2012. Mercury concentration in the breast milk of Iranian women. *Biological trace element research* 147, 36-43.
- Castillo Castañeda, P.C., 2013. Defensas antioxidantes en leche materna en relación al tipo de alimentación, número de gestas y edad de las madres.
- Castillo Castañeda, P.C., 2017. Relación de las defensas antioxidantes con la presencia de xenobióticos en leche materna.
- Cochet, B., Jung, A., Griessen, M., Bartholdi, P., Schaller, P., Alfred, D., 1983. Effects of lactose on intestinal calcium absorption in normal and lactase-deficient subjects. *Gastroenterology* 84, 935-940.
- Colborn, T., Vom Saal, F.S., Soto, A.M., 1993. Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans. *Environmental health perspectives* 101, 378-384.
- Corredor, A., Landines, M., 2009. Efecto del ácido ascórbico sobre la respuesta de los peces ante condiciones de estrés. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 56, 53-66.
- Chao, H.-H., Guo, C.-H., Huang, C.-B., Chen, P.-C., Li, H.-C., Hsiung, D.-Y., Chou, Y.-K., 2014. Arsenic, cadmium, lead, and aluminium concentrations in human milk at early stages of lactation. *Pediatrics & Neonatology* 55, 127-134.
- Chávez-Almazán, L.A., Diaz-Ortiz, J., Alarcón-Romero, M., Dávila-Vazquez, G., Saldarriaga-Noreña, H., Waliszewski, S.M., 2014. Organochlorine pesticide levels in breast milk in Guerrero, Mexico. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 93, 294-298.
- Chien, L.-C., Han, B.-C., Hsu, C.-S., Jiang, C.-B., You, H.-J., Shieh, M.-J., Yeh, C.-Y., 2006. Analysis of the health risk of exposure to breast milk mercury in infants in Taiwan. *Chemosphere* 64, 79-85.
- de Ferrer, P.A.R., 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. *Arch argent pediatr* 98, 231.
- Esteban, M., Castaño, A., 2009. Non-invasive matrices in human biomonitoring: a review. *Environment international* 35, 438-449.
- Ferrer, A., 2003. Intoxicación por plaguicidas, *Anales del sistema sanitario de Navarra. SciELO Espana*, 155-171.
- Fridovich, I., Freeman, B., 1986. Antioxidant defenses in the lung. *Annual review of physiology* 48, 693-702.

- Fujii, Y., Ito, Y., Harada, K.H., Hitomi, T., Koizumi, A., Haraguchi, K., 2012. Comparative survey of levels of chlorinated cyclodiene pesticides in breast milk from some cities of China, Korea and Japan. *Chemosphere* 89, 452-457.
- Gaetani, G.F., Ferraris, A., Rolfo, M., Mangerini, R., Arena, S., Kirkman, H., 1996. Predominant role of catalase in the disposal of hydrogen peroxide within human erythrocytes. *Blood* 87, 1595-1599.
- García-Esquinas, E., Pérez-Gómez, B., Fernández, M.A., Pérez-Meixeira, A.M., Gil, E., de Paz, C., Iriso, A., Sanz, J.C., Astray, J., Cisneros, M., 2011. Mercury, lead and cadmium in human milk in relation to diet, lifestyle habits and sociodemographic variables in Madrid (Spain). *Chemosphere* 85, 268-276.
- Gaul, G.E., 1989. Taurine in pediatric nutrition: review and update. *Pediatrics* 83, 433-442.
- Gaxiola-Robles, R., Labrada-Martagón, V., Celis de la Rosa, A.d.J., Acosta-Vargas, B., Méndez-Rodríguez, L.C., Zenteno-Savín, T., 2014. Interaction between mercury (Hg), arsenic (As) and selenium (Se) affects the activity of glutathione S-transferase in breast milk; possible relationship with fish and shellfish intake. *Nutricion hospitalaria* 30.
- Giansanti, F., Panella, G., Leboffe, L., Antonini, G., 2016. Lactoferrin from milk: nutraceutical and pharmacological properties. *Pharmaceuticals* 9, 61.
- Gudiel-Urbano, M., Goñi, I., 2001. Oligosacáridos de la leche humana: Papel en la salud y en el desarrollo del lactante. *Archivos latinoamericanos de nutricion* 51, 332-339.
- Gundacker, C., Pietschnig, B., Wittmann, K.J., Lischka, A., Salzer, H., Hohenauer, L., Schuster, E., 2002. Lead and mercury in breast milk. *Pediatrics* 110, 873-878.
- Halliwell, B., 2007. *Biochemistry of oxidative stress*. Portland Press Limited.
- Hamosh, M., 1998. Protective function of proteins and lipids in human milk. *Neonatology* 74, 163-176.
- Hamre, K., 2011. Metabolism, interactions, requirements and functions of vitamin E in fish. *Aquaculture Nutrition* 17, 98-115.
- Hanna, N., Ahmed, K., Anwar, M., Petrova, A., Hiatt, M., Hegyi, T., 2004. Effect of storage on breast milk antioxidant activity. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition* 89, F518-F520.
- Hanning, R.M., Paes, B., Atkinson, S.A., 1992. Protein metabolism and growth of term infants in response to a reduced-protein, 40: 60 whey: casein formula with added tryptophan. *The American journal of clinical nutrition* 56, 1004-1011.
- Hardell, E., Carlberg, M., Nordström, M., van Bavel, B., 2010. Time trends of persistent organic pollutants in Sweden during 1993–2007 and relation to age, gender, body mass index, breast-feeding and parity. *Science of The Total Environment* 408, 4412-4419.
- Heine, W.E., Klein, P.D., Reeds, P.J., 1991. The importance of α -lactalbumin in infant nutrition. *The Journal of nutrition* 121, 277-283.

- Iqbal, K., Khan, A., Khattak, M.M.A.K., 2004. Biological significance of ascorbic acid (Vitamin C) in human health—a review. *Pakistan Journal of Nutrition* 3, 5-13.
- Jomova, K., Jenisova, Z., Feszterova, M., Baros, S., Liska, J., Hudecova, D., Rhodes, C., Valko, M., 2011. Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. *Journal of Applied Toxicology* 31, 95-107.
- Kasapović, J., Pejić, S., Mladenović, M., Radlović, N., Pajović, S.B., 2005. Superoxide dismutase activity in colostrum, transitional and mature human milk. *Turk J Pediatr* 47, 343-347.
- Khachik, F., Spangler, C.J., Smith, J.C., Canfield, L.M., Steck, A., Pfander, H., 1997. Identification, quantification, and relative concentrations of carotenoids and their metabolites in human milk and serum. *Analytical chemistry* 69, 1873-1881.
- Kunz, C., Rudloff, S., 1993. Biological functions of oligosaccharides in human milk. *Acta paediatrica* 82, 903-912.
- L'abbe, M.R., Friel, J.K., 2000. Superoxide dismutase and glutathione peroxidase content of human milk from mothers of premature and full-term infants during the first 3 months of lactation. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition* 31, 270-274.
- Lawrence, R.M., 2007. Human breast milk: current concepts of immunology and infectious diseases. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care* 37, 7.
- Lien, E.L., 2003. Infant formulas with increased concentrations of α -lactalbumin. *The American journal of clinical nutrition* 77, 1555S-1558S.
- Lindmark-Månsson, H., Åkesson, B., 2000. Antioxidative factors in milk. *British Journal of Nutrition* 84, 103-110.
- Lonnerdal, B., 1997. Effects of milk and milk components on calcium, magnesium, and trace element absorption during infancy. *Physiological Reviews* 77, 643-669.
- Lönnerdal, B., 1985. Biochemistry and physiological function of human milk proteins. *The American journal of clinical nutrition* 42, 1299-1317.
- Lönnerdal, B., 2003. Nutritional and physiologic significance of human milk proteins. *The American journal of clinical nutrition* 77, 1537S-1543S.
- Lu, D., Lin, Y., Feng, C., Wang, D., She, J., Shen, H., Wang, G., Zhou, Z., 2015. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans (PCDD/Fs) and dioxin-like polychlorinated biphenyls (DL-PCBs) in breast milk in Shanghai, China: A temporal upward trend. *Chemosphere* 137, 14-24.
- Mena, N., Milad, A., 1998. Variaciones en la composición nutricional de la leche materna. Algunos aspectos de importancia clínica. *Revista chilena de pediatría* 69, 116-121.
- Migliore-Samour, D., Jolles, P., 1988. Casein, a prohormone with an immunomodulating role for the newborn? *Experientia* 44, 188-193.
- Nag, S.K., Raikwar, M.K., 2011. Persistent organochlorine pesticide residues in animal feed. *Environmental monitoring and assessment* 174, 327-335.

- Neville, M.C., 1995. Sampling and storage of human milk. *Handbook of Milk Composition*. San Diego: Academic, 63-79.
- Nino-Torres, C.A., Gardner, S.C., Zenteno-Savín, T., Ylitalo, G.M., 2009. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in California sea lions (*Zalophus californianus californianus*) from the Gulf of California, México. *Archives of environmental contamination and toxicology* 56, 350-359.
- Pazou, E.Y.A., Azehoun, J.P., Ahoyo, T., Aléodjrodo, P.E., van Straalen, N.M., van Gestel, C.A.M., 2013. Influence of Fishing Technique on Organochlorine Pesticide Accumulation in Fish and its Possible Human Health Risk in the Republic of Bénin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 91, 278-282.
- Picciano, M.F., 2001. Nutrient composition of human milk. *Pediatric clinics of North America* 48, 53-67.
- Prado, G., Díaz, G., Noa, M., 2004. Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México. *Agro sur* 32, 60-69.
- Ramírez, M.A.Y., García, A.G., Barrera, J., 2003. El Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes y sus implicaciones para México. *Gaceta Ecológica*, 7-28.
- Reyes-Montiel, N.J., Santamaría-Miranda, A., Rodríguez-Meza, G.D., Galindo-Reyes, J.G., González-Ocampo, H.A., 2013. Concentrations of Organochlorine Pesticides in Fish (*Mugil Cephalus*) from a Coastal Ecosystem in the Southwestern Gulf of California, *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy. JSTOR*, 281-291.
- Rodas-Ortíz, J.P., Ceja-Moreno, V., González-Navarrete, R., Alvarado-Mejía, J., Rodríguez-Hernández, M.E., Gold-Bouchot, G., 2008. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls levels in human milk from Chelem, Yucatán, México. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 80, 255-259.
- Sadeghi, N., Oveisi, M.R., Jannat, B., Hajimahmoodi, M., Bonyani, H., Jannat, F., 2009. Incidence of aflatoxin M1 in human breast milk in Tehran, Iran. *Food control* 20, 75-78.
- Saint, L., Smith, M., Hartmann, P.E., 1984. The yield and nutrient content of colostrum and milk of women from giving birth to 1 month post-partum. *British journal of nutrition* 52, 87-95.
- Shellhorn, C., Valdés, V., 1995. La leche humana, composición, beneficios y comparación con la leche de vaca. *Manual de Lactancia para Profesionales de la Salud*. Comisión de Lactancia MINSAL, UNICEF. Chile.
- Sonawane, B.R., 1995. Chemical contaminants in human milk: an overview. *Environmental health perspectives* 103, 197-205.
- Stoltzfus, R., Underwood, B.A., 1995. Breast-milk vitamin A as an indicator of the vitamin A status of women and infants. *Bulletin of the World Health Organization* 73, 703.
- Strachan, S., 2010. Trace elements. *Current Anaesthesia & Critical Care* 21, 44-48.
- Sudaryanto, A., Kajiwara, N., Tsydenova, O.V., Isobe, T., Yu, H., Takahashi, S., Tanabe, S., 2008. Levels and congener specific profiles of PBDEs in human breast milk from China: implication on exposure sources and pathways. *Chemosphere* 73, 1661-1668.



- Sun, H., 2012. Membrane receptors and transporters involved in the function and transport of vitamin A and its derivatives. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids* 1821, 99-112.
- Thornalley, P.J., Vašák, M., 1985. Possible role for metallothionein in protection against radiation-induced oxidative stress. Kinetics and mechanism of its reaction with superoxide and hydroxyl radicals. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure and Molecular Enzymology* 827, 36-44.
- Uauy, R., 1994. Nonimmune system responses to dietary nucleotides. *The Journal of nutrition* 124, 157S-159S.
- Waliszewski, S., Aguirre, A., Infanzon, R., Silva, C., Siliceo, J., 2001. Organochlorine pesticide levels in maternal adipose tissue, maternal blood serum, umbilical blood serum, and milk from inhabitants of Veracruz, Mexico. *Archives of environmental contamination and toxicology* 40, 432-438.
- Waliszewski, S.M., Gutiérrez, Á.A.A., Ruíz, R.M.I., 2000. Tendencia de 1988 a 1998 de los niveles de plaguicidas organoclorados persistentes en tejido adiposo humano en Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental* 16, 13-18.
- Xanthou, M., 1998. Immune protection of human milk. *Neonatology* 74, 121-133.
- Yamashita, K., Tachibana, Y., Kobata, A., 1977. Oligosaccharides of human milk: Structures of three lacto-N-hexaose derivatives with H-haptenic structure. *Archives of biochemistry and biophysics* 182, 546-555.
- Zhou, J., Zeng, X., Zheng, K., Zhu, X., Ma, L., Xu, Q., Zhang, X., Yu, Y., Sheng, G., Fu, J., 2012. Musks and organochlorine pesticides in breast milk from Shanghai, China: levels, temporal trends and exposure assessment. *Ecotoxicology and environmental safety* 84, 325-333.
- Zile, M.H., Cullum, M.E., 1983. The function of vitamin A: current concepts. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 172, 139-152.

Cita de este artículo:

Zenteno-Savín T., P. C. Castillo-Castañeda, L. C. Méndez-Rodríguez and R. Gaxiola-Robles. 2019. Balance between contaminants and antioxidants in breast milk. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2019. Vol. 5 (1): 24-39. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2019.05.05.01.0001>

Sometido: 16 de Marzo de 2019

Revisado: 27 de Abril de 2019

Aceptado: 23 de Mayo de 2019

Editor asociado: Dr. Felipe Ascencio Valle

Idioma Ingles Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

RESEÑA DE LIBRO:

Ciencia viva

REFLEXIONES SOBRE
LA AVENTURA
INTELCTUAL DE NUESTRO TIEMPO

Jesús Monterín. 2001.
Ensayos y pensamientos. ESPASA.

Revision por / Review by:
Fernando García Carreño

JESÚS MONSTERÍN (24 SEPTEMBER 1941 – 4 OCTOBER 2017) FUE UN FILÓSOFO ESPAÑOL Y PENSADOR DE AMPLIO ESPECTRO, FRECUENTEMENTE EN LA FRONTERA ENTRE CIENCIA Y FILOSOFÍA. ESTUDIÓ EN ESPAÑA, ALEMANIA, Y LOS ESTADOS UNIDOS. FUE PROFESOR DE LÓGICA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA EN LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA EN DONDE FUNDÓ EL DEPARTAMENTO DE LÓGICA, FILOSOFÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA.

El libro “Ciencia viva” busca dar elementos de conocimiento para que los lectores entiendan lo que se sabe a través de la ciencia y cómo la filosofía interpreta este conocimiento. Es una invitación a la sociedad a compartir, con los ojos abiertos para la ciencia y la filosofía y construir una comprensión racional, universal y coherente para guiar nuestras mentes y nuestras vidas. A pesar de que fue publicado en 2001 y algunos de sus temas tratados han avanzado mucho más de lo mencionado en el libro, el libro merece una lectura porque es la base para entender la ciencia moderna.

El libro invita a vivir bien, a vivir despierto, entendiendo quién somos y dónde estamos, a vivir basado en la lucidez. Porque vivir bien significa aceptar nuestra dimensión espiritual e intelectual y dar una oportunidad a nuestra curiosidad.

JESÚS MONSTERÍN (24 SEPTEMBER 1941 – 4 OCTOBER 2017) WAS A LEADING SPANISH PHILOSOPHER AND A THINKER OF BROAD SPECTRUM, OFTEN AT THE FRONTIER BETWEEN SCIENCE AND PHILOSOPHY. HE HAD STUDIES IN SPAIN, GERMANY AND THE USA. HE WAS PROFESSOR OF LOGIC AND PHILOSOPHY OF SCIENCE AT UNIVERSITY OF BARCELONA WHERE HE FOUNDED A DEPARTMENT OF LOGIC, PHILOSOPHY AND HISTORY OF SCIENCE.

The book “Ciencia viva” “Live Science” looks to yield elements of knowledge for the readers to understand what it is known by science and how philosophy interprets it. It is an invitation to society to share, with opened eyes by science and philosophy to build a rational, universal and coherent understanding to lead our minds and lives. In spite of it was published in 2001 and some features treated are much better known now, the book deserves a reading because it is the base to understand modern science.

The book invites to live well, live awake, understanding who and where we are, to live based on lucidness. For to live well means accept our spiritual and intellectual dimension and to give our curiosity a chance.



El libro trata sobre el uso del análisis filosófico de la ciencia actual y la tecnología para llevar a nuestra mente a pensar objetivamente para concebir el mundo basado en el conocimiento científico, filosofía y moral.

Si la ciencia es una actividad profesional relacionada con los científicos, debe ser del interés de todos, por que el progreso científico puede iluminar nuestras mentes para guiar nuestras decisiones, además es un placer intelectual.

El libro se titula “Ciencia Viva” porque la ciencia está inacabada, está en progreso dinámico, es una controversia que necesita de análisis y discusión. Para ejercicio de análisis y discusión, el pensamiento científico puede mejorar nuestra mente y bienestar. El libro no es un libro de texto, es una recopilación de muchos ensayos, destinados a entender la aventura intelectual de nuestro tiempo para construir puentes entre la ciencia y la filosofía para enriquecerse mutuamente y por lo tanto al lector.

Por ejemplo, para entender que, nosotros los seres humanos, somos producto del cambio, las mutaciones, y la selección de aquellas positivas; también, lo que no somos, no somos el producto de una inteligencia intencional.

Saber para sobrevivir. La evolución biológica es el producto de factores de azar y selección por fuerzas naturales. Lo que no es es el diseño de ninguna ingeniería intencional. Esta es la razón por la cual, generalmente, algunas funciones biológicas trabajan en más de una función; como el sexo, cuyo papel secundario es crear un vínculo en la pareja para el cuidado infantil. El núcleo del libro está relacionado con el hecho de que los seres humanos actúan en un entorno temporal y espacial variable, con peligros y oportunidades. La probabilidad de sobrevivir depende de cuánto entendemos la naturaleza, de cuán bien sabemos cómo actúa la naturaleza. Debido a que los seres humanos hemos evolucionado la capacidad de alterar y devastar la naturaleza, es imprescindible comprender las causas y los mecanismos para hacerle frente.

The book is about using the philosophical analysis of current science and technology to lead our mind to think objectively to conceive the world based on scientific knowledge, philosophy and moral.

If science is a great professional activity concerning scientists, it may be everybody's interest.

Besides, scientific progress can enlighten our minds to guide decisions, it is an intellectual pleasure.

The book is entitled “Live science” because science is unfinished, it is in dynamic progress, it is controversy needing of analysis and discussion. For the exercise of analyzing and discussing that scientific thinking may enhance our mind and well-being. The book is not a text book, it is a compilation of myriad of essays, intended to understand the intellectual adventure of our time to build bridges between science and philosophy so that they enrich mutually and hence

El libro se divide en tres secciones principales: Ciencia, filosofía y sociedad; Biología; y Astronomía, Física y Matemática.

Parte I. Ciencia.

Capítulo 1: Conocer para sobrevivir. El capítulo hace énfasis en que la evolución biológica es el resultado de factores aleatorios y fuerzas naturales, y no el producto de una ingeniería intencional

Por evolución, nosotros, los humanos, adquirimos características como el sexo, que está mucho más allá de la reproducción para generar variabilidad genética. También, la curiosidad que nos permite explorar la naturaleza que es variable en el tiempo y el espacio, con peligros y oportunidades; por lo tanto, cuanto más entendemos la naturaleza, más alta es la capacidad de supervivencia. El capítulo explica que la ciencia es una actividad colectiva compleja que produce explicaciones científicas sobre la naturaleza, es decir,

the reader. For example, to understand that, we humans, are product of change, mutations, and selection of those who have a positive mutation; also, what we are not, we are not the product of intentional intelligence.

To know to survive. Biology evolution is the product of chance factors and selection by natural forces. What it is not is the design of any intentional engineer. This is why, generally, some biological functions work in more than one role; like sex, whose secondary role is to create bond in the twosome for child care.

The core of the book is related to the fact that humans strive in a temporal and spatial variable environment, with dangers and opportunities. The probability to survive depends in how much we understand nature, how well we know how nature act. With humans having evolved the capacity to alter and havoc nature, it is paramount to understand causes and mechanisms to deal with it.

The book is divided in three main sections: Science, philosophy and society; Biology; and Astronomy, Physics, and Mathematics.

Part I. Science.

Chapter 1: To know to survive. The chapter makes emphasis in that biological evolution is the result of random factors and natural forces, and not the product of an intentional engineering. By evolution, we humans, acquired characteristics like sex, that it is much beyond reproduction to generate genetic variability. Also, curiosity that allows us to explore nature that is variable in time and space, with dangers and opportunities; hence, the more we understand nature, the higher the provability of survival. The chapter explains that science is a complex collective activity that yields scientific explanations about nature, that is, the scientific theories, that are conceptual nets codifying a vast amount of information. Chapter ends mentioning that rationality is not against with happiness.

las teorías científicas, que son redes conceptuales que codifican una vasta cantidad de información. El capítulo termina mencionando que la racionalidad no es en contra de la felicidad.

Capítulo 2: Ciencia, filosofía y Humanidades. El humanismo fue una respuesta de los hombres del renacimiento a la visión medieval de lo humano. Lo que da autoridad a la ciencia no es que la investigación fue hecha por un investigador famoso, sino el hecho epistemológico de utilizar una metodología sólida y confiable. La cultura es información almacenada en el cerebro que se aprendió de la sociedad. El ser humano maneja información por medio de dos procesadores biológicos, el genoma y el cerebro. La primera es lenta y funciona entre generaciones.

El otro es rápido y trabaja a corto plazo y va de cerebro a cerebro produciendo una red de información llamada cultura. La ciencia y la filosofía

Chapter 2.

Science, philosophy, and humanities. Humanism was a response of renaissance men to the middle age view of the human. What gives authority to science it is not that the research was done by a famous researcher, but the epistemological fact that uses a sound and trustful methodology. Culture is brain stored information that was learned from the society. Human deals with information by mean of two biological processors, genome and brain. The first one is snail slow and works between generations.

The other is fast and works in short term and goes from brain to brain yielding a network of information called culture. Science and philosophy are a continuum, with science as the most specialized one that generates knowledge, while philosophy is the more global, reflexive and speculative part of the continuum that analyze the meaning of knowledge.

Chapter 3.

Science and rationality. Rationality means five senses. The capacity to communicate by means of language. Ration-ability, the faculty of reason; the ability to be rational; (also more generally) in accordance with reason, sensibleness. Someone one is rational if he or she has the ability to give reasons behind acting; educated people are rational. Rationality as ethics, Kant identified practical rationality with ethic behavior. It is rational who that respect others and treat them as ends, not means. Rationalism, unlimited trust in reason or evidence.

It makes sense to talk about rationality if two conditions are satisfied: that there are several alternatives to choose from; that the end is not uniquely determined. And that not all is equal, there must be reasons to choose among alternatives. Rationality is a method, not a faculty and function when there are alternatives to choose from.

son un continuo, con la ciencia como la más especializada que genera conocimiento, mientras que la filosofía es la parte más global, reflexiva y especulativa del continuo que analiza el significado del conocimiento.

Capítulo 3. La ciencia y la racionalidad. La racionalidad tiene cinco acepciones. La capacidad de comunicarse mediante el lenguaje.

La razonabilidad, la facultad de razonar; la habilidad de ser racional; (también más generalmente) de acuerdo con la razón, la sensibilidad. Alguien es racional si tiene la capacidad de dar razones detrás de una actuación; la gente educada es racional

La racionalidad como la ética, Kant identifica la racionalidad práctica con la ética de comportamiento. Es racional quien respeta a los demás y los trata como fines, no como medios. El racionalismo, una confianza ilimitada en la razón o evidencia.

Tiene sentido hablar de racionalidad si se cumplan dos condiciones: que hay varias alternativas para elegir; que el fin no está unívocamente determinado. Y que no todo da igual, debe haber razones para elegir entre las alternativas. La racionalidad es un método, no una facultad y funciona cuando hay alternativas para elegir. Cuando decidimos qué una idea es aceptable, estamos hablando de una teoría de la racionalidad; cuando se trata de decidir qué acción tomar, estamos hablando de la racionalidad práctica.

La racionalidad científica vs racionalismo. La racionalidad individual está basada en la racionalidad teórica, es decir, en ciencia. Mientras que el racionalismo es la exagerada confianza en la razón.

Coherencia. Históricamente, los grupos sociales tienden a creer en tradiciones contradictorias, por ejemplo, en la Biblia del Génesis se dan dos historias contradictorias para explicar el origen del humano, en la ciencia una característica *sine qua*

When we decide what idea is acceptable, we are talking about a theoretical rationality; when we decide what action to take, we are talking about practical rationality.

Scientific rationality vs rationalism. Individual rationality is based on collective theoretical rationality, it is, science. While rationalism is the exaggerated trust in reason.

Consistency. While, historically, social groups allow to believe contradictory traditions, for example in the Bible's Genesis, two contradictory stories explain human origin, in science a *sine qua none* characteristic is consistency.

The worst can happen to a scientific theory is to find some contradiction to it. "In science and history, consilience (also convergence of evidence or concordance of evidence) refers to the principle that evidence from independent, unrelated sources can "converge" on strong conclusions." William Whewell



non es la consistencia. Lo peor que le puede pasar a una teoría científica es encontrar alguna contradicción. En la ciencia y la historia, la consiliencia (también convergencia de la evidencia o concordancia de la evidencia) se refiere al principio de que la evidencia de fuentes independientes, no relacionadas que “convergen” en conclusiones fuertes. William Whewell y Edward Wilson acuñaron “consilience” a la convergencia de los resultados de series de argumentos, inducciones, mediciones y observaciones obtenidas desde diferentes dominios de conocimiento utilizando diferentes métodos, lo que le da a la ciencia confiabilidad y solidez. Si por ejemplo la medición de la distancia entre los objetos espaciales como los planetas, utilizando paralelaje, espectrofotometría, y las variables de Cepheid y encontrar casi el mismo resultado, podemos confiar en el resultado mejor que si usáramos un solo método.

Objetividad. A diferencia de los mitos, las religiones y el arte, la ciencia no busca tener una representación subjetiva satisfactoria de los fenómenos naturales, sino una objetivamente correcta; que esté de acuerdo con la realidad. El primer valor de la ciencia es la coherencia, mientras que el segundo es la objetividad.

Universalidad. La ciencia es universal, puedes aprender sobre ciencia en cualquier Universidad del mundo. Lo que hace de la ciencia un hecho cultural original e inédito en la historia humana. La Universalidad de la ciencia se opone a las tendencias locales y de grupo de las culturas étnicas que son tradicionales y dogmáticas. Científicos de todos los países, razas y religiones contribuyen igualmente para construir el cuerpo del conocimiento científico.

Provisional. Contrariamente al carácter determinante y definitivo de las religiones, las ideologías y otros dogmatismos, la ciencia

and Edward Wilson coined “consilience” to convergence of results of series of arguments, inductions, measurements, and observations gathered from different domains of knowledge using different methods, which gives science reliability and soundness

If for example the distance between space objects like planets using parallax, spectrophotometry, and Cepheid variables find almost same result, we can trust on it better than using only one method.

Objectivity. Apart from myths, religions and art, science do not seek to have a satisfactory subjective representation of natural phenomena but one objectively correct; to agree with reality. First value on science is consistency, with a second as objectivity.

Universality. Science is universal, you can learn about science in any university in the world. Which makes science an original and unpublished

cultural fact in human history. Science universality opposes to local and group tendencies of ethnic cultures that are traditional and dogmatic. Scientists from all countries, races, and religions contribute equally to build the body of scientific knowledge.

Provisionally. Contrary to the determinant and definite character of religions, ideologies, and other dogmatisms, science only endure thesis until new evidences challenge its objectivity and force us to review it or abandon it. The disposition to review hypothesis and theories when they are challenged by new evidences is one of the most obvious characteristics of scientific rationality.

Progress. Progress in science is to build over itself. Science looks, values and progresses in a way that set it apart from traditional thinking that value stability, fidelity to origin and orthodoxy.

In science it is possible to distinguish history (data) and theory (formal or general schemes that explain and organize).

The accumulative progress of science is obvious. Data about medicine or space or archeology accumulate building progress in the body of knowledge. Progress also happens in theories in quite different form that data. When a competing theory looks to substitute a stablished one must be conservative with respect to the old one keeping alive successful traits and applications.

Scientific revolutions are conservative. Einstein's Special relativity is conservative to Newtonian mechanics.

Chapter 4.

Nobel prices and enthusiasts. The book gives some information about Alfred Nobel, nationality and how he got the idea and financing of prizes. Also, how Nobel prizes work. The author makes emphasis on the importance of celebrating persons that contribute to humanity in several topics of knowledge, literature

sólo soporta tesis hasta que nuevas evidencias cuestionen su objetividad y nos obliguen a revisarla o abandonarla.

La disposición a revisar hipótesis y teorías cuando son impugnadas por nuevas evidencias es una de las características más obvias de la racionalidad científica.

Progreso. El progreso en la ciencia es construir sobre sí mismo. La ciencia observa, valora y progresa de una manera que la distingue del pensamiento tradicional que valora la estabilidad, la fidelidad al origen y la ortodoxia. En la ciencia es posible distinguir la historia (datos) y la teoría (esquemas formales o generales que explican y organizan). El progreso acumulativo de la ciencia es obvio. Los datos sobre la medicina o el espacio o la arqueología acumulan el progreso en la construcción del cuerpo del conocimiento

El progreso también ocurre en las teorías. Cuando una teoría en competencia

busca sustituir a una establecida debe ser conservadora con respecto a la antigua manteniendo vivos los datos exitosos y las aplicaciones. Las revoluciones científicas son conservadoras. La relatividad especial de Einstein es conservadora de la mecánica newtoniana.

Capítulo 4.

Premios Nobel y aficionados. El libro da alguna información sobre Alfred Nobel, nacionalidad y cómo él obtuvo la idea y el financiamiento de los premios. Además, cómo funcionan los premios Nobel. El autor hace énfasis en la importancia de celebrar a las personas que contribuyen a la humanidad en varios temas de conocimiento, literatura y paz mundial. El premio se da a las personas por méritos personales. Siendo el autor del libro hispanohablante, enfatizan sobre los premios que se dan a los hispanohablantes. El capítulo termina enfatizando la importancia de que algunos aficionados contribuyan al cuerpo del conocimiento. E invitando al público a involucrarse en la ciencia y a disfrutar de la diversión intelectual.

Capítulo 5.

El fin de la ciencia? El autor menciona algunos presagios de científicos que predicen el fin de la necesidad de investigación en algunas áreas del conocimiento. Como lord Kelvin en el siglo XIX pensando que todas las fuerzas y elementos en la naturaleza ya fueron descubiertos y lo único que quedaba por hacer era resolver algunos detalles. Entonces, el autor explica que la ciencia no se basa en argumentos de autoridad, afirmaciones de investigadores, incluso famosos, que deben ser expuestos al filtro del análisis epistemológico y el contraste empírico.

Capítulo 6.

Límites de conocimiento y de la acción. El autor analiza si hay

and world peace. The prize is given to persons by personal merits. Being the author of the book Spanish speaker, emphasizes about prizes given to Spanish speakers. The chapter ends stressing the importance of some enthusiasts contributing to the body of knowledge.

And inviting the public to get involved in science and to enjoy the intellectual fun.

Chapter 5.

The end of science? The author mentions some portents about scientists preaching the end of need of research in some areas of knowledge. Like lord Kelvin in XIX Century thinking that all forces and elements in nature were already discovered and the only one left to do was to solve some details. Then, the author explains that science is not based on authority arguments, assertions of researchers, even famous ones, that must be exposed to the filter of epistemology analysis and empirical contrast.

algunos límites a lo que se puede investigar y conocer.

Habla de esos fenómenos que están limitados por principio y no sólo por recursos económicos o intelectuales. Por ejemplo, en termodinámica, la primera ley establece que la energía total de un sistema aislado es constante. Lo que hace imposible producir motores que funcionen sin una fuente de energía. Además, la teoría especial de la relatividad establece que la velocidad de la luz en el vacío es la misma para todos los observadores, independientemente del movimiento de la fuente de luz.

Significa que nada puede viajar a mayor velocidad que la de la luz. El principio de incertidumbre de Heisenbergs evalúa un límite fundamental a la precisión con la que ciertos pares de propiedades físicas de una partícula, posición y momento pueden ser conocidos.

Capítulo 7.

Grandeza y miseria de la filosofía analítica. Debido a que los humanos buscan vivir bien, bienestar, necesitamos una brújula, un faro que indique como proceder. Las religiones y los ideales políticos han servido de guía. Lo que ha sucedido es el autoengaño. En contraste, la sabiduría filosófica busca vivir bien basado en la realidad. La filosofía busca una cosmovisión intelectual honesta basada en el conocimiento científico. La filosofía analítica es una escuela de pensamiento que valora la claridad y la precisión del habla y se basa en la lógica y la ciencia. Debido a que los humanos tienen que vivir, la destreza para vivir bien es de interés para todos. El objetivo último, la cosmovisión, la elucidación del bienestar es del interés de todos, es por eso que la filosofía es importante para todos. Con una cosmovisión como el marco teórico de referencia, el paradigma, para nuestras consideraciones prácticas. La construcción de una cosmovisión filosófica responsable depende de una evaluación epistemológica de la ciencia experimental y teórica. Si el problema fundamental

Chapter 6.

Limits of knowledge and action.

The author analyzes if there are some limits of what can be researched and known. He talks about those phenomena that are limited by principle and not only by economical or intellectual resources. For example, in thermodynamics, the first law states that the total energy of an isolated system is constant. Which makes impossible to produce engines that works without a source of energy. Also, the Special theory of relativity states that the speed of light in a vacuum is the same for all observers, regardless of the motion of the light source. It does mean that nothing can travel at higher speed of that of light. The Heisenberg's uncertainty principle assesses a fundamental limit to the precision with which certain pairs of physical properties of a particle, position and momentum can be known.

Chapter 7.

Greatness and misery of analytical philosophy. Because humans look to live well,



de la filosofía teórica es construir una cosmovisión, el problema fundamental de la filosofía práctica es el buen vivir, la vida que uno quisiera vivir y, por tanto, cómo morir.

Capítulo 8.

Karl Popper. El autor dedica un capítulo completo al filósofo vienés porque sabe de la influencia del filósofo en el pensamiento sobre la ciencia del Siglo XX. Incluye una biografía de Popper y menciona contribuciones en forma de libros y opiniones sobre variados temas.

Capítulo 9.

Thomas Kuhn. Kuhn no estudió filosofía, en cambio, obtuvo un Doctorado en Física por la Universidad de Harvard en 1949. Luego estudió historia de la ciencia y se convirtió en profesor de la asignatura.

Utilizó, por primera vez el término “paradigma” en 1959 en una conferencia, de ella el libro “la Estructura de las Revoluciones Científicas” en 1962, propuesta que no estuvo

wellbeing, we need a compass, a lighthouse that indicates to where proceed. Religions and political ideals have served as a guide. What has happened is self-deception.

In contrast, philosophical wisdom looks for live well based on reality. Philosophy looks for an honest intellectual cosmovision based on science knowledge. Analytical philosophy is a school of thought that value clarity and precision of speech and is based on logic and science. Because humans have to live, dexterity in well living is of everybody interest. The ultimate goal, the cosmovision, elucidation of well-being is of everybody business, this is why philosophy is everybody business. For cosmovision is the theoretical frame, the paradigm, for our practical considerations. The construction of a responsible philosophical cosmovision depends on an epistemological evaluation of experimental and theoretical science. If the fundamental problem of theoretical philosophy is to build a cosmovision, the fundamental problem of practical philosophy is good living, the life that one would like to live and hence how to die.

Chapter 8.

Karl Popper. The author dedicates a full chapter to the Viennese philosopher because he realizes the influence of the philosopher to the thinking about XX Century science. Includes a biography of Popper and mentions contributions in the form of books and opinions about varied topics.

Chapter 9.

Thomas Kuhn. Kuhn didn't study philosophy, instead, he got a Doctoral degree in Physics by Harvard University in 1949. Then, he studied history of science and became a teacher in the subject. He used, for the first-time term “paradigm” in 1959 in a conference, from it the book “The Structure of Scientific Revolutions” came in 1962, which was not lacking of criticism.

Examples of changes of paradigm are: from geocentric astronomy to the Copernican system; from the qualitative physics of Aristotle to the mathematical and experimental physics of Galileo; from the Stahl's phlogiston to the Lavoisier's chemistry of oxygen. The author explains that it is not clear if the Kuhnian model of scientific revolutions is applicable to modern science.

Part II Biology.

Chapter 10.

What is life? This is one of the biggest chapters in the book, meaning the importance of the author gives for the topic. Since the viewpoint of physics, life is improvable. Besides, life seems not to fulfill any critical function in the economy of the universe.

In spite of the cosmic insignificance of life, it is paramount in our conscious. The author analyzes the Aristotelian meaning of life, along with the definition of life since the metabolic, thermodynamic, reproduction, complexity, evolutive points of view. An important section of the chapter is that it questions the validity of application of concepts of biology to all universe, in the same way that laws of Physics and Chemistry are applied to the whole cosmos. The author also questions about alternative material bases of life; life is basically chemistry, supported by electromagnetic forces. Also, in alternatives to carbon, like silicon and ammonium instead of water.

Chapter 11.

Model organisms. In spite of the vast diversity of species in the planet, we all evolved from one ancestor. We all are made of same molecules, we all use same mechanisms and are assembled following same instructions. This makes it possible to extrapolate information from one organism, specie, to another. Which has simplified the study of all us. These are known as model organisms. They are model because of their size, genome,

carente de crítica. Ejemplos de cambios de paradigma: de la astronomía geocéntrica al sistema Copernicano; desde la física cualitativa de Aristóteles a la matemática y la física experimental de Galileo; desde el flogisto de Stahl hasta la química del oxígeno de Lavoisier. El autor explica que no está claro si el modelo de las revoluciones científicas es aplicable a la ciencia moderna.

Parte II Biología.

Capítulo 10.

¿Qué es la vida? Éste es uno de los capítulos más grandes del libro, lo que significa la importancia que el autor da al tema. Desde el punto de vista de la física, la vida es improbable. Además, la vida parece no cumplir ninguna función crítica en la economía del universo. A pesar de la insignificancia cósmica de la vida, es importante en nuestra conciencia. El autor analiza el sentido aristotélico de la vida, junto con la definición de la vida desde el punto de vista

metabólico, termodinámico, reproducción, complejidad, evolutivo.

Una sección importante del capítulo es que cuestiona la validez de la aplicación de los conceptos de biología a todo el universo, de la misma manera que las leyes de Física y Química se aplican a todo el cosmos. El autor también cuestiona acerca de las bases materiales alternativas de la vida; la vida es química, basada en fuerzas electromagnéticas. También, da alternativas al carbono, como el silicio y al amonio en lugar de agua.

Capítulo 11.

Organismos modélicos. A pesar de la gran diversidad de especies en el planeta, todos evolucionamos de un ancestro. Todos estamos hechos de las mismas moléculas, todos usamos los mismos mecanismos y nos ensamblamos siguiendo las mismas instrucciones. Esto hace posible extrapolar información de un organismo, una especie, a otra. Lo que ha simplificado el estudio de todos nosotros. Esto se conoce como organismos modelo.

Son modelos por su tamaño, genoma, fecundidad, expectativa de vida, simplicidad en la manipulación, y otras características. En el grupo hay una bacteria, un hongo, una planta, un gusano, una mosca y un ratón. *Escherichia coli*, un procariota, una célula sin núcleo, del intestino de animales, es el más estudiado organismo, ya que es fácilmente cultivable y sabemos mucho sobre del genoma, la fisiología, la bioquímica, la patogenicidad, etcetera. *Saccharomyces cerevisiae* es un eucariota, célula con orgánulos incluyendo núcleo, una levadura. Es el responsable de la fermentación del pan y el vino y la cerveza. Es un modelo por que su genética molecular, replicación del ADN, transcripción, traducción, regulación, reparación del ADN, y producción de citoesqueleto son idénticos en todos los eucariotes. *Arabidopsis thaliana* es el modelo para plantas en estudios sobre ingeniería genética y desarrollo. *Caenorhabditis elegans* es un nematodo, los animales más simples, que preda bacterias y las células que

fecundity, life span, simplicity in manipulation, and other characteristics. In the group are a bacteria, a mold, a plant, a worm, a fly and a mouse. *Escherichia coli*, a prokaryote, a cell without nucleus, from the animals' intestine, is the most studied organism because it is easily cultivable and we know much about it: genome, physiology, biochemistry, pathogenicity, et cetera. *Saccharomyces cerevisiae* is a eukaryote, cell with organelles including nucleus, a yeast. It is the responsible for fermentation of bread and wine and beer. It is a model organism because its molecular genetics, DNA replication, transcription, translation and its regulation, DNA repair, production of cytoskeleton are basically identical in all eukaryote. *Arabidopsis thaliana* is the model for plants in studies about genetic engineering and plant development. *Caenorhabditis elegans* is a nematode, the simplest animals, it preys on bacteria

and the cell forming the body are easily observable, making it a model for animal development. It is made of 959 cells; 302 are neurons. Apoptosis involving 16 genes was found on this model organism. *Drosophila melanogaster* is one of the several million arthropods. It has a simple genome, four pairs of chromosomes. As adult, is formed about one million cells with a life cycle of ten days. It was the model for genetics studies. *Mus musculus*, the mouse is the model for studies on mammals and experimental psychology. Human and mouse separated about 100 million years, the reason why most genes are similar.

Chapter 12.

Decoding the human genome. The cracking of human genome is most of all, an intellectual adventure, a revolution of self-knowing, a redefinition about our self.

Chapter 13.

Glory and promises of embryonic stem cells. Stem cell can differentiate into any kind of cell type. They can be directed to form any kind of tissue or organ as spare parts.

Chapter 14.

Botches of evolution. The chapter gives some useful, in spite of far from perfect examples, like the imperfect eye in mammals.

Chapter 15.

Death and immortality. Besides bacteria that seems to be immortal, they don't get old, animals have a limited time to live, which depends of cell death, apoptosis.

Chapter 16.

Unfounded fears and founded compassion. The chapter talks about cloning and transgenic organisms and about the use of

forma el cuerpo son fácilmente observables, por lo que es un modelo para el desarrollo de los animales.

Es de 959 células; 302 son neuronas. En este modelo se descubrió la apoptosis que involucra 16 genes. *Drosophila melanogaster* es uno de los varios millones de artrópodos.

Tiene un genoma simple, cuatro pares de cromosomas. Como adulto, se forma de un millón de células con un ciclo de vida de diez días. Es el modelo para los estudios de genética. *Mus musculus*, el ratón, es el modelo para estudios sobre mamíferos y psicología experimental. El humano y el ratón se separaron hace cerca de 100 millones de años, la razón por la que la mayoría de los genes son similares.

Capítulo 12.

El desciframiento del genoma humano. El desifrado del genoma humano es, sobre todo, una aventura intelectual, una revolución de autoconocimiento, una redefinición de nuestro ser.

primates in organ transplant experiments, like the baboons in Spain.

Chapter 17.

Monod and molecular biology.

The author yields a brief biography of the French scientist, including both science thinking and political view, and introduces his book “Chance and necessity” published on 1970.

Chapter 18.

Wilson, the naturist. This is another of the biggest chapters. It includes a petit biography of Ed Wilson. The chapter analyzes topics as biodiversity, ethology, sociobiology, and the polemic it raised, and human nature.

Part III.

Astronomy, physics, and mathematics.

Chapter 19. *Life in other planets.* The chapter addresses the possibility of extraterrestrial and extrasolar life. It gives some characteristics of a planet

Capítulo 13.

Gloria y promesas de las células madre. La célula madre puede diferenciarse en cualquier tipo de célula. Se pueden dirigir para formar cualquier tipo de tejido u órgano como piezas de repuesto.

Capítulo 14.

Chapuzas de la evolución. El capítulo da algunos ejemplos de funciones útiles, a pesar de imperfectas, como el ojo imperfecto en los mamíferos.

Capítulo 15.

Muerte e inmortalidad. A diferencia de las bacterias que parecen ser inmortales, no envejecen, los animales tienen un tiempo limitado para vivir, lo que depende de la muerte celular, apoptosis.

Capítulo 16.

Miedos infundados y compasión fundada. El capítulo habla sobre la clonación y los organismos transgénicos y sobre el uso de primates en experimentos de trasplante de órganos, como los babuinos en España.

Capítulo 17.

Monod y la Biología molecular. El autor presenta una breve biografía del científico francés, incluyendo tanto el pensamiento científico como la visión política, e introduce su libro “Chance and necessity” publicado en 1970.

Capítulo 18.

Wilson, el naturista. Este es otro de los capítulos más grandes. Incluye una pequeña biografía de Ed Wilson. El capítulo analiza

should satisfy to promote life in the way we know it. Also, how we would know about extrasolar life; by means of radiofrequencies.

Chapter 20.

Windows to universe. The chapter analyzes how we search the universe. It talks about what we can “see” of the universe.

Photons, visible, infrared and ultra violet light, cosmic rays, neutrons and gravitons. The cosmological horizon. It includes an evaluation about what is possible and impossible to see. For example, the sun light takes 8 min to reach earth, if it exploited one min ago, we will know until 7 min later.

Chapter 21.

The sun splendor. We are a sun epiphenomenon, a byproduct of the sun, we depend on the sun. The chapter talks about the sun, its splendor for life; how it is and how it is studied. What we know about it and why plenty cultures has worshiped it.

Chapter 22.

Simple models for a complex world. Natural phenomena, reality, is quite complex. All we can measure is an approximation. Think about the size of the earth surface. It is not a sphere, nor a terrestrial ellipsoid, so whatever the value we yield of its surface is an approximation. Anyway, it is better to deal with computable approximations than absolute incomputable truth.

Chapter 23.

Time and space. What is time? it is one of the dimensions of the spacetime reference system. It allows us to understand the dynamics of things. We look at the sky to look for dependable clocks. A second is a 1/86,400 of the day. Now we look at atoms instead of celestial bodies. Since 1967 a second is the duration of 9,192,631,770 vibrations of a photon. The spacetime is not

temas como la biodiversidad, la etología, la sociobiología, y la polémica que levantó, y la naturaleza humana.

Parte III.

Astronomía, física y matemáticas.

Capítulo 19.

Vida en otros planetas. El capítulo aborda la posibilidad de vida extraterrestre y extrasolar. Da algunas características de un planeta que debe satisfacer para promover la vida de la manera que la conocemos. También, cómo sabríamos de la vida extrasolar; por medio de radiofrecuencias.

Capítulo 20.

Ventanas al universo. El capítulo analiza cómo investigamos el universo.

Habla de lo que podemos “ver” del universo. Fotones, luz visible, infrarroja y ultravioleta, rayos cósmicos, neutrones y gravitones. El horizonte cosmológico. Incluye una evaluación sobre lo que es



posible e imposible de ver. Por ejemplo, la luz del sol tarda 8 minutos en llegar a la tierra, si explotó hace un minuto, lo sabremos hasta 7 minutos más tarde.

Capítulo 21.

El esplendor del sol. Somos un epifenómeno del sol, un subproducto del sol, dependemos del sol. El capítulo habla sobre el sol, su esplendor para la vida; cómo es y cómo se estudia. Lo que sabemos sobre él y por qué muchas culturas lo han adorado.

Capítulo 22.

Modelos simples de un mundo complejo. Los fenómenos naturales, la realidad, es bastante compleja. Todo lo que podemos medir es una aproximación. Piensa en el Tamaño de la superficie de la tierra. No es una esfera, ni una elipsoide terrestre, así que cualquiera que sea el valor que obtengamos de su superficie es una aproximación. De todos modos, es mejor tratar con aproximaciones computables que con la verdad absoluta no computable.

Capítulo 23.

Tiempo y espacio. ¿Que es tiempo?, es una de las dimensiones del sistema de referencia del espacio-tiempo. Nos permite entender la dinámica de las cosas. Miramos al cielo en busca de relojes confiables. Un segundo es un $1/86,400$ del día. Ahora usamos átomos en lugar de los cuerpos celestes. Desde 1967 un segundo es la duración de 9.192.631.770 vibraciones de un fotón. El espacio-tiempo ya no es euclidiano, es riemanniano, esto es curvo.

Capítulo 24.

Física y Metafísica. En un cierto tiempo, digamos ahora, podemos señalar que cada disciplina científica tiene una serie de

Euclidian anymore, it is
Riemannian, this is curved.

Chapter 24.

Physics and Metaphysics. In a certain time, let say now, we can point out that each scientific discipline has a series of theories and well stablished results. Mutually consistent and empirically contrasted. Besides this standard nucleus sciences are surrounded by incompatible speculations. For example, the incompatibility between the general theory of relativity with quantum physics is the most important obstacle of current science.

Chapter 25.

The Fermat gold. Mathematics is so advanced that open problems are incomprehensible for most, except for some few involved in such topic. By fortune there are some open problems in number theory that are comprehensible using elementary arithmetic.

teorías y resultados bien establecidos. Mutuamente consistentes y contrastadas empíricamente. Además, este núcleo estándar de Ciencias está rodeado de especulaciones incompatibles. Por ejemplo, la incompatibilidad de la teoría general de la relatividad con la física cuántica es el obstáculo más importante de la ciencia actual.

Capítulo 25.

El oro de Fermat. Las matemáticas son tan avanzadas que los problemas abiertos son incomprensibles para la mayoría, excepto para algunos pocos involucrados en tal tema.

Afortunadamente hay algunos problemas abiertos en la teoría de números que son comprensibles usando aritmética elemental.

Capítulo 26.

Los números naturales como biblioteca universal. Los números naturales contienen, convenientemente codificados, cada libro, artículo, texto, que ha sido o será escrito en cualquier idioma, o alfabeto, por cualquier autor, vivo o muerto, o incluso nacido.

Esta es la razón por la que los números naturales son la única biblioteca universal.

¡Vámos al libro!

Chapter 26.

The natural numbers as universal library. Natural numbers contain, conveniently codified, each book, article, text, that has been or will be written in any language, or alphabet, by any author, live or death, or even to be born.

This is why natural numbers are the unique universal library.

Let's go to the book!

DIÁLOGO ENTRE BACTERIAS

¿cómo se comunican las bacterias?

DIALOGUE BETWEEN BACTERIA HOW DO BACTERIA COMMUNICATE?



Recursos Naturales y Sociedad, 2019. Vol. 5 (1): 24-39. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2019.05.05.01.0003>

Loera-Muro Abraham¹, Barraza Aarón¹, Caamal-Chan María Goretty¹

¹CONACYT-CIBNOR, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S., C.P. 23096, México.

* Autor de correspondencia: aloera@cibnor.mx

Resumen

Las bacterias son organismos unicelulares que no poseen un núcleo definido y son denominados organismos procariotes (al igual que otros organismos unicelulares sin un núcleo definido: las arqueas). Estos microorganismos, aparentemente sencillos, son capaces de habitar en todos los ambientes de la tierra:

desde las profundidades de los océanos a las montañas más altas del mundo, sin olvidar que pueden habitar dentro de otros organismos (como las bacterias que forman parte de nuestro microbioma digestivo o el microbioma de las plantas). Algunas son capaces de resistir en el espacio exterior por largos periodos de tiempo. Para lograr todo esto, las bacterias deben ser capaces de responder de una forma rápida y eficiente a los estímulos ambientales; de tal manera que puedan adaptar su metabolismo a los cambios ambientales y sobrevivir. Las bacterias pueden crear espacios de vida común en las denominadas comunidades bacterianas, donde interactúan múltiples especies. Estas comunidades son las responsables del mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos (como el ciclo del nitrógeno, etc.) que permiten la vida en la tierra, de promover el

crecimiento de las plantas, y de mejorar o no el estado de salud del huésped que las alberga.

Como comunidad, la comunicación es una capacidad importante entre bacterias de la misma ó de diferentes especies, dando como resultado diferentes tipos de interacciones, poco entendidas aún en la actualidad. Estas interacciones permiten el desarrollo de comunidades microbianas complejas y organizadas, llamadas “biofilms” o biopelículas, y que son la forma más común de interacción de las bacterias en la naturaleza.

La comunicación entre bacterias se genera a través de señales químicas que afectan el balance bioquímico de los organismos que las rodean, como es el caso del efecto del microbioma digestivo (flora intestinal) en los seres humanos. Existen varias formas en las cuales las bacterias son capaces de interactuar o “comunicarse”

entre ellas. Una de las más importantes, es el llamado “*Quorum Sensing*” (QS), el cual permite la comunicación entre bacterias de una misma ó diferentes especies, así como con organismos pertenecientes a otros dominios, como las plantas y animales. El sistema de interacción de QS actualmente se concibe como un “lenguaje” universal desarrollado por los microorganismos. Este sistema se ha visto involucrado en un gran número de procesos celulares en las bacterias. En esta revisión, intentaremos adentrar al lector en el mundo bacteriano, describiendo las vías de comunicación entre bacterias y de estas con otros organismos diferentes, donde se destacará la importancia del QS microbiano.

Palabras clave. Bacteria, biopelículas, quorum sensing, comunicación bacterial.

Abstract

Bacteria are unicellular organisms that do not have a defined nucleus and are called prokaryotic organisms (as any other unicellular organisms without a defined nucleus: archaea). These apparently simple microorganisms are capable of inhabiting every conceivable environment on earth, from the depths of the oceans to the highest mountains in the world; without forgetting that they can inhabit inside other organisms (as the bacteria that form part of our digestive microbiome or that of plants) and some are able to resist in outer space for long periods of time. To achieve all these capabilities, bacteria must be able to respond quickly and efficiently to environmental stimuli, in such a way, that they can adapt their metabolism to environmental changes and survive. Bacteria that share a common living space are known as bacterial communities, in which multiple species of bacteria interact. These communities are responsible for the maintenance of biogeochemical cycles (such as the nitrogen cycle, and so on) that allow life on earth, promote plant growth and/or improve the host health status of the one hosting the microbial community. As a community, communication is an important capacity among the bacteria of this or with different species, resulting in different types of interactions, which has been little understood even today. These interactions allow the development of complex and organized microbial communities, called “biofilms”, which are the most common form of bacterial interactions in nature. The communication between bacteria is generated through chemical signals that affect the biochemical balance of the organisms that surround them, as in the case of the digestive microbiome (intestinal flora) effect in humans. Several ways in which bacteria are able to interact or “communicate” with each other are discussed. One of the most important is the so-called “*Quorum Sensing*” (QS), which allows communication between bacteria of the same or different species, as well as with organisms belonging to other domains, such as plants and animals. The QS interaction system is currently conceived as a universal “language” developed by microorganisms. The

QS system has been involved in a large number of cellular processes in bacteria. This review intends to introduce the reader to the bacterial world, describing the communication routes among bacteria as well as with other different organisms where the importance of microbial QS will be highlighted.

Key words: Bacteria, biofilms, quorum sensing, bacterial communication.

Las bacterias, microorganismos poco entendidos.

Durante décadas, las bacterias se han utilizado como sistemas modelo para estudiar los principios básicos de la biología molecular. Gran parte de nuestro conocimiento sobre la replicación eucariótica, la transcripción, la traducción y la reparación del ADN proviene de una analogía con las versiones bacterianas bien caracterizadas. Sin embargo, a nivel celular, la combinación de tamaño pequeño y la aparente falta de orgánulos unidos a la membrana, hicieron

que las bacterias parecieran ser estructuras estáticas homogéneas cuyo desarrollo y organización diferían fundamentalmente de los eucariotas. Esta perspectiva tradicional cambió en las últimas décadas con avances significativos en nuestra comprensión de la biología de las células bacterianas (Gitai, 2005). El trabajo en múltiples especies ha demostrado que las bacterias son organismos que establecen organizaciones de células altamente ordenadas y dinámicas. Además, es importante destacar que la mayoría de las bacterias tienen la capacidad de comunicarse entre sí y que desarrollan estructuras multicelulares (Liu *et al.*, 2016). De hecho, la vida comunitaria ahora se considera el estado de crecimiento predeterminado para las bacterias silvestres. Las bacterias podrían servir como modelos para comprender la señalización intercelular de largo y corto alcance, la morfogénesis, la adhesión celular y la formación de tejidos, entre otros fenómenos biológicos de importancia (Garnett y Matthews, 2012).

Las bacterias son diversas y

además se caracterizan por desarrollar una amplia gama de respuestas ante cualquier estímulo ambiental, lo que se traduce en su presencia prácticamente en todos los nichos ambientales imaginables. Comprender estas células debería ayudar a mejorar los desarrollos tecnológicos ya existentes, en campos como la agricultura, la biorremediación,

“Durante décadas, las bacterias se han utilizado como sistemas modelo para estudiar los principios básicos de la biología molecular”

investigación biomédica y la producción de energía. Además, las bacterias pueden ser la clave para comprender el funcionamiento de los organelos derivados de bacterias en las células de plantas, hongos y animales, como las mitocondrias y los

cloroplastos. Finalmente, la biología de las células bacterianas puede resultar de gran importancia clínica para combatir las enfermedades infecciosas. Las diferencias moleculares entre las células procarióticas y las eucariotas podrían explotarse para identificar una nueva generación de fármacos antimicrobianos para reponer nuestro arsenal clínico agotado, entre otras tantas cosas (Gitai, 2005).

Las biopelículas, comunidades bacterianas de las que todos dependemos.

Los microorganismos se han adaptado a prácticamente todos los ambientes del planeta Tierra, mediante el desarrollo de estrategias específicas para sus nichos ecológicos y de las cuales dependen la mayoría de los ciclos biogeoquímicos. Las bacterias poseen estrategias adaptativas que se conservan universalmente, siendo uno de los mejores ejemplos su capacidad para vivir en comunidades complejas y organizadas, conocidas como biopelículas (Flemming y Wingender, 2010) (Figura 1). Estas comunidades se pueden definir como un conjunto de microorganismos organizados dentro de una matriz extracelular que está adherida a una superficie (que puede estar viva o inerte) o adheridas entre ellas. La matriz extracelular proporciona un refugio que protege a las bacterias de diferentes tipos de estrés, crea un ambiente rico en

nutrientes y permite su proliferación. Por ejemplo, las bacterias que crecen en biopelículas pueden resistir, o evadir la respuesta inmune del huésped y son menos susceptibles a los antibióticos y biocidas que sus contrapartes que se encuentran en un estado planctónico o libre (Hathroubi *et al.*, 2017). La matriz está compuesta en gran abundancia de

bacterias formando biopelículas comparado con su contraparte planctónica (Jolivet-Gougeon y Bonnaure-Mallet, 2014). Como consecuencia, las células de las biopelículas exhiben diferentes fenotipos que son diferentes de sus contrapartes planctónicas. Esto se debe en parte al hecho de que la estructura de la biopelícula tiene un profundo impacto en la expresión génica (Tremblay *et al.*, 2017).

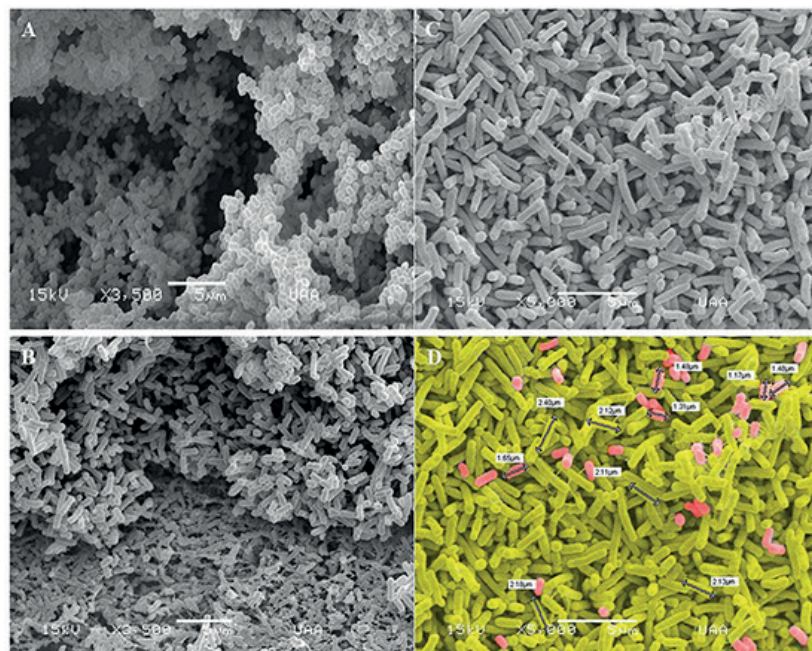


Figura 1. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de biopelículas formadas por A) *A. pleuropneumoniae* y B) *E. coli* en mono-especies, y formando una biopelícula de dos-especie (multi-especie) en C). En D) se pintaron células para distinguir las dos poblaciones de bacterias. Barra de escala de 5µm (Imagen tomada de Ramírez-Castillo *et al.*, 2018).

agua y otros componentes en menor proporción como ADN extracelular, proteínas, polisacáridos, lípidos y minerales. Estos compuestos estructurales de la matriz pueden variar enormemente dependiendo de las condiciones de crecimiento y la(s) especie(s) bacteriana(s) (Tremblay *et al.*, 2017). Un punto importante es que la matriz extracelular es el factor clave que determina las propiedades de la biopelícula. Además, es importante considerar las interacciones positivas que ocurren dentro de estas comunidades entre las especies que habitan en ellas (Willems *et al.*, 2016). En general, el estilo de vida sedentario de las bacterias cuando se encuentran formando biopelículas proporciona varias ventajas que no se encuentran cuando están en una forma planctónica de vida libre; un buen ejemplo es el aumento en la resistencia a antibióticos observado en

La comunicación entre bacterias

Las bacterias, como ya se ha mencionado, se encuentran en la naturaleza regularmente formando biopelículas. Dentro de estas estructuras, ellas están en constante interacción entre sí y con el entorno que las rodea, mediante redes de comunicación que les permiten coordinar sus actividades metabólicas, ya sea con bacterias de su misma especie o con microorganismos de otras especies. Estas redes, compuestas por señales químicas microbianas, se establecen a través de sistemas de detección adecuados que activan respuestas específicas. Existen dos principales sistemas

de comunicación entre bacterias: uno es el llamado *Quorum Sensing* (QS) y el otro sistema incluye al c-di-GMP (3',5'-diguanylate cíclico), una molécula de bajo peso molecular (Bordi y de Bentzmann, 2011). Existen otros sistemas de señalización, como es el caso de las vías de señalización del sistema de dos componentes (TCS); sin embargo, este mecanismo de señalización es utilizado regularmente por las bacterias para monitorear los estímulos externos provenientes de su ambiente y no para interacciones microbianas (Bordi y de Bentzmann, 2011), por lo que no profundizaremos en este tipo de comunicación.

El llamado *Quorum Sensing* (QS) es un mecanismo de comunicación célula a célula que confiere a las bacterias la capacidad de reconocer la densidad de la población, mediante la medición de la acumulación de una molécula de señalización específica, llamada molécula autoinductora (AI), la cual es producida y secretada por las mismas bacterias. Las moléculas AI pertenecen a una amplia

gama de clases químicas que incluyen las *N*-acil-homoserina lactonas (autoinductor-1, AHL o AI-1), diésteres de furanosil borato (autoinductor-2 o AI-2), ácidos grasos *cis*-insaturados y péptidos pequeños de bajo peso molecular (Solano *et al.*, 2014).

Otros componentes participantes en la comunicación son los que censan a los AI conocidos como receptores, ejemplo el receptor LuxR (AI-1) (Bjarnshol *et al.*, 2013).

En el caso de las bacterias Gram negativas (con una doble membrana celular, membrana interna y externa, y una pared celular localizada entre ellas compuesta de peptidoglucanos) la comunicación se realiza a través de un sistema de dos componentes integrado por una sintasa (LuxI), responsable de la producción de las AHL o AI-1, y un receptor que funciona como sensor (LuxR), responsable de la detección de las moléculas señalizadoras en el medio (Figura 2a). En otro tipo de comunicación mediada por el AI-1, el receptor es una histidina quinasa anclada a membrana de la familia LuxN; en este caso, la síntesis

de la molécula QS no depende de una enzima tipo LuxI, sino de una enzima de la familia LuxM (similar a la anterior). Finalmente, un tercer tipo de AHLs sintasa en bacterias Gram-negativas es la familia HdtS que no es miembro de LuxI, ni de las familias de proteínas LuxM, pero es capaz de direccionar la síntesis de más de un AHL en *Pseudomonas fluorescens*, bacteria que promueve el crecimiento de ciertas plantas (Laue *et al.*, 2000; Barriuso y Martínez, 2018).

Actualmente se sabe que el proceso de QS está involucrado en la formación, desarrollo y desintegración de las biopelículas (Vlamakis *et al.*, 2013). Un ejemplo clásico es *Vibrio fischeri*. Esta bacteria regula el operón luciferasa, responsable de la bioluminiscencia, a través de dos proteínas, LuxI y LuxR involucradas también en el sistema de QS (Kendall y Sperandio, 2014). Otro ejemplo bien estudiado es la bacteria patógena *P. aeruginosa*, la cual emplea cuatro sistemas de QS: dos dependientes de AHL que utilizan dos LuxR/I (LasR/I y RhIR/I), donde LasR y RhIR son reguladores transcripcionales que responden a las AHL,

N-(3 oxododecanoil) homoserina lactona (OdDHL) y *N*-butanoilhomoserina lactona (BHL), respectivamente. El sistema de Las-RhlR QS desempeña un papel clave en la maduración de las biopelículas, en el control de la producción de factores de virulencia, la motilidad de la colonia y la expresión de bombas de eflujo que permiten la resistencia a antibióticos (Davis *et al.*, 2010). El tercer sistema QS es PQS. El sistema PQS se identifica estructuralmente como 2-heptil-3-hidroxi-4-quinolona, y es químicamente única de las señales AHL de los sistemas *las* y *rhl*. El receptor PqsR ha sido implicado en la regulación de la producción de PQS. Finalmente, el cuarto sistema QS que es capaz de integrar señales de estrés ambiental con la red de detección de quórum, fue nombrado como IQS, y pertenece a una nueva clase de moléculas de señal de detección de quórum. Se estableció estructuralmente como 2-(2-hidroxifenil)-iazol-4-carbaldehído. Los genes que participan en la síntesis de IQS son un grupo de genes de péptido sintasa ribosomal llamados *ambBCDE* (Lee y Zhang, 2015). Los circuitos QS

en *P. aeruginosa* están organizados de manera jerárquica. El complejo LasR-OdDHL activa la transcripción de *rhlR*, *rhlI*, *lasI* y algunos genes de virulencia. LasR-OdDHL también regula positivamente a PqsR (operón *pqsABCD*) (un operón es una unidad de transcripción regulada coordinadamente en bacterias) y *pqsH* (gen que codifica al PQS). Así mismo, PQS potencia la producción del sistema QS *rhl*. Finalmente, también se encontró que IQS estaba estrechamente controlado por LasRI (Lee y Zhang, 2015).

Otro ejemplo de bacterias Gram-negativas de gran importancia para la salud humana que utiliza este sistema es *V. cholerae*. Este patógeno posee varios sistemas QS que controlan la virulencia y formación de biopelículas (Papenfort *et al.*, 2017). Dos auto-inductores de *V. cholerae* bien identificados son CAI-1 ((S)-3-hidroxitridecan-4-ona) producidos por la enzima CqsA y AI-2 (4,5 dihidroxi-2,3-pentanodiona) que sintetiza LuxS. CqsA se conserva en todas las especies de *Vibrio*, lo que convierte a CAI-1 en una molécula utilizada en la comunicación entre especies de este género. CAI-1 y AI-2 son detectados por los receptores de membrana CqsS y LuxPQ, respectivamente. Recientemente se ha descrito un nuevo sistema QS en *V. cholerae* llamado LuxR-solo, que utiliza al factor de transcripción VqmA. Este factor de transcripción une al autoinductor 3,5-dimetilpirazin-2-ol o DPO (compuesto designado 1, un nuevo tipo de autoinductor y una nueva molécula para la biología). DPO se produce a partir de treonina y alanina, y requiere a la enzima treonina deshidrogenasa (Tdh) para su síntesis. VqmA, en complejo con DPO, activa la expresión del gen *vqmR* que codifica el ARN pequeño de VqmR, que reprime los genes necesarios para la formación de biopelículas en *V. cholerae* (Papenfort *et al.*, 2017).

En el caso de las bacterias Gram-positivas (con una membrana celular y una pared celular que las rodea compuesta de peptidoglucanos) el QS regularmente se da a través de péptidos de bajo peso molecular (Solano *et al.*, 2014). En general, Agr es considerado como el prototipo del sistema regulador de detección de QS en bacterias grampositivas como los *Staphylococcus*, donde podemos encontrar especies patógenas (Le y Otto, 2015). El locus *agr* codifica dos unidades transcripcionales (RNAII y RNAI-

II). El RNAII codifica cuatro genes: *agrB*, *agrD*, *agrC* y *agrA*. El transcrito *agrD* codifica un precursor peptídico de la señal del QS llamado péptido auto-inductor (AIP) (Figura 2a). El producto del gen *agrB* es una endopeptidasa transmembrana responsable de la introducción de la modificación de la tiolactona, la escisión C-terminal y la exportación de la AIP. Los genes *agrC* y *agrA* codifican al sistema de transducción de señales de dos componentes que involucra al sensor de histidina quinasa AgrC, una proteína transmembrana que se fosforila al unirse a la AIP, y su regulador de respuesta asociado, AgrA (Le y Otto, 2015).

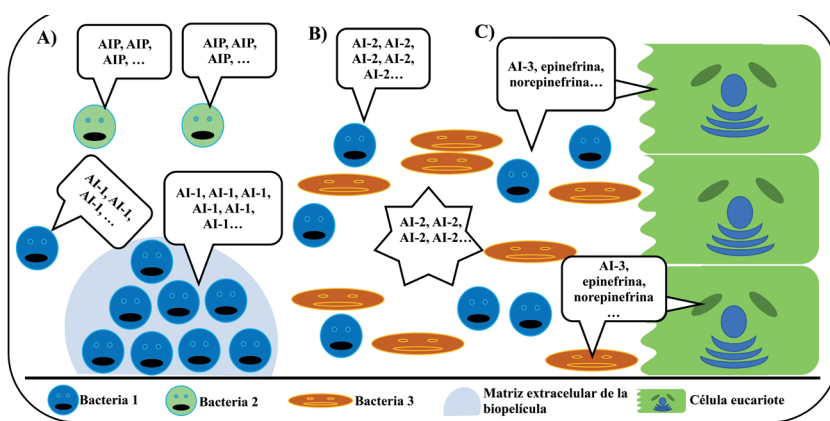


Figura 2. Esquema general de la comunicación bacterial a través del sistema “*Quorum Sensing*” (QS). A) Comunicación entre bacterias de una misma especie, en estado planctónico o en biopelícula vía molécula Autoinductor-1 (AI-1) o péptidos de bajo peso molecular (AIP). B) Comunicación entre bacterias de diferentes especies, en estado planctónico o en biopelícula vía molécula Autoinductor-2 (AI-2). C) Comunicación entre bacterias y células eucariotes vía molécula Autoinductor-3 (AI-3/epinefrina/norepinefrina).

Por otra parte, *Streptococcus mutans* es otro buen ejemplo de bacterias Gram positivas que regulan su actividad social, virulencia y formación de biopelículas a través del QS (Li y Tian, 2012). Esta bacteria está adaptada a vivir en biopelícula en su ambiente natural, la placa dental, dentro de la cual puede producir ácidos a partir de una dieta rica en carbohidratos, comenzando la demineralización de los dientes, provocando la caries dental. El sistema QS de *S. mutans* consiste en tres genes, *comCDE*. El *comC* codifica un precursor peptídico señal, (péptido señal ComC o CS

a través de un transportador ABC específico (*cslAB*). Los genes *comDE* codifican un sistema de transducción de dos componentes que detecta y responde específicamente a la CSP. Cuando alcanza una concentración

crítica, el CSP interactúa con el receptor de histidina quinasa ComD de células vecinas provocando la autofosforilación del ComD (vía ATP). El ComD activa su regulador de respuesta, ComE, a través de la fosforilación y, a su vez, activa sus genes diana, genes que codifican numerosas bacteriocinas dependientes de QS y proteínas de autoinmunidad de bacteriocinas (Li y Tian, 2012).

¿Cómo se comunican bacterias de diferentes especies?

En la naturaleza, las bacterias comúnmente forman comunidades en forma de biopelículas multi-especie, las cuales emplean mecanismos de comunicación celular ó “lenguaje” microbiano universal (Burmølle *et al.*, 2014; Rao *et al.*, 2016), como el QS, siendo el autoinductor-2 (AI-2) el tipo “lenguaje” microbiano más extendido. Los mecanismos de QS mediados por el AI-2 se han caracterizado tanto en bacterias Gram-positivas como en Gram-negativas (Figura 2b). En el mecanismo AI-2 de QS, la síntesis de la molécula de S-ribosil homocisteína (SRH) a homocisteína está mediada por el pro-

ducto de los genes *luxS* (o genes tipo *luxS*) que codifican el (2S,4S)-2-metil-2,3,3,4-tetrahidroxi tetrahydrofurano-borato sintasa (LuxS). La reacción que es catalizada por LuxS es una parte integral del ciclo del metilo activado (AMC), la cual es una importante vía metabólica en donde la S-adenosilhomocisteína se recicla para recuperar la S-adenosilmetionina (SAM) y así mantener la biosíntesis de metionina *de novo*. El segundo



producto de esta reacción, el 4,5-dihidroxi-2,3-pentanodiona o DPD, sufre una reacción termodinámicamente espontánea de ciclación para formar una mezcla de diferentes furanonas, incluido el AI-2, que se acumula en el sobrenadante del cultivo. La transducción de señales se lleva a cabo por la familia de proteínas de unión a AI-2 periplásmicas solubles denominadas LuxP o LuxR (Barriuso y Martínez, 2018). El “lenguaje” micro-

biano universal mediado por los AI-2 puede regular la producción de factores de virulencia en diversos patógenos, incluyendo a *Escherichia coli* enterohemorrágica, *Salmonella*, *Haemophilus influenzae*, *Helicobacter pylori*, *Streptococcus pneumoniae* y *V. cholerae* (Rao *et al.*, 2016; Defoirdt, 2018). Por ejemplo, los niveles de AI-2 en un cultivo mixto de *Actinomyces naeslundii* (cepa T14V) y *Streptococcus oralis* (cepa 34) son críticos para el crecimiento de biopelículas de dos especies con actividad mutualista de estos dos organismos cuando la saliva se utiliza como única fuente de nutrientes (Li y Tian, 2012). Así mismo, *Porphyromonas gingivalis* puede detectar la señal de AI-2 de *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, indicando que la comunicación inter-específica con AI-2 puede ocurrir en las biopelículas orales donde participan estas dos bacterias (Jakubovics, 2010). Por otra parte, también podemos encontrar ejemplos de interacciones negativas utilizando el QS. El AI-2 de *A. actinomycetemcomitans* sintetizado por LuxS, se acumula durante el crecimiento de esta bacteria y puede inhibir la

formación de hifas y de biopelículas de *Candida albicans* (Bachtiar et al., 2014).

¿Y la comunicación con otros organismos?

Finalmente, existe una tercer molécula del QS, la cual es el llamado autoinductor-3 (AI-3), que involucra la señalización entre los dominios taxonómicos, es decir, entre las bacterias y arqueas (células procariotas), y los eucariotas (organismos superiores). En este sistema, la molécula AI-3 producida por la microflora del tracto gastrointestinal del comensal y la epinefrina y la norepinefrina producidas por el huésped interactúan con un sistema regulador de dos componentes para activar la transcripción de los genes implicados en la patogénesis bacteriana. En *E. coli* y *Salmonella* el sistema AI-3/epinefrina/norepinefrina (Figura 2), reconocen el autoinductor (AI-3), la señal producida por otros microbios (AI-3) y las hormonas del humano inducidas por el estrés (epinefrina o noradrenalina) (Papenfort y Bassler, 2016). La detección del AI-3 por los patógenos entéricos *E. coli* y *S. typhimurium* se produce a través del sensor quinasa QseC, que luego fosforila al regulador de respuesta QseB para activar la transcripción de los genes blanco. El mismo sistema de dos componentes QseC/B también se usa para la detección bacteriana de epinefrina y norepinefrina producida por el huésped, por lo que se plantea la hipótesis de que la estructura de la AI-3 puede parecerse a la de las dos hormonas (epinefrina y norepinefrina) (LaSarre y Federle, 2013; Moreira y Sperandio, 2016). En otro ejemplo, *Legionella pneumophila* emplea el sistema QS Lqs, que produce, detecta y responde a la molécula LAI-1 (autoinductor de *Legionella*-1;3-hidroxipentadecano-4-ona). El sistema Lqs comprende al autoinductor-sintasa LqsA, dependiente de piridoxal-50-fosfato, el sensor-quinasa asociado ligado a membrana LqsS y su homólogo LqsT, así como el regulador de respuesta LqsR. A través de este sistema, *L. pneumophila* inhibe la migración quimiotáctica de amebas, macrófagos y neutrófilos (Hochstrasser y Hilbi, 2017; Hochstrasser et al., 2019). En este caso, la adrenalina y la noradrenalina solo tienen efectos leves sobre el crecimiento de *L. pneumophila*. Sin embargo, los antagonistas de los

receptores adrenérgicos (benoxathian, naftopidil, propranolol, y la-betalol) redujeron el crecimiento de *L. pneumophila* en caldo o en amebas, mientras que se incrementó la multiplicación de macrófagos (Hochstrasser y Hilbi, 2017).

Conclusiones y perspectivas a futuro.

Las bacterias son organismos que se han logrado adaptar a todos los ambientes existentes en nuestro planeta gracias a la gran plasticidad genética y molecular con que cuentan. Una de estas capacidades, es la posibilidad de comunicarse con organismos de la misma especie, y entre organismos de diferentes especies, incluso pudiendo establecer comunicación con organismos de diferentes dominios taxonómicos. Esta capacidad de comunicación les ayuda a reaccionar y adaptarse a cambios en el ambiente, y a sobrevivir aún en condiciones, aparentemente no aptas para ellas. Si a esto sumamos su capacidad de formar comunidades microbianas organizadas conocidas como biopelículas, en las que las interacciones se magnifican, tenemos como re-

sultado organismos altamente exitosos capaces de sobrevivir en cualquier ambiente y casi bajo cualquier condición conocida por el hombre en la naturaleza.

Agradecimientos

El trabajo actual de investigación fue apoyado por CONACYT/México y por fondos proporcionados por el CIB-NOR. Agradecemos a la MsC. Diana Dorantes la edición del Idioma Ingles del Abstract y al DG Gerardo Hernández el diseño gráfico de este manuscrito.

Literatura citada

- Barriuso, J. y M.J. Martínez. 2018. *In silico analysis of the quorum sensing metagenome in environmental biofilm samples*. *Frontiers in Microbiology* 9:1243. doi:10.3389/fmicb.2018.01243
- Bachtiar, E.W., Bachtiar, B.M., Jarosz, L.M., Amir, L.R., Sunarto, H., Ganin, H., Meijler, M.M. y B.P. Krom. 2014. *AI-2 of Aggregatibacter actinomycetemcomitans inhibits Candida albicans biofilm formation*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 4:94. doi:10.3389/fcimb.2014.00094.
- Bjarnsholt, T., Alhede, M., Alhede, M., Eickhardt-Sørensen, S.R., Moser, C., Kühl, M., Jensen, P.Ø. y N. Høiby. 2013. *The in vivo biofilm*. *Trends in Microbiology* 21:466-74. doi:10.1016/j.tim.2013.06.002.
- Bordi, C. y S. de Bentzmann. 2011. *Hacking into bacterial biofilms: a new therapeutic challenge*. *Annals of Intensive Care* 1:19. doi:10.1186/2110-5820-1-19.
- Burmølle, M., D. Ren, T. Bjarnsholt y S.J. Sørensen. 2014. *Interactions in multispecies biofilms: do they actually matter?* *Trends in Microbiology* 22:84-91. doi:10.1016/j.tim.2013.12.004.
- Davis, B.M., R. Jensen, P. Williams y P.O'Shea. 2010. *The interaction of N-Acylhomoserine lactone quorum sensing signaling molecules with biological membranes: implications for inter-kingdom signaling*. *PLoS ONE* 5:e13522. doi:10.1371/journal.pone.0013522
- Defoirdt, T. 2018. *Quorum-Sensing systems as targets for antivirulence therapy*. *Trends in Microbiology* 26:313-328. doi:10.1016/j.tim.2017.10.005.
- Flemming, H.C. y J. Wingender. 2010. *The biofilm matrix*. *Nature Reviews Microbiology* 8:623-33. doi: 10.1038/nrmicro2415.
- Garnett, J.A. y S. Matthews. 2012. *Interactions in bacterial biofilm development: a structural perspective*. *Current Protein & Peptide Science* 13:739-55.
- Gitai, Z. 2005. *The new bacterial cell biology: moving parts and subcellular architecture*. *Cell* 120:577-586.
- Hathroubi, S., M.A. Mekni, P. Domenico, D. Nguyen y M. Jacques. 2017. *Biofilms: microbial shelters against antibiotics*.

- Microbial Drug Resistance 23: 147–156. doi: 10.1089/mdr.2016.0087.
- Hochstrasser, R. y H. Hilbi. 2017. *Intra-species and inter-kingdom signaling of Legionella pneumophila*. Frontiers in Microbiology 8:79. doi:10.3389/fmicb.2017.00079
- Hochstrasser, R., A. Kessler, T. Sahr, S. Simon, U. Schell, L. Gomez-Valero, C. Buchrieser y H. Hilbi. 2019. *The pleotropic Legionella transcription factor LvbR links the Lqs and c-di-GMP regulatory networks to control biofilm architecture and virulence*. Environmental Microbiology. doi:10.1111/1462-2920.14523.
- Jakubovics, N.S. 2010. *Talk of the town: interspecies communication in oral biofilms*. Molecular Oral Microbiology 25:4-14. doi:10.1111/j.2041-1014.2009.00563.x.
- Jolivet-Gougeon, A. y M. Bonnaure-Mallet. 2014. *Biofilms as a mechanism of bacterial resistance*. Drug Discovery Today: Technologies 11:49-56. doi:10.1016/j.ddtec.2014.02.003.
- Kendall, M.M. y V. Sperandio. 2014. *Cell-to-Cell Signaling in Escherichia coli and Salmonella*. EcoSal Plus 6. doi:10.1128/ecosalplus.ESP-0002-2013.
- LaSarre, B. y M.J. Federle. 2013. *Exploiting quorum sensing to confuse bacterial pathogens*. Microbiology and Molecular Biology Reviews 77:73-111. doi:10.1128/MMBR.00046-12.
- Laue, B.E., Jiang, Y., Chhabra, S.R., Jacob, S., Stewart, G.S., Hardman, A., Downie, J.A., O'Gara, F. y P. Williams. 2000. *The biocontrol strain Pseudomonas fluorescens F113 produces the Rhizobium small bacteriocin, N-(3-hydroxy-7-cis-tetradecenoyl)homoserine lactone, via HdtS, a putative novel N-acylhomoserine lactone synthase*. Microbiology 146:2469-2480.
- Le, K.Y. y M. Otto. 2015. *Quorum-sensing regulation in staphylococci—an overview*. Frontiers in Microbiology 6:1174. doi:10.3389/fmicb.2015.01174
- Lee, J. y L. Zhang. 2015. *The hierarchy quorum sensing network in Pseudomonas aeruginosa*. Protein y Cell 6:26-41. doi:10.1007/s13238-014-0100-x.
- Li, Y.H. y X. Tian. 2012. *Quorum sensing and bacterial social interactions in biofilms*. Sensors (Basel) 12:2519-38. doi:10.3390/s120302519.
- Liu, W., Røder, H.L., Madsen, J.S., Bjarnsholt, T., Sørensen, S.J. y M. Burmølle. 2016. *Interspecific bacterial interactions are reflected in multispecies biofilm spatial organization*. Frontiers in Microbiology 7:1366. doi:10.3389/fmicb.2016.01366
- Moreira, C.G. y V. Sperandio. 2016. *The epinephrine/norepinephrine/autoinducer-3 interkingdom signaling system in Escherichia coli O157:H7*. Advances in Experimental Medicine and Biology 874:247-61. doi:10.1007/978-3-319-20215-0_12.
- Papenfort, K. y B.L. Bassler. 2016. *Quorum sensing signal-response systems in Gram-negative bacteria*. Nature Review Microbiology 14:576-588. doi:10.1038/nrmicro.2016.89.
- Papenfort, K., Silpe, J.E., Schramma, K.R., Cong, J.P., Seyedsayamdost, M.R. y B.L. Bassler. 2017. *A Vibrio cholerae*

- autoinducer-receptor pair that controls biofilm formation*. Nature Chemical Biology 13:551-557. doi:10.1038/nchembio.2336.
- Ramírez-Castillo F.Y., A. Loera-Muro, N.D. Vargas-Padilla, A.C. Moreno-Flores, F.J. Avelar-González, J. Harel, M. Jacques, R. Oropeza, C.C. Barajas-García y A.L. Guerrero-Barrera. 2018. *Incorporation of Actinobacillus pleuropneumoniae in preformed biofilms by Escherichia coli isolated from drinking water of swine farms*. Frontiers in Veterinary Science 5:184. doi: 10.3389/fvets.2018.00184
- Rao, R.M., S.N. Pasha y R. Sowdhamini. 2016. *Genome-wide survey and phylogeny of S-Ribosylhomocysteine (LuxS) enzyme in bacterial genomes*. BMC Genomics 17:742. doi:10.1186/s12864-016-3002-x.
- Solano, C., M. Echeverez y I. Lasa. 2014. *Biofilm dispersion and quorum sensing*. Current Opinion of Microbiology 18:96-104. doi:10.1016/j.mib.2014.02.008.
- Tremblay, Y.D.N., J. Labrie, S. Chénier y M. Jacques. 2017. *Actinobacillus pleuropneumoniae grows as aggregates in the lung of pigs: is it time to refine our in vitro biofilm assays?* Microbial Biotechnology 10: 756–760. doi: 10.1111/1751-7915.12432.
- Vlamakis, H., Chai, Y., Beaugregard, P., Losick, R. y R. Kolter. 2013. *Sticking together: building a biofilm the Bacillus subtilis way*. Nature Reviews Microbiology 11:157-68. doi:10.1038/nrmicro2960.
- Willems, H.M., Z. Xu y B.M. Peters. 2016. *Polymicrobial biofilm studies: from basic science to biofilm control*. Current Oral Health Reports 3: 36-44.

Cita de este artículo:

Loera-Muro A., A. Barraza y M.G. Caamal-Chan. 2019. *Diálogo entre bacterias ¿cómo se comunican las bacterias?* Recursos Naturales y Sociedad, 2019. Vol. 5 (1): 24-39. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2019.05.05.01.0003>

Sometido: 3 de Marzo de 2019

Revisado: 27 de Marzo de 2019

Aceptado: 24 de Mayo de 2019

Editora asociada: Dra. Luz Estela González de Bashan

Idioma Ingles Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

