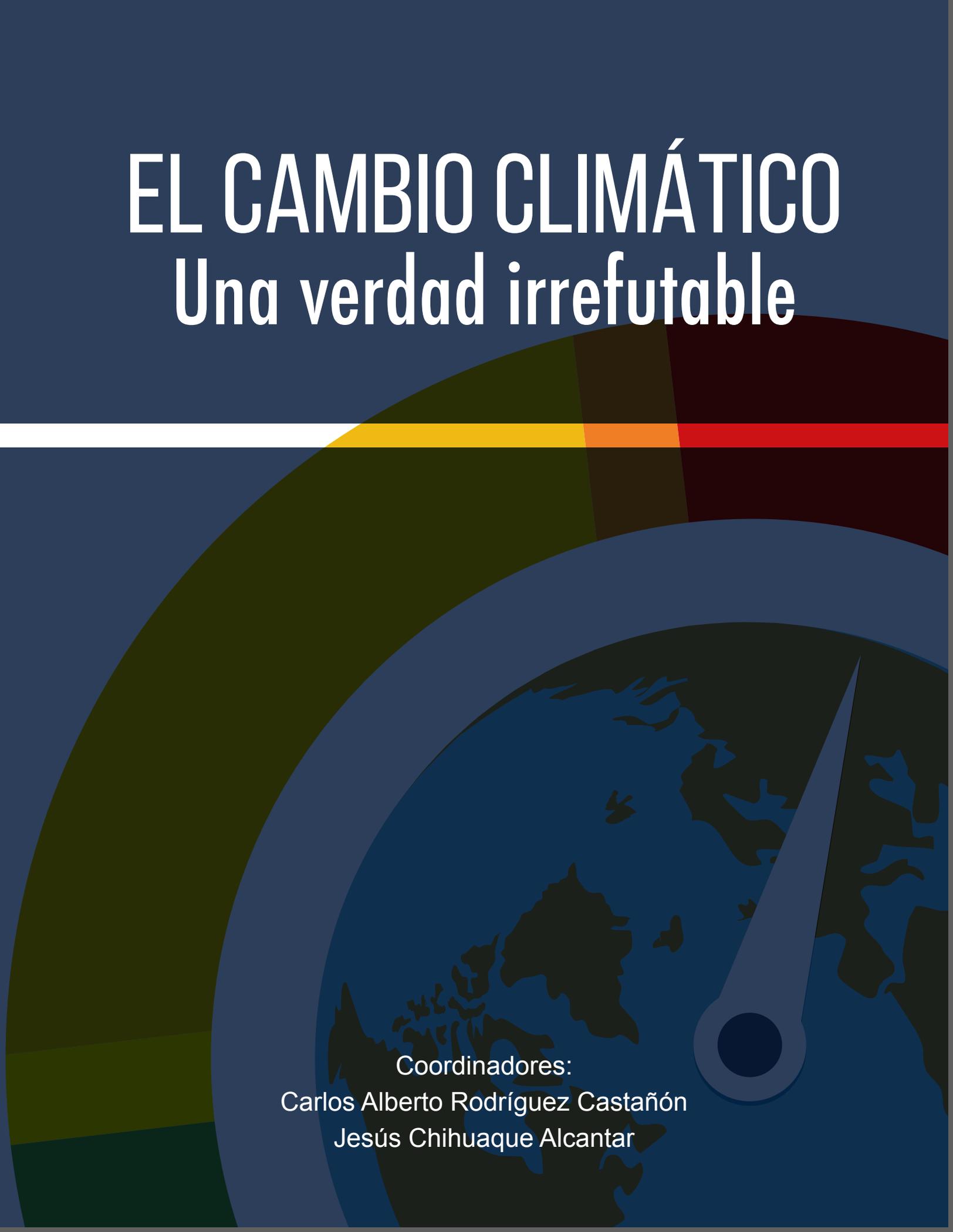


# EL CAMBIO CLIMÁTICO

## Una verdad irrefutable

A stylized graphic of a globe with a thermometer needle. The globe is composed of several overlapping semi-circular segments in shades of blue, green, and red. A white horizontal line crosses the globe. A thermometer needle is positioned on the right side of the globe, pointing upwards. The needle is dark blue with a circular base.

Coordinadores:  
Carlos Alberto Rodríguez Castañón  
Jesús Chihuahua Alcantar

# **EL CAMBIO CLIMÁTICO**

**Coordinadores:  
Carlos Alberto Rodríguez Castañón  
Jesús Chihuahue Alcantar**

**Primera edición: 2020**

ISBN: 978-607-8561-12-4

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado - electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc.,- sin el permiso previo de los titulares de los derechos de propiedad intelectual.

Impreso en México / Printed in Mexico

© Carlos Alberto Rodríguez Castañón / Jesús Chihuaque Alcantar

© Formación de interiores: Ana Julia Almanza Vega

© Publicaciones UPG de la Universidad Politécnica de Guanajuato

## **AGRADECIMIENTOS**

Al comité editorial de la Universidad Politécnica de Guanajuato por su valioso apoyo en el proceso de revisión y registro de ésta obra.

Al Mtro. Luis Rivera Novoa, revisor de los artículos en inglés.

## **DEDICATORIA**

A las futuras generaciones, a quienes lamentablemente hemos comprometido y agotado su cuota de recursos naturales que les correspondía.

A las generaciones presentes, como una llamada de emergencia climática, que permitan mejorar los actuales patrones de conducta y de consumo.

Todos los trabajos incluidos en el presente libro, fueron sometidos a un arbitraje por pares.

# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1

Plasma Activated Water for enhancing agriculture production in Climate Change.  
Diana Guadalupe Gutiérrez León & Tomás Serrano Ramírez

## CAPÍTULO 2

Consideraciones de estudio para aprovechar la energía eólica y combatir el cambio climático.  
Francisco Javier Santander Bastida

## CAPÍTULO 3

Impacto del cambio climático en la infraestructura carretera en México.  
Ignacio Ruíz Mejía

## CAPÍTULO 4

Identificar el tipo de partículas suspendidas en el aire de la ciudad de Celaya y su efecto en la salud.  
Jesús Chihuaque Alcantar, Carlos Alberto Rodríguez Castañón, Rodrigo Alonso Esparza Muñoz  
& Arturo Mandujano Nava

## CAPÍTULO 5

El reciclaje de residuos como fuente de energía y reducción de emisiones de GEI: un caso de estudio.  
María Cristina Castañón Bautista, Alicia Ravelo García, Gerardo César Díaz Trujillo & Eric Efrén Villanueva Vega

## CAPÍTULO 6

Efectos del cambio climático ante la salud.  
Fernando Martínez Barroso & Edith Castañón Ramírez

## PRÓLOGO

El clima que se tiene en el planeta tierra es el óptimo para el desarrollo de cualquier tipo de vida, y es producto de la interacción entre la atmósfera, océanos, capas de hielo, continentes, seres vivos, y el sol como fuente principal de energía. De manera natural, en la atmósfera se encuentra una capa de Gases de Efecto Invernadero (GEI) formada por vapor de agua, dióxido de carbono, ozono y metano principalmente, permiten la entrada de la radiación solar para que se caliente la superficie terrestre, creando un efecto invernadero y manteniendo la temperatura promedio en 14.6°C, sin esta capa de gases, la tierra sería en promedio 30°C más fría. El clima lo conforma la temperatura, lluvia, humedad y el viento de cada región, y su variación depende de la latitud geográfica, altitud, distancia del mar, el relieve, la dirección del viento y las corrientes marinas.

Es llamado cambio climático a la variación del clima de manera natural y que persiste por largos periodos de tiempo. En la historia del planeta ha ocurrido en diversas ocasiones cambios en el clima, debido a variaciones en la órbita terrestre, cambiando la cantidad de energía solar que recibe la tierra ocurriendo cada miles y millones de años. Pero en la actualidad, el cambio climático es debido a las actividades humanas y en periodos de tiempo cortos. Las diversas actividades que se realizan para cubrir las necesidades humanas de energía y alimentación principalmente han modificado la composición atmosférica, aumentando la cantidad de GEI alterando el clima. El cambio climático ha generado el aumento de la temperatura global en la atmósfera y océanos, causando temperaturas extremas, derretimiento de los glaciares, cambios en las temporadas de lluvia, sequías extremas, inundaciones, aumento del nivel del mar, cambio en la distribución de especies, desacoplamiento de procesos biológicos, acidificación de los océanos, intensidad y frecuencia de tormentas y huracanes.

En México, la temperatura promedio ha aumentado 0.85°C en el último siglo, las lluvias en ocasiones se adelantan y otras se atrasan, afectando principalmente a la agricultura de temporal, ocurren eventos extremos como lluvias torrenciales y sequías, en la Península de Yucatán los eventos fríos se han incrementado, ha cambiado el patrón de floración de algunas plantas, o de la reproducción y nacimiento de algunos animales, los huracanes han incrementado en intensidad, el número de días fríos está descendiendo y el de noches cálidas aumentando, al igual que el nivel del mar, afectando la llanura costera tamaulipeca, las llanuras y pantanos tabasqueños, así como también la costa de la Península de Yucatán, además los glaciares de montaña se están derritiendo.

En el 2015 el mundo se comprometió mediante el Acuerdo de París, a limitar el aumento de la temperatura global del planeta en menos de 2°C durante este siglo, e incluso un grupo de países entre ellos México, propuso limitarla a 1.5°C. Para lograr este objetivo global, cada país estableció sus metas al año 2030 de acuerdo a sus posibilidades para disminuir en un 22% las emisiones GEI y en 51% las de carbono negro, conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas, lograr una tasa cero de deforestación, generar alertas tempranas de prevención ante eventos climáticos extremos, reducir la vulnerabilidad de la población, los ecosistemas y la infraestructura ante el cambio climático. Hoy en día, México cuenta con la Ley General de Cambio Climático en el que se definen los instrumentos políticos, modalidades de planeación y arreglos institucionales. También se cuenta con el establecimiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), que genera e integra conocimiento técnico y científico para la toma de decisiones para la mitigación y adaptación al fenómeno, también se cuenta con la Estrategia Nacional de Cambio Climático y con los programas transversales de Cambio Climático para los tres órdenes de gobierno.

El cambio climático no es exclusivamente un problema ambiental, es un tema que afecta el bienestar social, económico y la seguridad, por lo que todos somos parte de él. La participación de la ciencia y la tecnología es

importante en la generación de conocimiento y nuevos productos que favorezcan el bienestar de la población en el país y en la comunidad internacional, encaminando esfuerzos a la lucha frente al cambio climático en la reducción de emisiones, disminuir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas, contribuyendo al desarrollo sustentable. La generación nacional de GEI está distribuida en ocho sectores, siendo el transporte el principal generador con una contribución del 26.2%, seguido de la generación de energía eléctrica con un 19%, la industria un 17.3%, refinación del petróleo 12.1%, la agricultura con un 12%, uso del suelo 4.9%, los residuos 4.6% y lo residencial con un 3.9%. Por lo anterior, la investigación de mecanismos, equipos y tecnologías que tienen por objeto evitar, reducir o controlar emisiones, así como promover prácticas de eficiencia energética se presentan en esta obra.

La Universidad Politécnica de Guanajuato en su filosofía institucional, resalta el compromiso de formar personas bajo un modelo educativo basado en competencias y programas de calidad, así como contribuir con los sectores productivos a través de programas, servicios tecnológicos y educación continua para participar en el desarrollo económico y social sustentable del país. La institución cuenta con una licenciatura, nueve ingenierías y cuatro maestrías con programas educativos certificados por: Los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES) y el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI). La Universidad cuenta con ocho líneas de investigación, coordinadas por la Subdirección de Investigación, Posgrado e Internacionalización para desarrollar, gestionar e impulsar proyectos de investigación, innovación, desarrollo y transferencia tecnológica. Éste libro es producto de un trabajo multidisciplinario entre investigadoras e investigadores inmersos en diversas líneas de estudio sobre el cambio climático: energía eólica, transporte, salud, agricultura, calidad del aire, reciclaje de residuos, etc. No se pueden ignorar las evidencias científicas que demuestran la alteración del ambiente, el cambio climático es una verdad y su discusión es irrefutable.

*Dra. Catalina González Nava*  
*Profesora Investigadora*  
*Universidad Politécnica de Guanajuato*

**SEIS VERDADES CIENTÍFICAS  
SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

## **CAPÍTULO 1**

# **PLASMA ACTIVATED WATER FOR ENHANCING AGRICULTURE PRODUCTION IN CLIMATE CHANGE**

*Diana Guadalupe Gutiérrez-León<sup>1</sup>  
Tomás Serrano-Ramírez<sup>2</sup>*

## INTRODUCTION

According to the National Institute of Statistics and Geography (INEGI, 2015), population in Mexico has increased 49% since 1990, reaching about 127 million people in 2020, and reach 150 million in 2050. The major challenge facing agriculture in Mexico in upcoming years, is to guarantee food security for the growing population. In the past, strategies such as the improvement in crop yield per unit area of land cultivation or the increase of sowed area, were enough to satisfy the agricultural needs. Nevertheless, due to Climate Change and the reduction of land availability for cultivation, other strategies must be implemented in order to guarantee, the food security for next generations.

Agriculture is very receptive to Climate Change and despite technological breakthroughs, such as: plant improvements, genetically modified crops and irrigation systems, climate is still a crucial factor in crop efficiency. In agreement with The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014), the crop productivity in low latitudes of the planet, especially in seasonal dry and tropical regions, would diminish by the rise of temperature (1.0 – 2.0°C) and the reduction of precipitation as well as for a greater recurrence of extreme events, such as floods and droughts respectively.

Mexico is especially vulnerable to the effects of Climate Change due to factors such as latitude (between 15° and 32°), its location between two oceans, the orography and for its weak economic structure. The north is being impacted by droughts that can be seen in the states of Coahuila, Chihuahua, Durango and Zacatecas, in which the rise of temperature with the presence of aridity have generated significant losses in the production of maize and beans (FAO & SAGARPA, 2014). At the same time, the south is being affected by floods that can be seen in the states of Oaxaca, Guerrero and Chiapas in which, the rise of temperature in conjunction with a significant precipitation, tend to produce a negative effect in the production of beans and maize crop (Moreno-Sánchez & Urbina-Soria, 2008).

Consequently, it is necessary to continue with the development of concrete actions in agriculture, for mitigation and adaptation to the Climate Change, to ensure the food security for Mexican population. One of the greatest challenges in Mexico due to Climate Change is not only to maintain the yield for essential crops such as beans and maize but also the rise of the yield with less water as is forecasted (Turrall *et al.*, 2011).

---

<sup>1</sup> Diana Guadalupe Gutiérrez-León, PhD in Mechanical Engineering by Universidad de Guanajuato. Currently, she is Full-Time Profesor in Robotics Engineering Department, Universidad Politécnica de Guanajuato.

<sup>2</sup> Tomás Serrano-Ramírez, Master in Electrical Engineering by Universidad de Guanajuato. Currently, he is Full-Time Profesor in Automotive Engineering Department, Universidad Politécnica de Guanajuato.

## CLIMATE CHANGE: SCIENTIFIC PERSPECTIVE

Climate Change constitutes the most important and serious threat of our time by its influence on biogeochemical cycles (Rast *et al.*, 2014; Riojas-Rodríguez *et al.*, 2018): Carbon is a dynamic component of Earth planet; its reservoirs are in the ocean, the terrestrial surface is in the smallest proportion, in the atmosphere. Carbon flow is essential for life; plants take it in the form of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) from terrestrial biosphere activity to carry out photosynthesis, in the ocean. Carbon is exchanged to ensure a balance by its storage and can be used for biological processes associated to marine activity (Post *et al.*, 1990). Nevertheless, since the Industrial Revolution, CO<sub>2</sub> concentration has widely increased in the atmosphere due to human activities related with the extensive removal and burning of fossilized organic matter (used as fuels: coal, oil and gas) by many productive sectors, agriculture and livestock labor and, disturbance associated with large-scale deforestation, land-clearing and soil degradation (Hardy, 2003; Octaviano-Villasana, 2016). Therefore, CO<sub>2</sub> has become in the most important anthropogenic greenhouse gas (EPA, 2018; EEA, 2019).

As reported by IPCC (2014), since 1970, at global scale the growth of CO<sub>2</sub> emissions has increased by about 90%, corresponding 78% to activities associated with industry; followed by deforestation and agriculture. In addition, World wide main contributor of non-CO<sub>2</sub> emissions (methane [CH<sub>4</sub>], nitrous oxide [N<sub>2</sub>O] and synthetic chemicals) is the last-mentioned productive sector, according to the year 1990 will increase up to 46% by 2020 (EPA, 2006; EPA, 2019).

CO<sub>2</sub>, in conjunction with CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and other chemical substances, is able to absorb and re-radiate solar energy that reaches the atmosphere, warming the surface of the Earth. One of the consequences of an overproduction of this gas is the Global Warming, which is associated to important variations with the circulation of water in the atmospheric system, causing droughts, flooding, extreme frost and heatwaves, where they did not exist before. These climate changes are attributed to the alteration in precipitation and evaporation processes associated to temperature rises (EPA, 2018).

Fluctuations of environmental patterns and the occurrence of extreme and abnormal events together with overpopulation imply new challenges as in the case of agriculture sector.

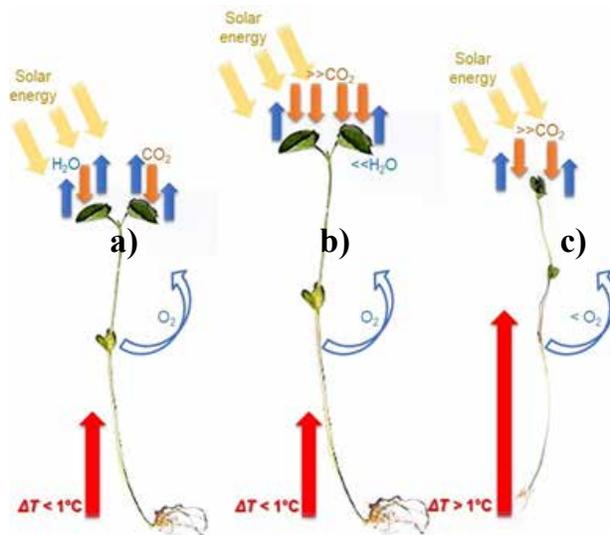
## CO<sub>2</sub>-AGRICULTURE ATTACHMENT

In vegetation, CO<sub>2</sub> concentrations act like a fertilizer due to the increase of photosynthetic efficiency (Figure 1a): higher conversion of sun light, water and CO<sub>2</sub> in nutrients required by plants and, in oxygen for human being (Sydney & Dollison, 2019). Also, transpiration process with great CO<sub>2</sub> concentrations generates a major retention of water because the plant does not require opening its biological structures (stomata) by long periods of time to perform capture of atmospheric CO<sub>2</sub>, avoiding water loss (Reiny, 2016; Sydney & Dollison, 2019). This process is enhanced when temperature rises (Figure 1b).

Nevertheless, the Food and Agriculture Organization mentioned that, when temperature exceeds an optimum, modification of rates related with respiration and evapotranspiration is carried out, causing plant death. Because of high CO<sub>2</sub> levels and intensification of temperatures in short periods of time (Figure 1c), the possibility of taking advantage of this mitigation benefit is not validated (Turrall *et al.*, 2011).

Furthermore, recent studies had been carried out under higher CO<sub>2</sub> concentrations and a temperature rise of 1.5°C, finding enhancements in yields of maize and potato, corresponding to 45.7% and 11% respectively (Singh *et al.*, 2013; Abebe *et al.*, 2016). Nonetheless, Van Vuuren *et al.* (2011) mentioned that, under conditions related with high CO<sub>2</sub> concentrations and temperature rises, as is expected by 2080 (568-590 ppm and 2.3-3.3 °C), protein content as well as micronutrients and B vitamin for some crops does not correspond to the usual values determined for cereals (Myers *et al.*, 2014; Porter *et al.*, 2014; and Rosenzweig *et al.*, 2014), this condition is produced by stress because there is no availability of nitrogen (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018).

Figure 1. Possible scenarios for plant: a)  $CO_2$  concentrations and temperature at this time; b) high  $CO_2$  concentrations, no significant increment in temperature respect to registered today and c) intensification in high level  $CO_2$  concentration and increment in temperature.



Source: Own elaboration

turning it into the most demanding productive sector of water source; a according to its efficiency of irrigation, it corresponds to 55% (water used by crop), which can be obtained from surface water, groundwater, rainwater and wastewater treatment (CDCP, 2016).

The effects generated by the overpressure of water extraction involves modification in the distribution of zones to carry out agriculture production due to alterations in moisture content and, erosion of soil as well as timing of seasons (Kurukulasuriya & Rosenthal, 2003). Resistance of plants depends of factors such as their response to heat stress. In agreement with Walthal et al. (2013), vulnerability associated to the crop production is due to instability of water supply mainly by erratic rainfall as well as in the scarcity of the vital source in groundwater and freshwater reservoirs in a safe way. Currently, this condition is affecting to crop productivity; in Mexico, in its monthly bulletin about bean crop production, Ministry of Agriculture and Rural Development (SADER), displays the following information (SIAP, 2020):

Until December (2019), for the spring-summer cycle, the harvested area was 938,370 ha, 284,868 ha less (23.3%), in relation to the previous year. Considering that, the production obtained in the cycle was of 552,691 ton; 231,338 ton less (29.5%), in comparison with the same month of its previous cycle (784,028 ton).

The entities identified with a significant decrease in their production are: Zacatecas (leading producer) with 118,988 ton (-31.8%), Durango 45,969 ton (-46.7%), Chihuahua 26,576 ton (-31.1%) and San Luis Potosí 20,681 ton (-73.8%), compared to the previous year. This situation is due to an increase in the disaster area by 116,288 hectares (151.3%), mainly due to drought of about 99% of the total affectations.

Additionally, an increase in indirect negative effects for health of human being are detected by conditions that benefit transmission of pests, toxins and diseases, environmental hazards due to the usage of chemical substances (fertilizers, pesticides, fungicides) and for mortality of livestock (USAID, 2017).

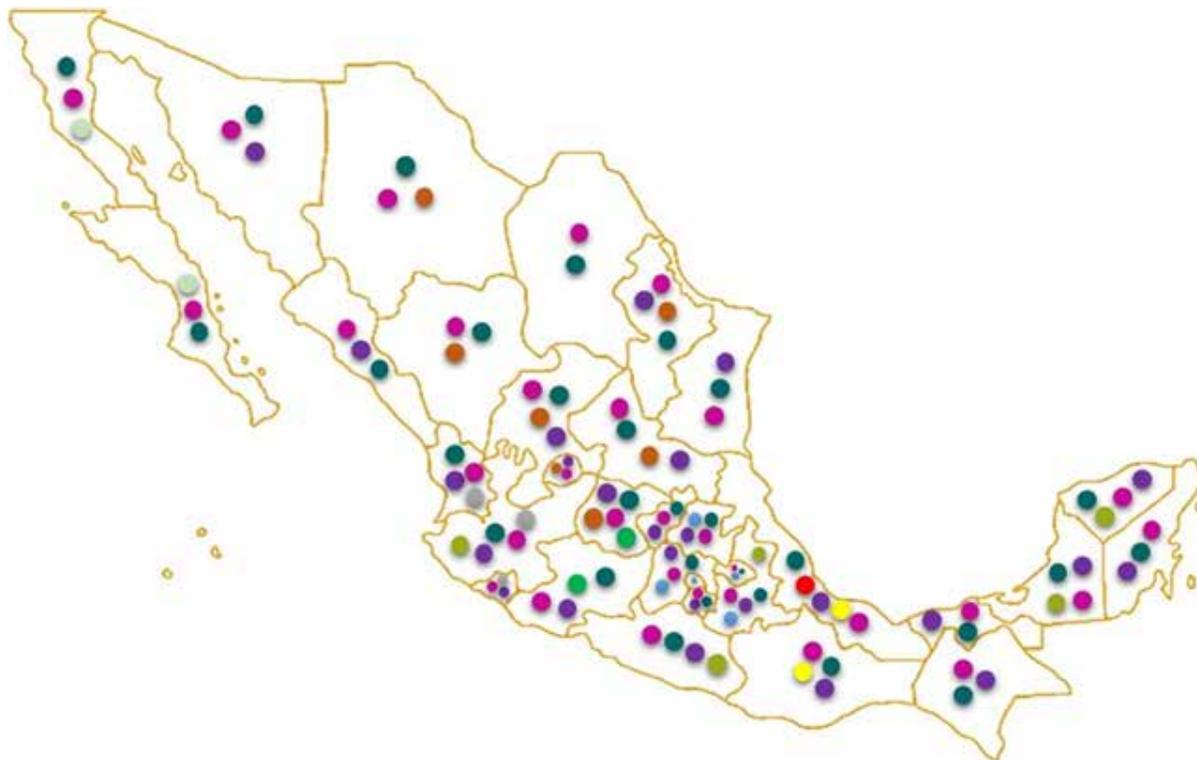
In accordance with The United States Agency-International Development (2017), agriculture sector in Mexico is based on maize production, followed by beans, coffee, sugarcane and wheat. Unusual events attributed to Climate Change had affected them as can be observed in Table 1; Figure 2 is used as a reference for location.

Table 1. Some adverse events generated by Climate Change in Mexico (2010-2020).

Year	Description of impacts generated by Climate Change
2010	A periodic behavior associated to climate variability caused the loss of 75,000 ha in crops of maize, coffee, wheat, sorghum, beans and sesame. The Ministry of Agriculture and The Mexican Council for Rural and Sustainable Development declared to Mexico as “highly vulnerable” to Climate Change, considering that 80% of the arable surface was irrigated by temporary, without possibility to apply artificial irrigation. In Veracruz [●], miles of hectares required to be sown again (Nájjar, 2010).
2011	Losses of 80% in cycle production of beans and 50% of maize, and oilseeds and vegetables (tomato, onion, potatoe) due to excess rainfall, atypical frosts [●], and droughts [●]. Additionally, livestock loss of 350,000 to 800,000 affecting seriously meat supply, breeding stock and milk. Farmers requested an emerging plan to the Federal Government of Mexico (Valadez, 2011). Federal government declared this year as the driest in seven decades (Camarena, 2012).
2012	Attributed to, deforestation, the removal of bees as well as climate effects such as droughts and floodings and plagues [●], there was a drop of 11.9% in national production of honey (Magaña-Magana <i>et al.</i> , 2016).
2013	Simultaneously, hurricane Ingrid and storm Manuel hit respectively [●], in Atlantic and Pacific ocean, causing more than 100 deaths, damages in 300 municipalities as well as losses of 613,000 ha of crops due to overflow of rivers (Tosaca-Aparicio & Villaseñor-Franco, 2015; Gaceta del Senado, 2015).
2014	Hurricane Odele caused important damages in 190 ha of crops located in 80% of the state: tomato pepper and cucumber [●].
2015	Strong devastation in land and crops was registered due to Hurricane Patricia [●]; at that moment, it was considered as the most intense tropical cyclone ever observed in the western hemisphere and the strongest in maximum sustained wind (Máxima Uriarte, 2019).
2016	SEMARNAT and INECC in Mexico develop a study about emissions and protocols to implement the practice of incomplete biomass burning related with the most important crops carried out in Mexico: sugarcane, white corn, sorghum, wheat, beans, coffee, alfalfa and cotton. They determined, this activity modifies significantly climate due to production of CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O, which interfere in balance radiation in Mexico [●]. Also, production of dangerous substances such as dioxins, suspended particles and volatile organic compounds (VOC's). High probability of fire extension exists (SEMARNAT & INECC; 2016).
2017	One of the worst droughts in 50 years was generated a high head of cattle loss by heat stress in Isthmus region [●]. By 2020, it is expected danger level rises. Consistent with projections [Climate Deheza & Mora, 2013; Federal Government of Mexico, 2015; Services Center Germany, 2015], coffee production will decline 34% if abnormalities in climate continue [USAID, 2017].
2018	INECC through its report: “Variabilidad y cambio climático” mentioned as an important effect of climate change, generation of alterations with pest, insects and yield of crop production. About 4,000,000 of productive units established in 22,000,000 ha could be affected (Enciso, 2017). In concert with FAO (Agroasemex, 2019), 40% of global production is loss by pest. 31 states of our country were under epidemiological surveillance due to <i>Tuta absoluta</i> in 273,506.10 ha [●], which generates damage to plant structures and consequently, its death (SIRVEF, 2020).
2019	Heavy hailstorms and torrential rains [●]. The International Labor Organization (United Nations) warned that, as a consequence of climate change, the increase in thermal stress in agriculture and other industrial sectors will generate a productivity loss of 80 million of jobs by 2030 (Herrera & Arteaga, 2019).
2020	SADER (Secretary of Agriculture and Rural Development) highlight the importance of the conservation of biodiversity to achieve reduction of consequences generated by climate change in agriculture sector; high temperature compromises the fertility of soils generating a lack of food (LS, 2020).

Source: Own elaboration

Figure 2. Significant impacts generated by Climate Change in Mexico in the last decade.



Source: Own elaboration

Among the strategies carried out to contribute in Climate Change mitigation and adaptation for crop production, are identified (Ortiz, 2012; EPA, 2019):

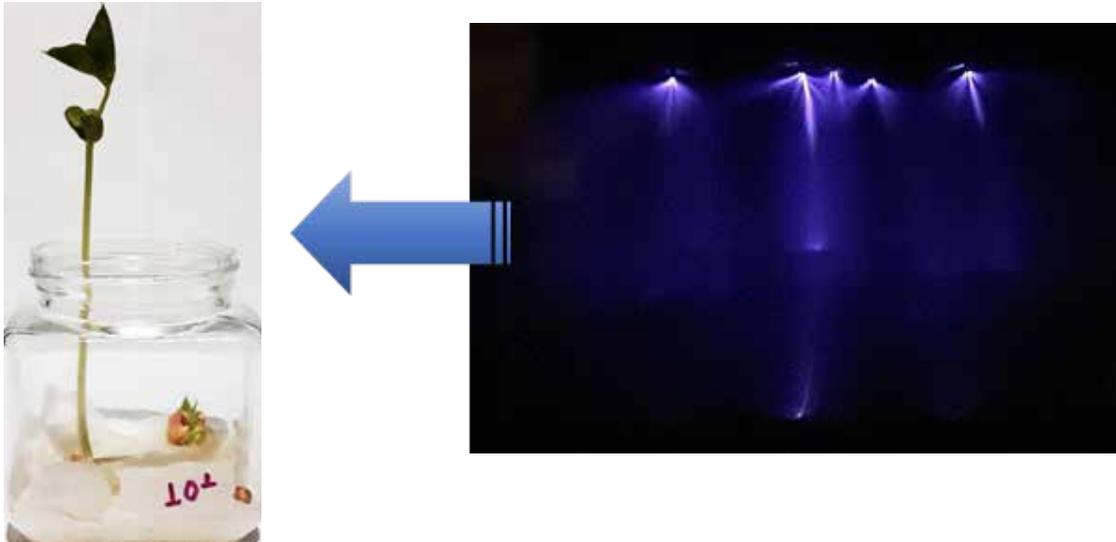
- Implementation of technologies to promote fuel-efficiency systems, as in the case of transportation.
- Manure management practices, changes in animal feeding practices.
- Reduction in the application of nitrogen fertilizers: modification of usage and increase of biomass to increase the amount of nutrients in soil.
- Development of feasible techniques to capture water and avoid the loss of soil.
- Prevention of deforestation and responsible use of soil.
- Avert practices related with burning of residues of organic matter and use them to obtain a derived product.

Based on future expectations to sustain life in planet and attending the emergent need to reduce the negative effects generated by Climate Change, the aim of this chapter is to propose the development and application of a feasible and effective treatment based on Plasma Technology to contribute in the implementation of alternatives to increase the crop yield in a sustainable way. In particular, in this work the bean (*Phaseolus vulgaris L.*) crop was considered to apply Plasma Activated Water due to it has been a basic element for Mexican diet since pre-Hispanic times; however, its yield has stagnated due to the consequences of Climate Change.

## EXPERIMENTAL

Activated Water (Aw) is produced through of the application of Non-thermal plasma to distilled water using a Plasma Reactor with a volumetric capacity of 110 cm<sup>3</sup>. The experimental set up is constituted by a Direct Current (DC) supply for applying high voltage to water at atmospheric conditions in the following periods of time: 150 s, 300 s, 450 s and 600 s. In Figure 3, an image of plant irrigated with Aw at 600 s is showed, as well as the applied plasma.

Figure 3. Plant irrigated with water activated by plasma.



Source: Own elaboration

Then, measurement of pH is taken from Aw and it is emptied to a glass vessel containing cotton with seeds of beans. This seed, in concert with maize and wheat, is one of the most important crops for national consumption and it, in face to Climate Change, exhibits high microbiological vulnerability and significant reductions in performance due to temperature rises, decrement of precipitations as well as extreme weather events such as droughts, flooding, hurricanes and fires (FAO & SAGARPA, 2014).

Every two days, Aw is distributed to beans again and its growth behavior was evaluated by 15 days at environmental conditions during winter season.

## RESULTS

At the end of the Non-thermal Plasma application to distilled water, a variation in pH value was detected at 150 s; it increased 0.1 ( $7.2 \pm 0.1$ ). Then, when the time of application raised to 300 s, a reduction in the measurement was generated ( $7.0 \pm 0.1$ ). No modification of this value was detected despite water was under the influence of plasma during higher periods of time (450 s and 600 s).

Germination time required by beans irrigated by Aw was similar to pattern seeds (3 days); however, the plant used as a reference showed slightly superior height; however, when the period of evaluation finished, important variations were identified in the development of structures according to the plants irrigated with Aw as can be observed in Figure 4.

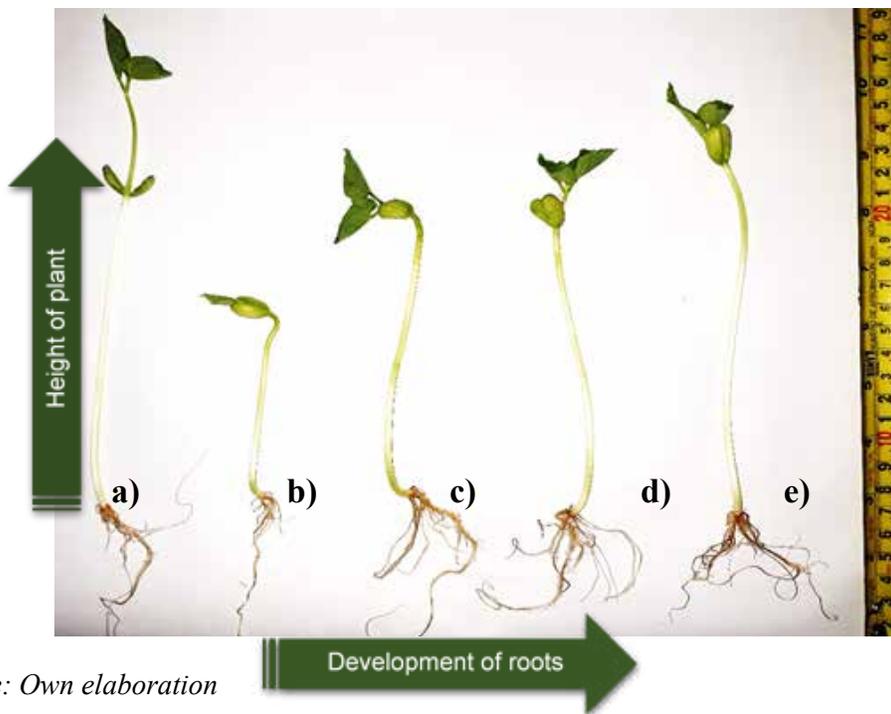
The pattern plant reached an average height of  $275 \pm 16$  mm, corresponding 31% of this, to the root height.

It was  $3.05 \pm 0.01$  mm width, the thinnest developed structure (Figure 4a). According to Figure 4b, when the irrigation was carried out with  $A_w$  at 150 s, the height was  $170 \pm 10$  mm, 62% shorter than plant taken as a reference; however, the stem maintains its width.

When the plant was irrigated with water activated by 300 s (Figure 4c), root height was 130 mm, 52% higher respect to  $A_w = 150$  s; while the complete plant was  $270 \pm 11$  mm. Also, a thickening increment of 2% was detected in its stem in relation to the last treatment applied as well as a major density and symmetry in root growth. This feature starts to be a positive trend because water activated by periods of 450 s (Figure 4d) and 600 s (Figure 4e) have the highest root size,  $155 \pm 6$  mm. Also, increments in stem width were determined, for  $A_w$  at 450 s the value corresponded to 3.2 mm, 5% higher than reference plant, while  $A_w$  at 600 s, the plant achieved 13%.

These results are in agreement with researchs carried out by Dobrin et al. (2015), Lui et al. (2018), Zhou et al. (2019), in which by means of non-thermal plasma application to seeds of wheat, mung bean, radish and mustard were determined positive effects in relation to the size plant, development of roots as well as sterilization effect to avoid the contact with pathogen bacteria and viruses.

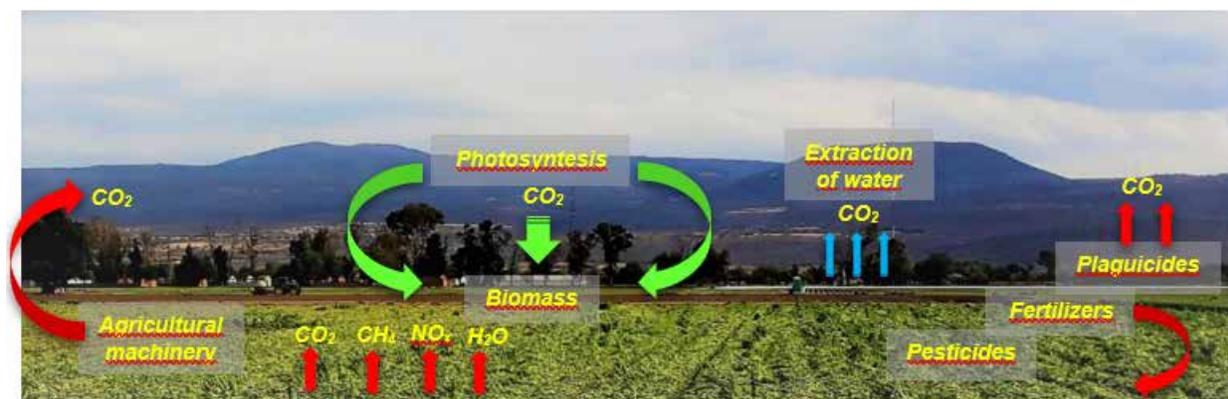
Figure 4. Growth of plants irrigated with a) distilled water for Pattern plant;  $A_w$  at b) 150 s, c) 300 s, d) 450 s and e) 600 s.



Source: Own elaboration

From the perspective of this work,  $A_w$  by plasma during 450 s and 600 s, gives important features to the plant because it allows, under adverse environmental conditions as generated by Climate Change, having higher resistance to support stress and getting better ability to take its nutrients and water to achieve a correct development and growth of its structures and products. Also,  $A_w$  has attributed antimicrobial properties; hence, it could help in the reduction of the extensive production and consumption of plaguicides, pesticides and other chemical products used extensively in the implementation of agricultural activities. In addition in Figure 5 the indirect effects generated are observed by the consumption of electrical energy for water extraction and fuels required by agricultural machinery, that causes significant damages in water, soil, air and life. These effects are able to be reduced by Plasma Activated Water.

Figure 5. Identification of activities in agriculture, able to be reduced with the irrigation with Plasma Activated Water.



Source: Own elaboration.

## CONCLUSIONS

Climate Change is a dynamic and dangerous phenomenon that is affecting significantly many productive sectors at global scale, among them, the agriculture. This activity is vital for human being; however, in the last years it has been significantly exploited due to the population growth, degradation of environment and unmeasured consumption of resources. Nowadays, it is needed to take actions urgently to avoid a food crisis and implement sustainable technologies. In this task, Plasma Activated Water is generated to carry out the irrigation of *Phaseolus vulgaris* L. (beans) determining it, as a feasible practice to benefit the plant structure (root, stem) and its development to resist adverse conditions such as floodings, droughts, hurricanes. Also, Plasma Activated Water contributes in the inactivation of microorganisms able to affect either seed germination and plant.

Other negative effects can be prevented during the implementation of agriculture such as: reduction in the exploitation of fossil fuels for agricultural machinery, production of energy for water extraction and, synthesis and usage of chemical substances to obtain higher yields.

## REFERENCES

- Abebe, A., Pathak, H., Singh, S. D., Bhatia, A., Harit, R. C., Kumar, V. (2016). Growth, yield and quality of maize with elevated atmospheric carbon dioxide and temperature in north-west India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 218, 66–72.
- Agroasemex (2019). *Las plagas producen pérdidas de hasta un cuarenta por ciento en la producción agrícola, revela estudio de la FAO*. [Published: April 12, 2019]. URL: <https://www.gob.mx/agroasemex/articulos/las-plagas-producen-perdidas-de-hasta-un-40-por-ciento-en-la-produccion-agricola-revela-estudio-de-la-fao?idiom=es>
- Camarena, S. (January 20, 2012). La sequía abrasa México. *El País*. URL: [https://elpais.com/internacional/2012/01/20/actualidad/1327098885\\_729925.html](https://elpais.com/internacional/2012/01/20/actualidad/1327098885_729925.html) (online version).
- Centers for Disease Control and Prevention, CDCP (2016). *Agricultural water* [Publication date: October 11, 2016]. URL: <https://www.cdc.gov/healthywater/other/agricultural/index.html>
- Climate Services Center Germany (2015). *Climate Fact Sheet: Mexico*.
- Deheza, E. & Mora, J. (2013). Climate Change, Migration and Security Best-Practice Policy and Operational Options for Mexico.
- Dobrin, D., Magureanu, M., Bogdan-Mandache, N., Lonita, M. D. (2015). The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 255-260.
- Enciso, L. A. (February 7, 2017). Cambio climático puede causar bajo rendimiento y plagas a la agricultura. *La Jornada*. URL: <https://www.jornada.com.mx/2017/02/07/sociedad/031n3soc> (online version).

- Environmental Protection Agency, EPA (2006). *Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020*. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000ZL5G.PDF?DockKey=2000ZL5G.PDF>
- Environmental Protection Agency, EPA (2018). *Greenhouse gases. Report on the Environment* [April 23, 2018]. URL: <https://www.epa.gov/report-environment/greenhouse-gases>
- Environmental Protection Agency (2019). *Greenhouse gas emissions, Overview of greenhouse gases* [Last updated: April 11, 2019]. URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>.
- European Environment Agency, EEA (2019). *Atmospheric greenhouse gas concentrations* [Last modified: December 5, 2019]. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment-1>
- Federal Government of Mexico (2015). Mexico's Intended Nationally Determined National Contribution.
- Gaceta del Senado (2015). *Iniciativa con proyecto de decreto por el que se reforman los artículos 21, 29, 64 y 74 de la Ley General de Protección Civil*. [Published: April 16, 2015] URL: [https://www.senado.gob.mx/64/gaceta\\_del\\_senado/documento/53994](https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/53994)
- Hardy, J. T. (2003). *Climate change: causes, effects, and solutions*. John Wiley & Sons Ltd. England. URL: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TKOhTRyFV1kC&oi=fnd&pg=PR9&dq=causes+of+climate+change&ots=DdBl>
- Herrera, A., Ortega, R. (July 2, 2019). Cataclísmicos, los efectos climáticos. *El Sol del Bajío*, El Occidental, Reuters y AFP. URL: <https://www.elsoldemexico.com.mx/doble-via/ecologia/cataclismaticos-efectos-climaticos-cambio-climatico-alerta-planeta-tierra-catastrofe-3841815.html> (online version).
- Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijioka, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, G. Zhou (2018). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2015). *Población* URL: [https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/default.html#Informacion\\_general](https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/default.html#Informacion_general)
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kurukulasuriya, P., Rosenthal, S. (2003). *Climate change and agriculture. A review of impacts and adaptations*. The World Bank Environment Department. United States. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/16616/787390WP0Clima0ure0377348B00PUBLIC0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Liu, B., Honnorat, B., Yang, H., Arancibia, J., Rajjou, L., Rousseau, A. (2018). Non-thermal DBD plasma array on seed germination of different plant species. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52(2), 025401.
- LS., E. (January 25, 2020). *Verónica Bunge de Sader, habla sobre cómo afecta el cambio climático al campo*. URL : <https://acustiknoticias.com/2020/01/veronica-bunge-de-sader-habla-sobre-como-afecta-el-cambio-climatico-al-campo/> (online version).
- Magaña-Magaña, M. A., Tavera-Cortés, M. E., Salazar-Barrientos, L. L., Sanginés-García, J. R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1103-1115.
- Máxima-Uriarte J. (July 27, 2019). *Huracán Patricia*. URL: <https://www.caracteristicas.co/huracan-patricia/> (online version).
- Moreno Sánchez A. R., Urbina Soria J. (2008). Impactos sociales del cambio climático en México. INE-PNUD: México D.F.
- Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D. B., Bloom, A. J., Carlisle, E., Dietterich, L. H., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N. M., Nelson, R. L., Ottman, M. J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K. A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M., Usui, Y. (2014). Increasing CO2 threatens human nutrition. *Nature*, 510(7503), 139–142.
- Nájar, A. (2010). El cambio climático daña cosechas en México. BBC Mundo. URL: [https://www.bbc.com/mundo/america\\_latina/2010/02/100210\\_1645\\_mexico\\_cambio\\_climatico\\_cosechas\\_alf](https://www.bbc.com/mundo/america_latina/2010/02/100210_1645_mexico_cambio_climatico_cosechas_alf) (online version)
- Octaviano-Villasana, C. (2016). *El cambio climático y la agricultura*. Diálogos México-Alemania por un futuro sustentable. La agricultura. Retos ante la seguridad alimentaria y el cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA (2014). México: *El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4093s.pdf>
- Ortiz, R. (2012). *El cambio climático y la producción agrícola*. Banco Interamericano de Desarrollo, Unidad de Salvaguardias Ambientales (VPS/ESG). Notas técnicas ESG-TN-383. URL: <http://www.keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Economia-Desarrollo/99.pdf>

- Porter, J. R. (2014). Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. March, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White Field (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 485–533.
- Post, W. M., Peng, T.-H., Emanuel, W. R., King, A. W., Dale, V. H., DeAngelis, L. (1990). The global carbon cycle. *American Scientist*, 78, 310-326.
- Rast, M., Johannessen, J., Mauser, W. (2014). *Review of understanding of Earth's hydrological cycle: Observations, theory and modelling*. The Earth's Hydrological Cycle. Springer. Library of Congress Control Number: 2014936873. URL: <https://books.google.com.mx/>
- Reiny, S. (2016). NASA Study: Rising Carbon Dioxide Levels Will Help and Hurt Crops, NASA, 3 May, 2016. Last updated: August 6, 2017. URL: <http://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasa-study-rising-carbon-dioxide-levels-will-helpand-hurt-crops>.
- Riojas-Rodríguez, H., Quezada-Jiménez, M. L., Zúñiga-Bello, P., Hurtado-Díaz, M. (2018). Climate Change and Potential Health Effects in Mexican Children. *Annals of Global Health*, 84(2), 281–284.
- Rosenzweig, C., Solecki, W. (2014) Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: Lessons from a first-responder city. *Global Environmental Change*, 28, 395–408.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SIAP (2020). *Boletín mensual de producción de frijol*. URL:[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/529635/Boletin\\_mensual\\_de\\_producci\\_n\\_frijol.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/529635/Boletin_mensual_de_producci_n_frijol.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016). *Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) y contaminantes de vida corta, metano (CH<sub>4</sub>) y carbón negro por prácticas de quema agrícola. Informe final-Mitigación del cambio climático*. URL:[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores\\_de\\_Emision\\_de\\_Quema\\_Agr cola\\_CGMCC\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores_de_Emision_de_Quema_Agr cola_CGMCC_2016.pdf)
- Singh, B.P., V.K. Dua, P.M. Govindkrishnan, and Sharma, S. (2013). Impact of Climate Change on Potato. *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies*, 125–135.
- Sistema Integral de Referencia para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (2020). Infografía: Palomilla del tomate (Tuta absoluta) URL: <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/>
- Sydney, A., Dollison, M. (2019). Climate change, agriculture, and adaptations: Policy. Recommendations for conservation agriculture. *Climate and Society*, 1(1).
- The World Bank (2017). *Water in agriculture*. [Publication date: July 12, 2017]. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>
- Tosaca-Aparicio, A., Villaseñor-Franco, A. (2015). Ingrid y Manuel storms in La Montaña area of Guerrero, 2013. *Emergency care, Sociedad y ambiente*, 16.
- Turrall, H., Burke, J., Faurés, J.-M. (2011). Climate change, water and food security. *FAO Water Reports* 36.
- United States Agency-International Development, USAID (2017). *Climate risk in Mexico: country risk profile*. URL:[https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/2017\\_USAID\\_Climate%20Change%20Risk%20Profile\\_Mexico.pdf](https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/2017_USAID_Climate%20Change%20Risk%20Profile_Mexico.pdf)
- United Nations Department of Public Information (2015). *UN projects world population to reach 8.5 billion by 2030, driven by growth in developing countries*. URL:<https://news.un.org/en/story/2015/07/505352-un-projects-world-population-reach-85-billion-2030-driven-growth-developing>
- Valadez, B. (2011). Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura from Milenio. [Publication date: October 4, 2011]. URL: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/508388/> (online version).
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, C., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1), 5.
- Walthall, C. L., Hatfield, J., Backlund, P., Lengnick, L., Marshall, E., Walsh, M., Adkins, S., Aillery, M., Ainsworth, E.A., Ammann, C., Anderson, C.J., Bartomeus, I., Baumgard, L.H., Booker, F., Bradley, B., Blumenthal, D. M., Bunce, J., Burkey, K., Dabney, S.M., Delgado, J.A., Dukes, J., Funk, A., Garrett, K., Glenn, M., Grantz, D.A., Goodrich, D., Hu, S., Izaurrealde, R.C., Jones, R.A.C., Kim, S.-H., Leaky, A.D.B., Lewers, K., Mader, T.L., McClung, A., Morgan, D.J. Muth, M. Nearing, D.M. Oosterhuis, D. Ort, C. Parmesan, W.T. Pettigrew, W. Polley, J., Rader, R., Rice, C., Rivington, M., Roskopf, E., Salas, W.A., Sollenberger, L.E., Srygley, R., Stöckle, C., Takle, E.S., Timlin, D., White, J.W., Winfree, R., Wright-Morton, L., Ziska, L.H. (2013). *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation*. USDA Technical Bulletin 1935. Washington, DC.
- Zhou, R., Li, J., Zhou, R., Zhang, X., Yang, S. (2019). Atmospheric-pressure plasma treated water for seed germination and seedling growth of mung bean and its sterilization effect on mung bean sprouts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 53, 36-44.
- Ziska, L. H. (2011). *Handbook on climate change and agriculture*. Agronomic studies of climate impacts and adaptation. Climate Change, carbon dioxide and global crop production: food security and uncertainty. Handbook on Climate Change and Agriculture. UK: MPG Books Group.

## **CAPÍTULO 2**

# **CONSIDERACIONES DE ESTUDIO PARA APROVECHAR LA ENERGÍA EÓLICA Y COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO**

*Francisco Javier Santander Bastida<sup>3</sup>*

## INTRODUCCIÓN

La seguridad en el abastecimiento energético, la diversificación del suministro de energía, la protección al medio ambiente para combatir el cambio climático, así como la cohesión económica y social, han sido las principales razones por las cuales la promoción del aprovechamiento y la eficiencia de las energías renovables son prioritarias en el mundo actual. Además, esto ha detonado el desarrollo y establecimiento de lineamientos para una menor dependencia de los hidrocarburos.

Para combatir el fenómeno que es responsable de provocar los gases invernadero que crean una capa apta para retener radiaciones y por ende generan un aumento de la temperatura promedio del planeta, y que este último es el responsable de los cambios climáticos que conllevan desastres en todo el mundo.

En la última década debido a los avances en la industria y la comunicación internacional, el consumo de energía se ha incrementado significativamente, se espera que para el año 2053 el consumo de energía eléctrica se duplique en comparación con el año 2008.

Hoy en día, la utilización de los recursos de combustibles fósiles de energías (causantes del cambio climático) son cada vez más restringidas, debido principalmente a la disminución en los depósitos de éste tipo de combustibles, por la amenaza al calentamiento global y por el aumento de los precios del petróleo. Por lo tanto, el aprovechamiento limpio y las fuentes de Energía Renovables (ER) se están convirtiendo en el principal tema a nivel mundial para muchos investigadores en combatir el cambio climático. En la Figura 1 se pueden observar los principales países que han invertido fuertemente en esta área, así como su capacidad instalada e inversión.

En 2012 la capacidad total instalada para la generación de energía eléctrica con ER alcanzó un total de 1,471 GW, de los cuales el 67% fue aportado por centrales de energía hidráulica y el 19% por parques eólicos. La electricidad generada por ER representó aproximadamente un 26% del total de energía eléctrica global de 5,640 GW (Lozano, 2013). Algunos de los factores que han impulsado la industria de ER para mitigar el cambio climático, en especial en los nichos de energía eólica y solar, han sido: el avance tecnológico, la disminución de costos en tecnologías, la promoción de los gobiernos para el desarrollo sustentable, entre otros factores. De 2010 a 2035, se estima que el porcentaje de participación de ER en el sector energético se incrementará de manera importante a nivel global con una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) del 27.3% (Asociación Empresarial Eólica [AEE], 2018).

---

<sup>3</sup>Francisco Javier Santander Bastida, es Doctor en Ciencia y Tecnología por parte del Centro de investigación y Desarrollo Industrial (CIDESI). Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura de la Universidad Politécnica de Guanajuato.

Figura 1. Capacidad instalada para la generación de energías renovables (Lozano, 2013).



En 2010, el 20% de la generación de electricidad provino de fuentes renovables y se estima que en 2035 esta participación será de 48%, como se puede observar en la Tabla 1.

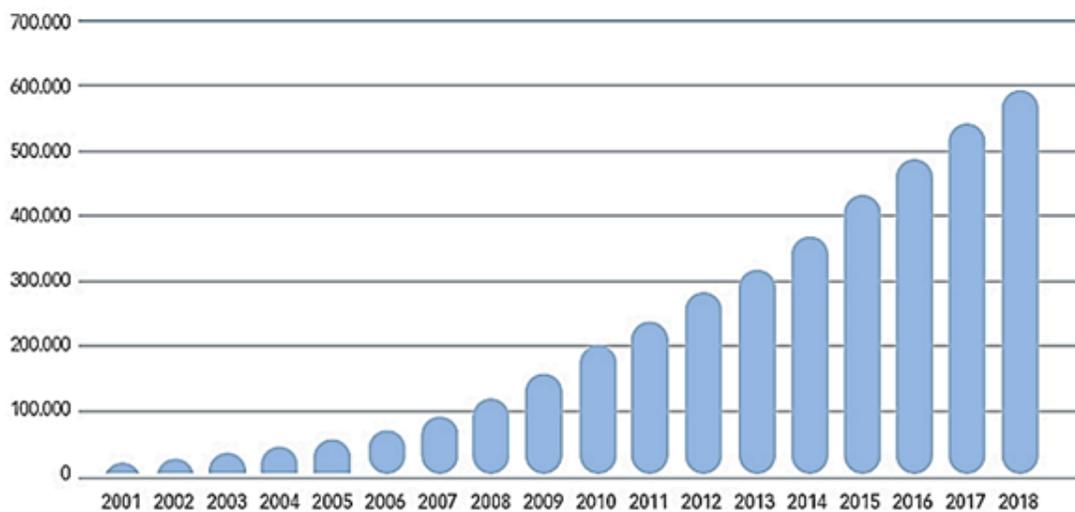
Tabla 1. Capacidad instalada por sector (Lozano, 2013).

ENERGÍA	2011	2012	2015	2020	2025	2030	2035	TMCA 2012-2035
HIDRÁULICA	970	990	1,119	1,271	1,410	1,520	1,602	61.8%
EÓLICA	238	283	358	535	703	862	1,035	27.3%
SOLAR FOTOVOLTAICA	70	100	57	110	197	294	406	24.6%
BIOMASA	72	83	75	98	134	184	244	34.0%
SOLAR DE ALTA CONCENTRACIÓN	2	3	10	17	30	52	91	2.7%
GEOTÉRMICA	11	12	16	21	27	34	42	27.9%
MAREOMOTRIZ	0	1	0	1	2	6	17	2.9%
TOTAL GLOBAL ER	1,363	1,471	1,635	2,053	2,503	2,952	3,437	42.8%
TOTAL GLOBAL DE CAPACIDAD INSTALADA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	5,360	5,640	5,952	6,581	7,186	7,867	8,613	65.5%

La poca implementación de turbinas eólicas se debió en buena parte a los altos costos de inversión y al consecuente largo periodo de recuperación del capital. En el momento en que los países industrializados se interesaron seriamente en el recurso eólico (aproximadamente hace 15 años atrás) como posible aporte a sus sistemas interconectados, los avances tecnológicos en esta área se incrementaron logrando bajar considerablemente los costos y, por ende, transformando la energía eólica en un bien interesante desde el punto de vista económico (Cueva, 2014).

La Figura 2 muestra el crecimiento que ha tenido la capacidad instalada para la producción de energía a través de turbinas eólicas.

Figura 2. Capacidad total mundial en energía eólica (AEE, 2018).



En la Tabla 2 se muestran los 10 principales países que tienen la mayor capacidad instalada de energía eólica.

Tabla 2. Top 10 en capacidad en energía eólica (AEE, 2018).

	2018
China	211.392
Estados Unidos	96.665
Alemania	59.311
India	35.039
España	23.484
Reino Unido	20.970
Francia	15.309
Canadá	12.805
Brasil	14.702
Italia	9.958
Resto del mundo	90.788

Para el caso de México, la capacidad instalada de energía eólica en operación (Tabla 3) alcanzó los 1,289 MW en 2012, de los cuales sólo el 7% es operado por la CFE (Comisión Federal de Electricidad), mientras que el resto es operado a través de concesiones bajo esquemas de autoabastecimiento, pequeños productores y productores independientes (Lozano, 2013).

Tabla 3. Centrales eólicas para la generación de electricidad en el 2012 (Lozano, 2013).

CENTRAL / PERMISIONARIO	ESTADO ACTUAL	CAPACIDAD INSTALADA (MW)	UBICACIÓN	TIPO DE SERVICIO
Oaxaca I,II,III and IV	En operación	408.0	Oaxaca	Público
La Venta I,II and III	En operación	187.5	Oaxaca	Público
Guerrero Negro	En operación	1.0	Baja California Sur	Público
Yuumil'lk	En operación	1.5	Quintana Roo	Público
-	En operación	691.1	Baja California, Chiapas y Oaxaca	Privado
Total en operación		1,289.0		

Es un hecho que la mayoría de las naciones en el mundo están tratando, en mayor o menor medida, de emplear más energías alternas, una de ellas la eólica. En México, la inversión realizada a la fecha en parques eólicos supera 6,000 millones de dólares (mdd), con más de 1,400 aerogeneradores operando (IEA, 2015). Los estados que generarán más megavatios con energía eólica se muestran en la Figura 3.

Figura 3. Estados que generarán más megavatios con energía eólica en 2018 (IEA, 2015).

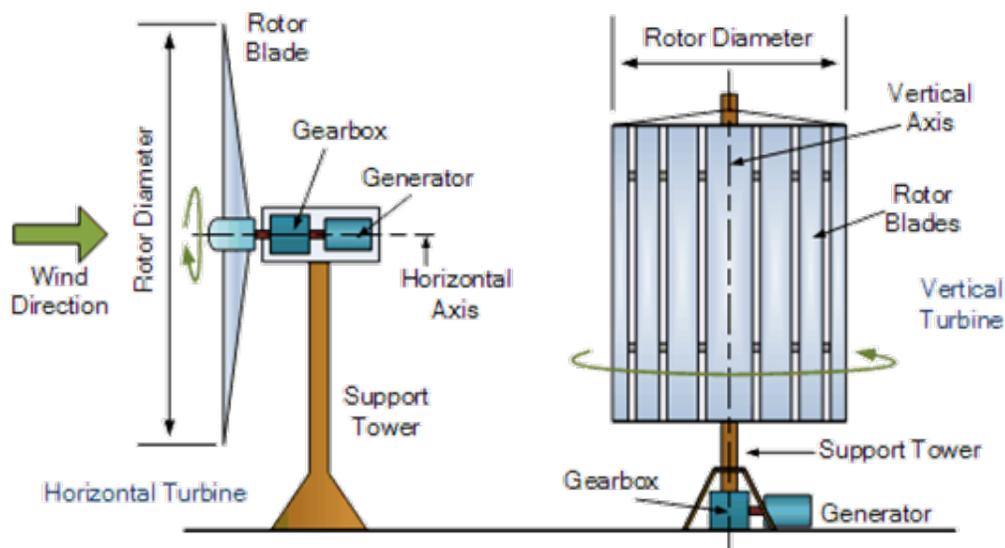


## DESARROLLO

Dentro del sector eólico, la generación de energía eléctrica se obtiene a través de un generador eléctrico que a su vez es movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, se convierte en energía mecánica a través de un sistema de transmisión mecánico, desde el rotor hacia el generador, este último normalmente un alternador eléctrico trifásico que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Existen diferentes tipos de turbinas eólicas, dependiendo de su potencia y la disposición de su eje de rotación, los de eje horizontal (HAWT) y los de eje vertical (VAWT), como se muestra en la Figura 4. El rotor de una turbina está compuesto por una o varias palas (*blades*), que son las encargadas de capturar la energía cinética del viento. Las turbinas pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

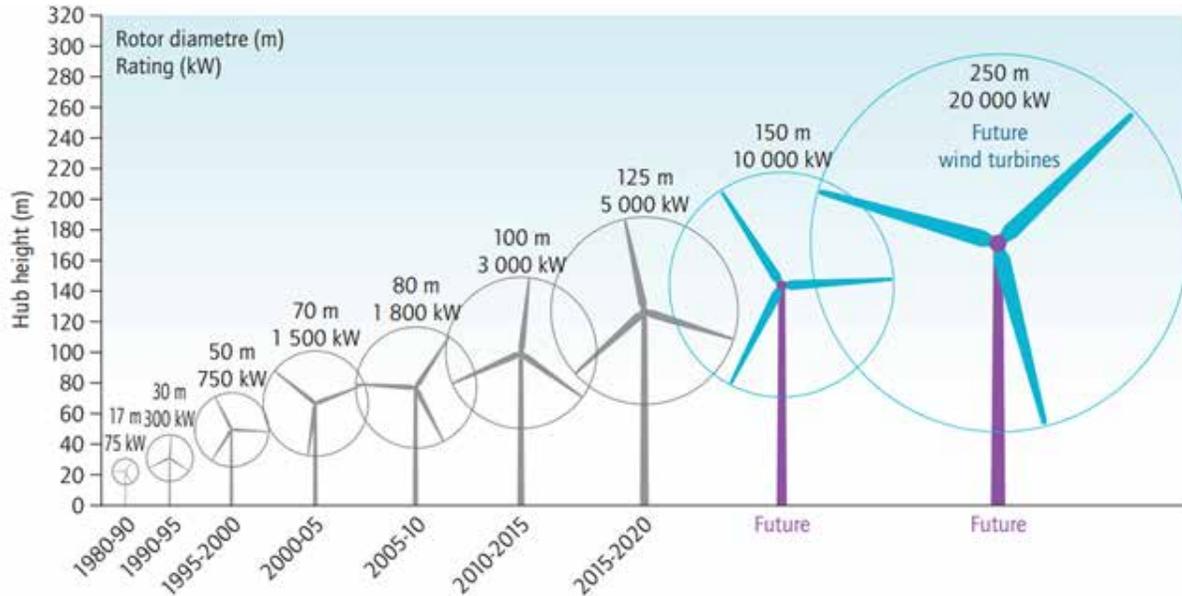
Figura 4. Tipos de aerogeneradores eólicos (Wonderful Eart, 2015).



Las turbinas eólicas tipo HAWT son las más utilizadas a nivel mundial y en las cuales se ha aplicado la mayor parte del desarrollo tecnológico. El objetivo del desarrollo de estas turbinas eólicas ha sido aumentar continuamente su capacidad de captación de la energía del viento y por consiguiente su potencia de salida, como se muestra en la Figura 5.

Se puede aumentar el tamaño de las turbinas, siempre que la tecnología de materiales lo permita, para ahorrar en costos de manufactura. Como se observa en la Figura 5, en la actualidad existen turbinas con un diámetro de rotor de hasta 150 metros, por consiguiente, la longitud de cada una de sus palas puede superar los 70 metros, es casi tan grande como la envergadura de un avión Airbus 380 (IEA, 2015).

Figura 5. Correspondencia del tamaño de una turbina eólica y su energía producida (IEA, 2015).



Al aumentar sus capacidades, se han creado varios problemas, uno de ellos es el efecto asociado al transporte de estos grandes componentes desde el sitio de fabricación, hasta el lugar de instalación. Por ejemplo, no sólo es cuestión de aumentar la longitud del vehículo para transportar las palas, sino que se tiene que modificar su estructura: la posición del centro de gravedad, aumentado su anchura, que permanezcan totalmente rígidos ante las torsiones y tener un peso muerto para garantizar que no se vuelcan cuando haya viento de través durante el transporte (Figura 6). Todo esto provoca que estos transportes sean muy sofisticados, y sobre todo aumente considerablemente los costos de logística.

Figura 6. Medio convencional de transporte para palas (Interempresas, 2013).

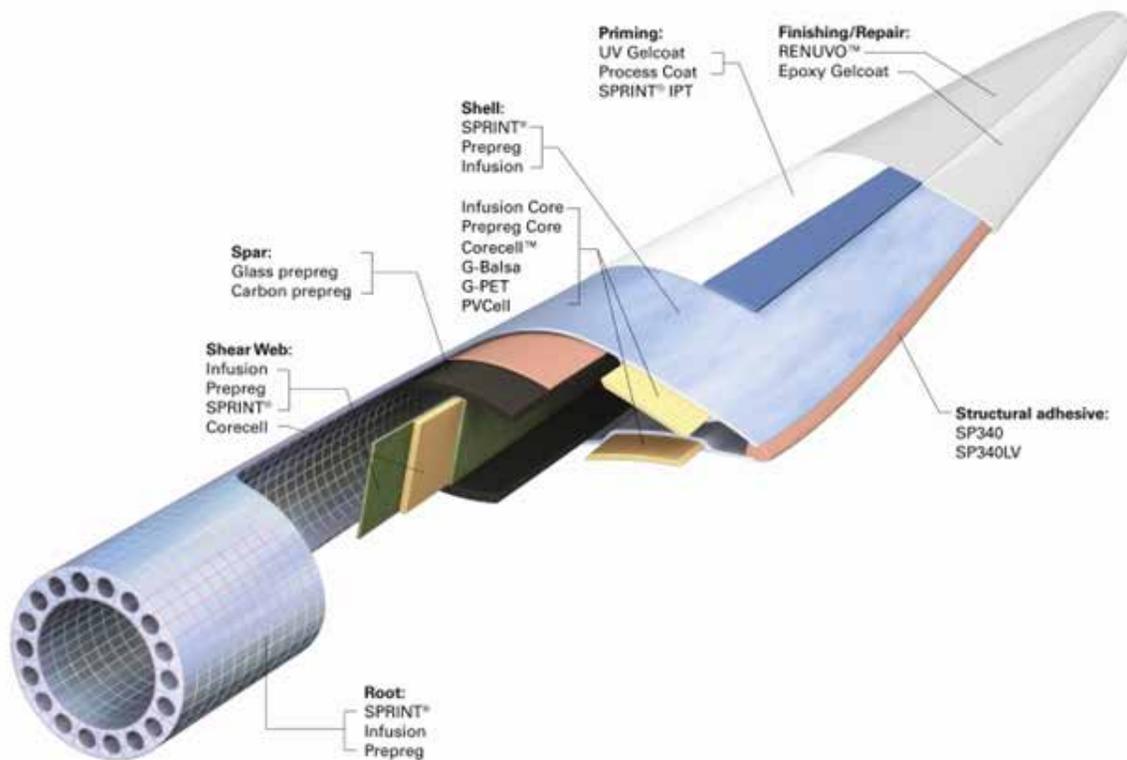


Según un reporte de la empresa TPI Composites Inc (2003), ubicada en Ciudad Juárez del Estado de Chihuahua, México, los costos de transporte representan un 7% del costo total de una turbina eólica. Lo

anterior, es debido al uso de un equipo sofisticado para transportar las palas de turbinas eólicas, ya que no sólo es cuestión de aumentar la longitud del vehículo; habría que modificar su estructura. Debido al aumento de longitud, también se debe aumentar su ancho, provocando que estos vehículos tengan sobredimensiones, lo que resulta en más gastos por los permisos especiales por exceder los lineamientos de las normas para el transporte.

Las palas de una turbina eólica deben diseñarse garantizando su resistencia estructural. La mayoría de estas palas se fabrican a base de materiales compuestos como lo son la fibra de vidrio y la fibra de carbono. Estos materiales en conjunto con otros componentes como resina epóxica, adhesivo y materiales espumosos o madera balsa, permiten que las palas tengan el menor peso posible para capturar la energía cinética del viento y poder mover el rotor de la turbina eólica. Estos materiales se utilizan en las diferentes secciones que comprenden la pala de turbina eólica (Figura 7).

Figura 7. Secciones principales de una pala de turbina eólica (Liu, 2015).

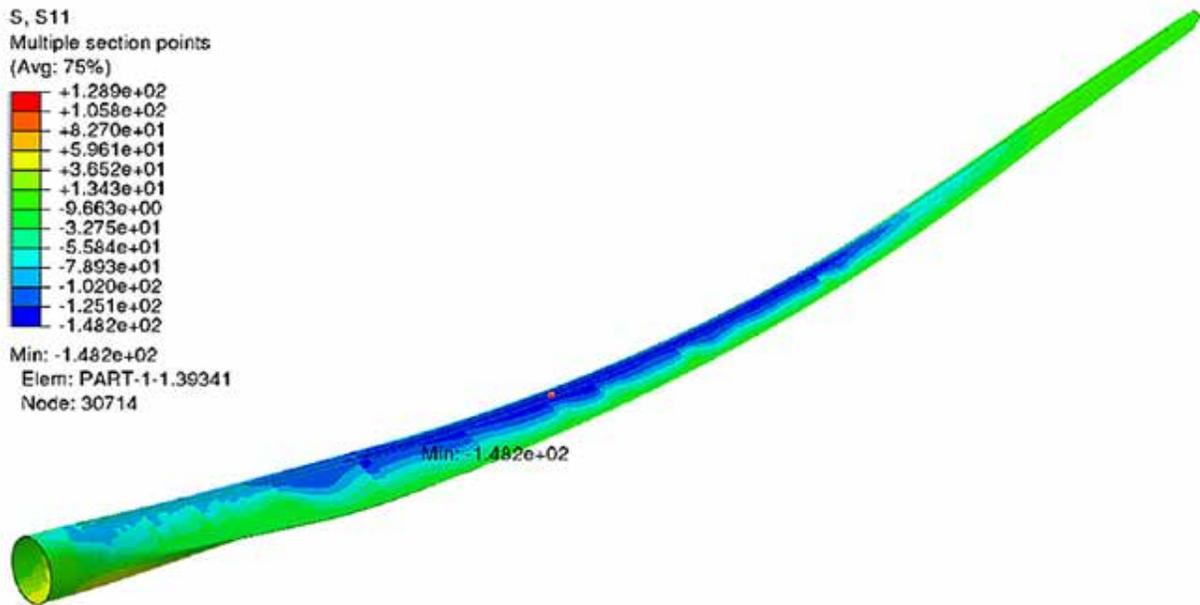


Los componentes principales que aportan la resistencia estructural a la pala, son los patines superior e inferior (Spar-Cap), las columnas (Shea-Web) y la piel (Shell). La viga principal formada por los shear webs y los spar caps, es la más importante, puesto que esta evita que la pala colisione con la torre ya que es el soporte principal para las cargas de flexión que sufre la pala debido al empuje del viento.

Los spar caps son laminados relativamente gruesos, de hasta 10 centímetros en las secciones interiores, con fibras principalmente unidireccionales para soportar el momento flector. La piel de la pala aporta la resistencia al pandeo y tienen una capa externa que es resistente a la intemperie. Por lo general, estas secciones tienen capas de fibra de vidrio con tejidos en dos direcciones (biaxial) o en tres direcciones (triaxial), con un núcleo de espuma o balsa.

Yang (2013) mostró una investigación estructural de una pala de 40 metros de longitud de una turbina de 1.8 MW. Las simulaciones numéricas se realizaron en ABAQUS y el comportamiento de los materiales se muestra en la Figuras 8. Los resultados indican que las conchas superior e inferior son la estructura principal que soportan las cargas, con la máxima respuesta de tensión-deformación.

Figura 8. Esfuerzos de compresión en la zona de succión (Yang, 2013).

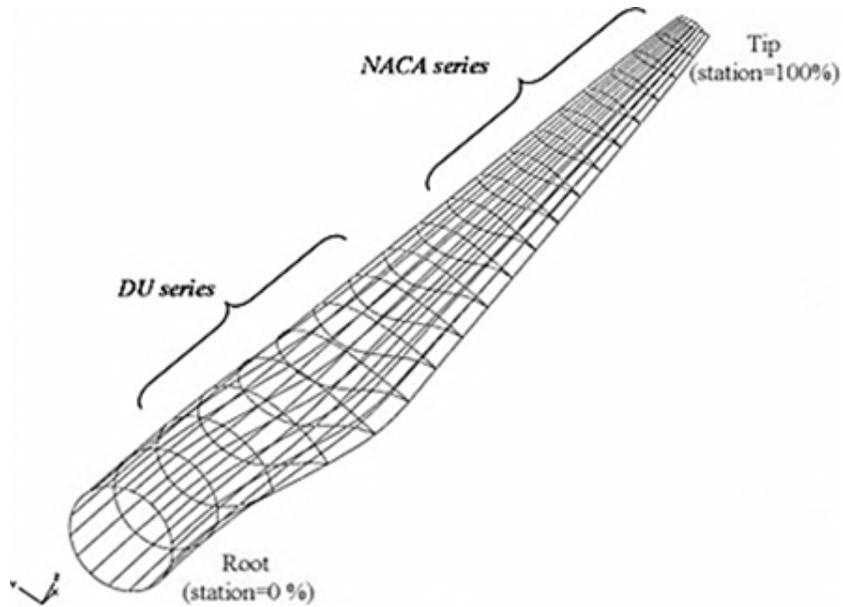


Una turbina eólica podrá tener un gran tamaño y podrá estar hecha de los mejores materiales que le permitan tener una buena resistencia estructural, pero si los perfiles aerodinámicos que se utilizan en su geometría no son los adecuados, la turbina no podría capturar la energía del viento y convertirla en energía eléctrica.

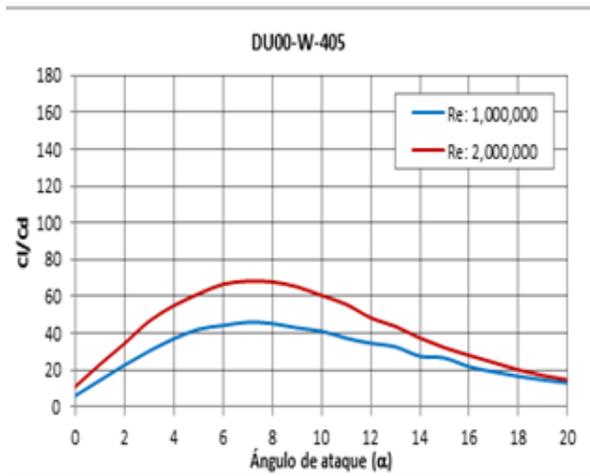
La curva de potencia de una turbina tipo HAWT generalmente se obtiene utilizando programas computacionales comerciales, pero también se puede obtener utilizando el método Blade Element Moment (BEM). Este método genera 4 ecuaciones, las primeras dos ecuaciones estiman el torque y la fuerza axial en el rotor en elementos definidos en un aspa, en base al principio del *momentum* de un tubo anular de viento.

La Figura 9 muestra una distribución típica de los perfiles aerodinámicos a lo largo de una pala de turbina eólica. Cerca de la raíz (root) se ponen los perfiles más gruesos los cuales dan soporte estructural y cerca de la punta (tip) los perfiles más delgados los cuales son más eficientes para capturar la energía del viento.

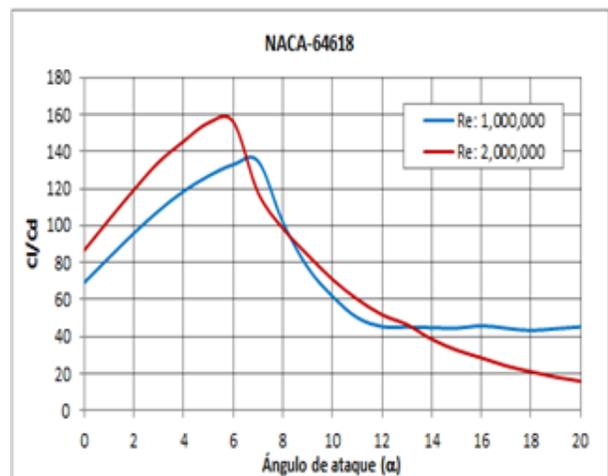
Figura 9. Ubicación de los perfiles a lo largo de una pala de turbina eólica (Hansen, 2008).



Para obtener la curva de potencia de una turbina eólica es necesario conocer el comportamiento aerodinámico de estos perfiles. La eficiencia aerodinámica de un perfil está dada por el cociente del coeficiente de sustentación del perfil entre el coeficiente de arrastre. Como se muestra en la Figura 10, un perfil muy ancho como el DU00-W-405 (Figura 10.a) tendrá una eficiencia baja debido a que su grosor alto provoca mucho arrastre, a diferencia del perfil NACA-64618 (Figura 10.b) que es más delgado y provoca un menor arrastre.



a)

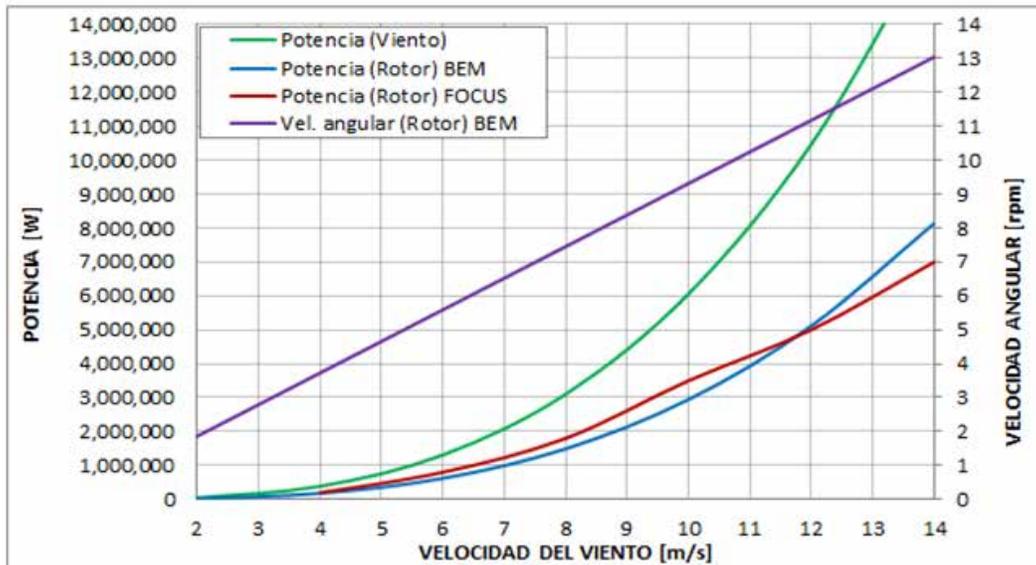


b)

Figura 10. Eficiencia aerodinámica. a) Perfil grueso, b) Perfil delgado (Santander, 2019).

Una vez que se tiene el comportamiento aerodinámico de los perfiles con los que se diseña la pala de la turbina eólica se puede proceder a generar la curva de potencia utilizando un programa comercial como lo es FOCUS6 o con el método BEM como se muestra en la Figura 11.

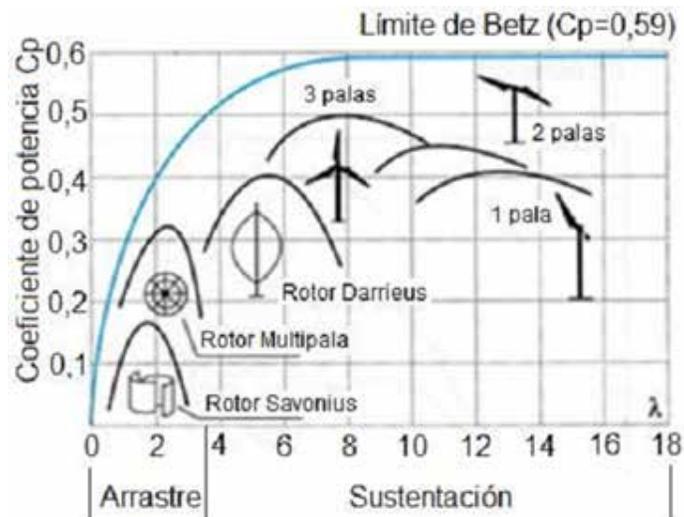
Figura 11. Comportamiento de un rotor de turbina eólica de 5 MW (Santander, 2019).



En la Figura 11 se observa que la potencia de 5 millones de watts requerida para una turbina con palas de 60 metros se alcanza cuando la velocidad del viento es de 12 metros sobre segundo con una velocidad angular del rotor de 11 revoluciones por minuto, esto sucede tanto con el método BEM como con FOCUS6, siendo este el único valor en que coinciden los dos métodos.

Cabe señalar que una turbina no puede extraer el 100% de la energía cinética del viento, lo máximo que se puede extraer del viento es sólo el 59% (Figura 12), lo que se conoce como límite de Betz. Es por ello que se desarrolla mucha investigación para aumentar la eficiencia de los perfiles aerodinámicos y cada día llegar más cerca de este límite.

Figura 12. Límite de Betz para las diferentes turbinas eólicas (Hansen, 2008).



## CONCLUSIONES

El crecimiento económico y la demanda de energía interactúan para fomentar el uso de las energías renovables. Una de las preocupaciones más importantes del mundo es la necesidad de disponer de una seguridad energética, que implique la reducción de las emisiones de gases de invernadero como el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) emitido a la atmósfera y principal causante del cambio climático.

La utilización de las fuentes de energías renovables es cada vez más común para producir energía eléctrica. La energía eólica es una de las fuentes renovables más utilizada a nivel mundial, pero como se observó en el documento, las turbinas eólicas que se utilizan para generar la energía tienen muchos retos, tanto en el ámbito de funcionamiento como en el transporte a los sitios de instalación. Al ser elementos muy grandes los materiales con los que se fabrican deben tener las propiedades mecánicas necesarias para soportar las cargas de operación.

El diseño de una turbina eólica es complejo y requiere de muchas disciplinas del conocimiento para su fabricación e instalación. Pero es un esfuerzo que todos los países en vías de desarrollo deben realizar para no depender de las energías tradicionales para subsistir. Las turbinas eólicas que se instalan en nuestro país son importadas de Europa, en México son pocas las instituciones y universidades que se dedican a generar este tipo de conocimiento. Es por ello que se necesita que el gobierno y las instituciones se preocupen por incentivar el estudio sobre estas turbinas eólicas y no seamos dependientes de las empresas extranjeras para la producción de energía eólica. Recordemos que esta energía sirve para sustituir a las energías convencionales y así poder mitigar los efectos del cambio climático.

## REFERENCIAS

- Asociación Empresarial Eólica (AEE) (2018). *La eólica en el Mundo*. Recuperado de <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo>.
- Baker A., et al. (2004). *Composite Materials for Aircraft Structures* (Second Edition). Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia. Unites Estates of America. 2004.
- Cueva Quevedo, N. P. (2014). *Diseño y construcción de un prototipo de aerogenerador de eje vertical para el acoplamiento de un sistema de producción eléctrica con generador de desplazamiento lineal de imanes permanentes*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
- Hansen M. O. L. (2008). *Aerodynamics of wind turbines* (Second Edition). London: Earthscan.
- Interempresas (2013). *Llega una revolucionaria solución de transporte para palas de aerogeneradores de 50 a 70 m*. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos>
- International Energy Agency (IEA) (2015). *Growth in size of wind turbines since 1980 and prospects*. Recuperado de <https://twitter.com/iea/status/576850361190748160>
- Hansen M. O. L. (2008). *Aerodynamics of wind turbines* (Second Edition). London: Earthscan.
- Jinshui Yang, et al. (2013). *Structural investigation of composite wind turbine blade considering structural collapse in full-scale static tests*. Composite Structures. College of Aerospace and Materials Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China.
- Lozano C. W. (2013). *Energías Renovables*. Unidad de Inteligencia de Negocios. Pro-México. Secretaría de Economía. México.
- Ning Liu (2015). *Loss of accuracy using smeared properties in composite beam modeling*. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper> Rodríguez, J., Arnalte, S., Burgos, J. (2003). *Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica*. Madrid; Editorial Rueda.
- Sand Report (2013). *Cost Study for Large Wind Turbine Blades: Wind PACT Blade System Design Studies*. Sandia National Laboratories. Unites Estates of America
- Santander B. F. J., et al. (2019). *Obtención de la potencia de una turbina eólica de 5 MW mediante el método BEM*. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria.

Orizaba, Veracruz, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2014). *NOM-012-SCT-2- 2014*. Diario oficial. México.

Soden, P.D., Kaddour, A.S. y Hinton, M.J. (2004). *Recommendations for Designers and Researches Resulting from the World-Wide Failure Exercise*. Composites Science and Technology, 64, 589-604

TPI Composites Inc (2003). *Cost Study for Large Wind Turbine Blades*. Sand Report SAND2003-1428. Sandia National Laboratories. Albuquerque, New Mexico, U.S.A.

Wonderfoul earth (2015). *Where to get how does windmill make electricity*. Recuperado de <http://wecaretheearth.blogspot.com/2015/04>.

Yang J., et al. (2013). *Structural investigation of composite wind turbine blade considering structural collapse in full-scale static tests*. Composite Structures. College of Aerospace and Materials Engineering, National University of Defense Technology, China.

Zwang L. (2009). *Boundary Layer Suction on a Horizontal Axis Wind Turbine*. Tesis de Maestría. Faculty of Aerospace Engineering Delft University of Technology. Holanda.

### **CAPÍTULO 3**

## **IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO**

*Ignacio Ruíz Mejía<sup>4</sup>*

# INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana tiene una influencia en el medio ambiente, estas afectaciones han contribuido a modificar los ciclos naturales de la Tierra. Se considera que, desde la Revolución Industrial, los gases de efecto invernadero han aumentado considerablemente. Estos gases retienen la radiación solar captada durante el día, aumentando la temperatura global, esto ha ocasionado que los fenómenos meteorológicos se comporten de forma anómala.

Los impactos del cambio climático se observan en muchos ámbitos; como el económico, salud, social, vivienda, agricultura, ecológico, etc. El sector transporte también se ha visto afectado por estos cambios ya que conlleva grandes inversiones económicas y es pilar para el crecimiento y desarrollo de un país, por lo cual, mantener un sistema de transporte funcional y en las mejores condiciones es crucial.

La gran mayoría de la carga y pasajeros en México se transportan por carretera, por lo cual, la integridad estructural y funcional de las carreteras y puentes principalmente, es vital para la comunicación del país. Es por ello, que se deben considerar estos nuevos cambios en el clima para conocer sus resultados esperados que en las etapas de planificación y diseño no se tenían previstas.

En este trabajo de investigación se tratará de dar un panorama general de como se ha generado el problema y las consecuencias que tiene el clima dependiendo el fenómeno meteorológico sobre todo los extremos, en la infraestructura existente. Las alteraciones y daños podrían ser desde la interrupción temporal del tránsito hasta la destrucción total de una obra en relativamente pocas horas.

Por último, se darán las nuevas tendencias para hacer frente a la problemática, sobre aportes que están haciendo en otros países y que México ha adoptado, uso de tecnología y desarrollo de nuevos procesos y materiales; y la nueva legislación que se está creando en el país como producto de los acuerdos asumidos por México en materia internacional.

## DESARROLLO

### ANTECEDENTES

Se entiende por “cambio climático” a las alteraciones del clima que de forma directa o indirecta el ser humano ha generado producto de sus acciones, y que modifican la composición de la atmosfera del planeta y aumenta la variabilidad natural del clima que se han registrado en periodos de tiempo comparables (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2007).

Se considera que desde finales del siglo XIX y sobre todo con el inicio de la Revolución Industrial hasta la fecha, la cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ha aumentado considerablemente en la Tierra, con un ritmo tal que el planeta no lo puede distribuir de forma natural. Este aumento de gases en exceso retiene la radiación solar en la Tierra y provoca un aumento en la temperatura.

---

<sup>4</sup>Ignacio Ruiz Mejía, es Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres por parte de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha realizado trabajos de investigación en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería en Logística y Transporte de la Universidad Politécnica de Guanajuato.

La actividad del transporte ha contribuido en gran medida al aumento de las emisiones a la atmósfera principalmente por la quema de combustibles fósiles para poder realizar su operación.

Existen otros gases que contribuyen a agravar el problema provocando que el clima presente fenómenos anormales de distinta naturaleza y sus manifestaciones como: ciclones de alta intensidad, sequías, ondas de calor, deslaves, erosiones, incremento del nivel del mar y aumento del caudal de los escurrimientos superficiales, sólo por mencionar algunos.

Las obras de ingeniería civil generalmente son planeadas y diseñadas para tener largos años de vida útil, como en el caso de las carreteras donde periodos de vida útil aproximadamente de 50 años son muy comunes. Tratando específicamente la infraestructura existente del transporte carretero (puentes y carreteras, en especial), no se contemplaron estos cambios en el clima durante la planeación y diseño, por lo cual las estructuras son sometidas a condiciones más severas que las consideradas inicialmente.

Actualmente se investiga en México y en el mundo la manera de aumentar la resiliencia en la infraestructura carretera. De acuerdo a Mendoza, J. et al. (2019) resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema para enfrentar y responder de forma adecuada ante una interrupción, manteniendo su funcionamiento y al mismo tiempo ser capaz de anticiparse y adaptarse ante los cambios climáticos futuros.

Se han realizado estimaciones para la República Mexicana sobre las repercusiones económicas que se tendrán en el país si no se tomaran las medidas necesarias para la adaptación y mitigación ante el cambio del clima en el planeta, que ascenderían hasta el 3.2% del Producto Interno Bruto (PIB) para el año 2050 (Galindo, 2009).

El clima en el mundo afecta en distintos grados a los países, y se han realizado varios estudios para evaluarlos. Una de las instituciones que realiza estas estimaciones es *Germanwatch*, que anualmente reporta indicadores sobre las afectaciones por la alteración del clima en las distintas naciones. En el año 2017, México ocupó el lugar 64 en el índice de riesgo climático registrando 0.032 muertes por cada 100,000 habitantes y una pérdida de 0.019% del PIB (Eckstein, Hutfils & Wings, 2019).

Las obras de infraestructura del transporte son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de un país y generalmente su construcción, conservación y mantenimiento involucran grandes inversiones económicas; por lo que conservarlas en condiciones óptimas de funcionamiento e integridad estructural permitirá justificar las inversiones realizadas en ellas. Para lograr esto, es necesario adaptarlas a las nuevas condiciones prevalecientes y futuras y para las que aún están en fases de planificación se deben tomar en cuenta las nuevas condiciones climáticas que se esperan.

## **EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR CARRETERO**

La forma en que manifiesta el cambio del clima en el planeta puede impactar de muchas formas en el sector transporte, ya sea de forma directa o indirecta, y sus resultados deben considerarse en las distintas fases de la creación de la infraestructura carretera desde su planeación hasta su operación y mantenimiento.

Las afectaciones pueden ser del tipo económico, social, físico, etc. Los enfoques son tan variados que resulta imposible abordarlos todos en este artículo. Esta sección estará enfocada a los impactos directos y sus repercusiones provocados a la infraestructura existente.

Las consecuencias aún no se pueden predecir con certeza y aún menos en largos periodos de tiempo futuro,

por lo que la infraestructura deberá ser adaptada con cierta flexibilidad ante los constantes cambios. Dada la geografía del país, en México se cuenta con muy diversos tipos de clima por lo cual sus impactos se presentarán de formas muy variadas de una región a otra, lo que aumenta el grado de incertidumbre sobre las consecuencias que tendrán en las obras existentes.

Actualmente en México, los métodos utilizados para evaluar la influencia por la alteración del clima a nivel mundial se han basado de experiencias de países extranjeros y se han realizado adaptaciones de las metodologías para las condiciones del país (Mendoza y Marcos, 2017).

Dependiendo los fenómenos meteorológicos presentados, las secuelas sobre la infraestructura serán diferentes. A continuación, se enlistan los más relevantes.

## **AUMENTO DE LAS PRECIPITACIONES Y ESCURRIMIENTOS**

El aumento de las precipitaciones atmosféricas, incrementa entre otros el gasto hidráulico que el que se consideró en las fases de diseño, que sumado a otros factores como la deforestación impacta directamente al grado de absorción de los suelos de forma negativa, por lo que se presentarán mayores escurrimientos superficiales, que en el ámbito de la hidrología se conocen como “picos” en periodos cortos de tiempo denominados “tiempo de pico” (Aparicio, 2006).

Esto significa que habrá una gran cantidad de agua superficial en escurrimiento que necesita ser desalojada en poco tiempo por lo cual las áreas hidráulicas de las obras de drenaje de las carreteras (alcantarillas y puentes) serán saturadas ante estos eventos, lo que puede provocar daños y afectaciones como:

- Inundaciones en las carreteras.
- Deslizamientos y deslave de taludes y terraplenes.
- Saturación de obras de drenaje (cunetas, contracunetas, alcantarillas y puentes).
- Daño estructural en pavimentos, obras de drenaje, puentes y terracerías.
- Derrumbes sobre la superficie de rodamiento.
- Socavación en cimentaciones de puentes.
- Cambios en los patrones de escurrimientos.
- Acumulación de agua en la superficie de rodamiento.
- Arrastre de material pétreo, vegetación y basura que podría impactar en los pilares de los puentes y obras de drenaje, obstruyendo el área hidráulica y provocando daño estructural.
- Inundaciones de pasos a desnivel inferiores y túneles.

La presencia de agua en exceso en periodos cortos de tiempo, es uno de los factores que más daño provocan a la infraestructura carretera, y su influencia se ve reflejada casi de inmediato. En las siguientes figuras se presentan evidencias que dan cuenta de ello.

En la Figura 1, se observa una falla por rotación de talud ocurrida en Chiapas en el año 2013, comúnmente llamado deslave, esta falla del tipo geológica se ve afectada también por la presencia de agua en las capas. Al ser una zona de altas precipitaciones y una vez fracturada la carpeta asfáltica, facilita el ingreso de más humedad al camino, deteriorando aún más la carretera.

*Figura 1. Falla por rotación de un talud de terraplén en el km 162+900 en la carretera federal Villahermosa-Tuxtla Gutiérrez.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

En la Figura 2, se aprecia la acumulación de agua en la superficie de rodamiento, este fenómeno afecta directamente la operación del transporte terrestre. El daño puede ser parcial o total, incomunicando en muchos casos grandes regiones del territorio e impactando directamente la comunicación y la actividad económica.

*Figura 2. Inundaciones en las vías terrestres.*



*Fuente: andrewtheshrew (2017). Hurricane Harvey. Extraída de: <https://pixabay.com/photos/hurricane-harvey-car-water-flood-3097828/>*

En la Figura 3, se presenta la falla en puentes debido a la socavación de su cimentación. Estas fallas son de las más costosas económicamente de reparar, ya que como se aprecia, afecta toda la estructura del puente, dejando la obra prácticamente inservible en muchos casos.

*Figura 3. Socavación en pilares de puentes.*



*Fuente: Wallner (2017). Sardinia. Extraída de: <https://pixabay.com/photos/sardinia-bridge-bach-collapse-1475156/>*

Como se observa en la Figura 4, el volumen de agua y su velocidad es capaz de arrastrar material pétreo de gran diámetro provocando obstrucción del área hidráulica de obras de drenaje, en este caso, de un puente. Se observa un colapso parcial del mismo en la parte derecha de la imagen.

*Figura 4. Reducción del área hidráulica y daño parcial en estructura de puentes.*



*Fuente: Fred Knox-Hooke (2017). Before the bridge collapse. Extraída de: <https://www.flickr.com/search/?text=bridge%20damage>*

De las figuras 5 a la 7, se muestran los daños a la infraestructura y afectaciones a la operación por tormentas de gran magnitud ocurridas en Chiapas en el 2013. La inestabilidad de los taludes en la región sumada al exceso de las precipitaciones causa el deslizamiento de los taludes arrastrando consigo cobertura vegetal y rocas que se acumulan sobre la superficie de rodamiento.

Generalmente, estos casos son resueltos en corto tiempo por las oficinas estatales de conservación de carreteras que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tiene en cada entidad federativa.

*Figura 5. Deslave en talud de corte en el km 114+800 en la carretera federal Villahermosa-Tuxtla Gutiérrez.*



*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura 6. Deslave en talud de corte en km 121+600 en la carretera federal Villahermosa-Tuxtla Gutiérrez.*



*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura 7. Deslave en talud de corte en el km 34+050 en la carretera federal Raudales Malpaso-El Bellote.*



*Fuente: Elaboración propia.*

En las figuras 8 y 9, se aprecia un daño estructural grave al cuerpo de terraplén reduciéndole drásticamente su capacidad de soportar los esfuerzos inducidos por el tránsito de vehículos en una carretera en Chiapas ocurrido en 2013.

Se puede observar que prácticamente el talud del terraplén ha desaparecido por la erosión provocada por la turbulencia del agua en la obra de drenaje. La falla a nivel de la superficie de rodamiento no puede ser advertida por los conductores pues no se presenta grietas de gran magnitud en la carpeta asfáltica. Lo único que se tiene es señalamiento horizontal en forma de rayas con espaciamiento logarítmico (M-9) para que los conductores reduzcan su velocidad (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2011). Sin embargo, eso no evita un colapso inminente y súbito de la estructura poniendo en peligro a los conductores.

*Figura 8. Erosión de talud de terraplén en el km 72+100 en la carretera Villahermosa-Tuxtla G.*



*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura 9. Muro de contención de obra de drenaje afectado en el km 72+100 en la carretera Villahermosa-Tuxtla G.*



*Fuente: Elaboración propia.*

## **ALTAS TEMPERATURAS Y SEQUÍAS**

La presencia de agua en exceso en las infraestructuras carreteras, es un factor indeseado durante la vida útil de las obras, pues provoca los estragos mencionados anteriormente. Sin embargo, no se puede prescindir de ella, pues es también importante su presencia en las cantidades adecuadas. Un ejemplo de ello es la cantidad de agua óptima para la correcta compactación de las distintas capas de terracerías y pavimentos, ya que el agua actúa como un lubricante entre las partículas, reduciendo la relación de vacíos y en consecuencia aumenta el contacto entre ellas, distribuyendo de forma más eficiente los esfuerzos provocados por el peso de los vehículos principalmente.

La falta de agua también genera modificaciones adversas en las infraestructuras como las enlistadas en seguida:

- Se requerirán nuevos procesos constructivos que contemplen la escasez de humedad en las capas de las vías.
- Disminuye la cobertura vegetal, aumentando la erosión de taludes de cortes y terraplenes, volviéndolos más vulnerables a la intemperie. Al disminuir la cobertura vegetal, la absorción de humedad de los suelos se reduce.
- Aumento de incendios forestales, afectando la operación del transporte por la reducción de la visibilidad de los conductores.
- Degradación y desintegración de las capas de las vías.
- Presencia de tolveneras que reducen la visibilidad de los usuarios de las carreteras.
- Alta expansión térmica en las juntas de pavimento de concreto o puentes, aumentando los esfuerzos inducidos a las estructuras.
- Fallas en pavimento como exudación de asfalto y envejecimiento prematuro de la carpeta asfáltica, entre otros (Instituto Mexicano del Transporte, 1991).

## **AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE LOS VIENTOS**

En los análisis de la operación de los vehículos de transporte, existen fuerzas que se oponen al movimiento de los vehículos como los efectos por pendiente ascendente, resistencia al rodamiento y resistencia al aire (Dirección General de Servicios Técnicos 2018). Esta última se considera que su influencia es la menor, sin embargo, el aumento de su intensidad puede producir alteraciones en la infraestructura y operación de los vehículos. Algunas de sus consecuencias son:

- Caída de árboles y anuncios publicitarios.
- Volcamiento de vehículos por impacto lateral del viento y centro de gravedad alto principalmente.
- Erosión de taludes y terraplenes.
- Caída de señalamiento vertical bajo y elevado.
- Daños en los dispositivos de control de tráfico, especialmente los semáforos.

## **OTROS EFECTOS**

Existen más formas en como el clima puede agravar la infraestructura carretera como: ondas frías, aumento del nivel del mar, granizadas, nevadas, heladas y marejadas, por mencionar algunos.

Sus repercusiones generalmente se combinan con los otros, por ejemplo: en una carretera costera ante la presencia de una marejada generalmente viene acompañada de fuertes vientos por lo cual la situación se intensifica y aumenta el daño provocado. Los ciclos de heladas y calor causan fracturas en las capas del pavimento debido a los cambios drásticos de temperatura y el aumento del nivel del mar en carreteras costeras ocasionaría inundaciones permanentes de consideración en tramos carreteros en un futuro no muy lejano.

## **ACCIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

En México y en el mundo, se están tomando acciones para reducir las alteraciones por el cambio en el clima global en la infraestructura carretera. Las acciones van desde reglamentaciones internacionales, desarrollos tecnológicos en materiales, uso de sistemas geoespaciales, asignación de recursos públicos para atender desastres, etc.

La incertidumbre sobre la magnitud de los efectos es grande aún, por lo que se están tratando de sumar esfuerzos que contribuyan a mitigar sus consecuencias.

A continuación, se presentan algunas aportaciones para reducir las alteraciones creadas por el clima cambiante en las carreteras en México:

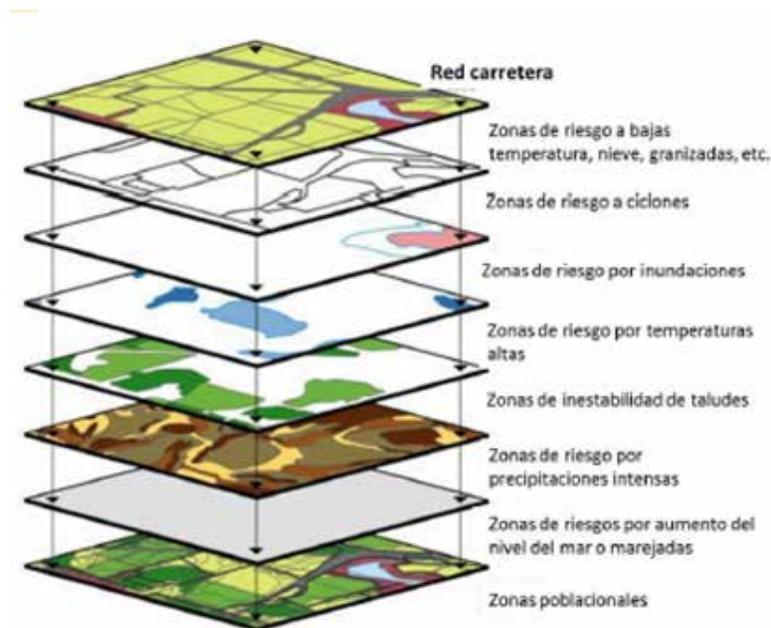
## **USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

En México se cuenta con un Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico enfocado al sector de la infraestructura carretera, que es el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y que también contempla a los demás modos de transporte del país.

En IMT existe un área enfocada al uso de sistemas de información geográfica y entre sus trabajos actuales, se encuentra el uso de capas y su superposición para identificar las zonas de mayor riesgo ante las manifestaciones del clima cambiante (Gradilla, 2018).

En la Figura 10, se observa el uso de estas capas. Cada una puede representar un fenómeno en particular como áreas propensas a inundación y altas temperaturas, estas son superpuestas con la red carretera georreferenciada para identificar los tramos más vulnerables y poder tomar las decisiones correspondientes para atenderlos junto con los demás actores involucrados (dependencias de gobierno principalmente).

*Figura 10. Superposición de capas de información referenciada geográficamente para identificación de sitios para la adaptación.*

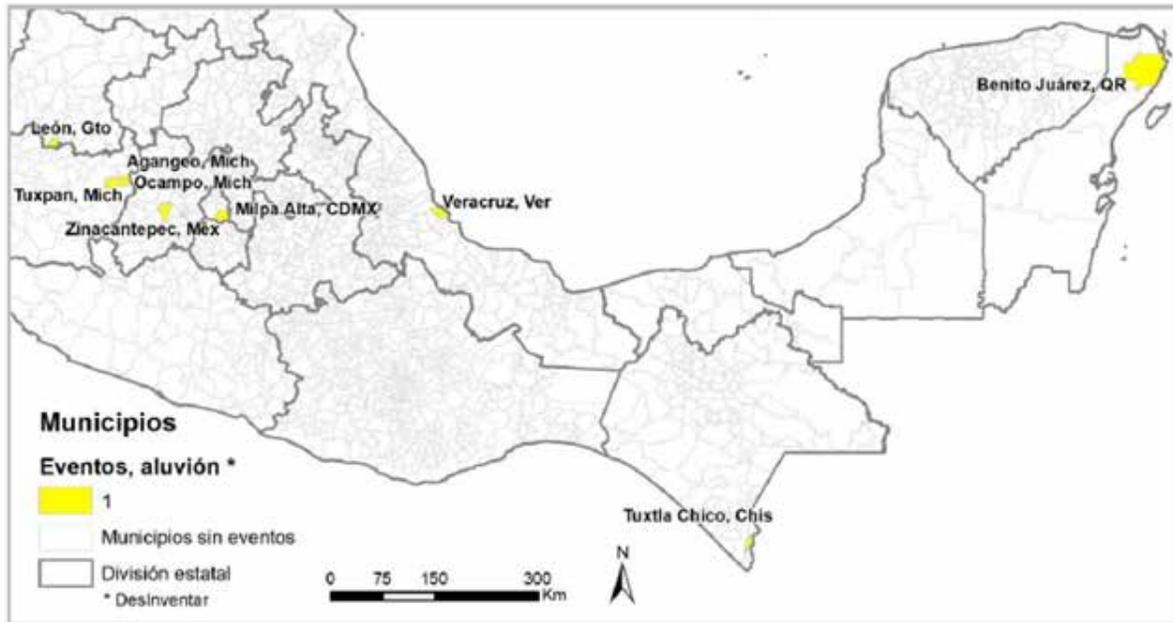


*Fuente: Gradilla (2018).*

Una vez realizada la superposición de las capas se puede obtener un mapa digital como el observado en la Figura 11 donde se aprecia las zonas más vulnerables en el país ante aluviones. Estos mapas podrían generarse para una región en particular y/o para una manifestación particular del clima.

Los datos utilizados para generar un mapa como el de la Figura 11, se obtienen de registros de eventos de una base llamada DesInventar que, de acuerdo a Mendoza et al. (2017), es un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información preexistente sobre desastres de diversas magnitudes e impactos.

Figura 11. Mapa de exposición por aluviones en México.



Fuente: Gradilla (2018).

## USO DE SIMULACIONES COMPUTACIONALES

En el país también existen aportaciones de otras instituciones como las Universidades que realizan trabajos de investigación muchas veces conjuntos con sus contrapartes extranjeros, con una entidad pública o privada. En Velázquez y Dávila (2017), se proporciona un buen ejemplo de ello, en cuyos trabajos compararon las alteraciones originadas por el clima cambiante en la hidrología de una cuenca en la región centro del país con simulaciones por computadora de los efectos globales y regionales provocados. Para ello usaron dos escenarios: Simulaciones del Modelo Regional Canadiense y Simulaciones de CGC (*Canadian Global Model*). Utilizaron datos de entrada para obtener caudales en un periodo de referencia (1971-2000) y en un periodo futuro (2046-2065). Con estos datos es posible prever las medidas necesarias a tomar para adaptar la estructura existente y proyectar las futuras en esa cuenca hidrológica en particular y si las investigaciones continúan dando buenos resultados podría ser una excelente metodología para analizar otras regiones.

## CALCULADORAS DE HUELLA DE CARBONO

Prácticamente toda actividad humana lleva implícito una modificación sobre el ambiente, y las actividades del transporte no están exentas de ello. Es por este motivo que es importante determinar lo que se conoce como “huella de carbono” que, de acuerdo a López y Téllez (2013), es una medida de la influencia de las actividades humanas sobre el medio ambiente, causadas por emisiones de carbono liberadas a la atmósfera que a su vez contribuyen al aumento de los gases de efecto invernadero.

Para explicar esto, se podría tomar en cuenta no sólo la quema de combustibles fósiles para la operación del transporte, también en la trituración de material pétreo para la construcción de las capas del pavimento es necesario usar estos combustibles de igual manera, para el acarreo de los materiales, compactación y todas las actividades involucradas para su proceso.

Estas emisiones necesitan ser calculadas para tomar las medidas necesarias, mitigar y en su caso, evitarlas.

## RECICLAJE Y UTILIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES

En los últimos tiempos en México se ha utilizado el reciclaje del producto de la trituración de las carpetas asfálticas cuya vida útil han llegado a su fin. La práctica común es homogenizarla con material pétreo de calidad seleccionada y construir la capa de base en los pavimentos flexibles. Esta nueva capa ha demostrado tener características mecánicas adecuadas para el tránsito de vehículos y resistencia a las condiciones climáticas.

De acuerdo a López y Téllez (2013), aun se continúan las investigaciones sobre el uso de pavimentos asfálticos reciclados (RAP, por sus siglas en inglés *Reclaimed Asphalt Pavement*) para ser utilizados como nuevas carpetas asfálticas combinados con nuevos materiales. Esto reduciría la huella de carbono al ocupar menos asfalto virgen, ya que se evitaría quemar combustibles fósiles en procesos como su extracción y transporte a la zona de obras.

## OTRAS ACCIONES

Afortunadamente, son muchos los aportes que se están tomando para reducir las alteraciones originadas por el cambio en el clima global en la infraestructura carretera, tantos que no es posible mencionarlos a todos, pero entre otros se tienen:

- Recubrimiento de taludes con cobertura vegetal con especies autóctonas, para una mayor resistencia a los cambios del clima. Esto ayudaría a evitar la erosión, aumentar la capacidad de retención de humedad y actuar como sumideros de carbono, es decir, ayudarían a absorber el CO<sub>2</sub> de la atmósfera.
- Acuerdos internacionales y legislación en materia de medio ambiente referente al transporte. En 1992 se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y se consolidó en 1994, y nuestro país formó parte desde ese entonces y ya en 2012, México publicó la Ley General de Cambio Climático y a partir de allí se han desprendido una serie de acciones para atender el problema, como ejemplo, nuevas normativas y reglamentos (Mendoza y Marcos, 2017).
- Nuevos procedimientos y aspectos a considerar durante la gestión, operación y mantenimiento de los sistemas de transporte, de manera que la influencia del clima sea lo menos adversa posible durante estas etapas (Federal Highway Administration, 2015). También existe una organización mundial que se encarga del sector carretero denominada Asociación Mundial de Carreteras (PIARC, por sus siglas en inglés), que realiza trabajos conjuntos entre naciones para tomar medidas que permitan mitigar las afectaciones producidas por el sector, una de ellas es el Marco Internacional de Adaptación al Cambio Climático para la Infraestructura Vial (World Road Association, 2015).

## CONCLUSIONES

Es innegable en estos días, la contribución negativa que ha tenido la actividad humana en los procesos naturales del clima, alterando sus ciclos y procesos. Esto ha afectado de muy diversas formas al planeta. Desde la generación de grandes desastres naturales como: sequías, huracanes de gran magnitud, olas de calor y grandes precipitaciones. Esto ha afectado la salud, la economía, aspectos sociales, etc.

El sector transporte no es ajeno a estos cambios, y su actividad ha impactado directamente al aumento de los gases de efecto invernadero, agravando aún más la situación. Todo esto modifica los escenarios iniciales que se tenían contemplados en el diseño de la infraestructura del transporte cuyas inversiones para hacerlas realidad son enormes. Entre ellas se encuentran las carreteras y puentes.

Es por ello que se deben realizar las medidas necesarias para adaptar estas obras existentes ante los nuevos

cambios del clima y tomar las consideraciones necesarias para el diseño de las nuevas, a fin de hacer las construcciones más resilientes.

Hay muchos campos en los que actualmente el país está trabajando para hacer frente al problema: creación de nuevos materiales, uso de tecnología, nueva legislación, monitoreo, asignación de recursos, etc. Los esfuerzos aún son insuficientes, pero se debe seguir trabajando. Si no se tomarán acciones actualmente, los costos en un futuro próximo serán devastadores.

Con este trabajo de investigación se busca dar un panorama sobre cómo se ha generado el problema, las modificaciones presentes y futuras en el sector y hacia dónde van encaminadas las acciones para atender el problema.

## REFERENCIAS

- Aparicio, F. (2006). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa.
- Dirección General de Servicios Técnicos (2018). *Manual de proyecto geométrico de carreteras* (2da. Ed.). México: SCT.
- Eckstein, D., Hutfils, M. & Winges, M. (2019). *Global climate risk index 2019*. *Germanwatch*. Germany: German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ).
- Federal Highway Administration (2015). *Climate change adaptation guide for transportation systems management, operations, and maintenance*. Washington, DC, USA.
- Galindo, L. M. (2009). *La economía del cambio climático en México*: Síntesis. México: SHCP y SEMARNAT.
- Gradilla, L. (2018). PT523 *Aproximación Geoespacial para la Adaptación al Cambio Climático de la Infraestructura Carretera en México*. México: IMT.
- Instituto Mexicano del Transporte (1991). *Publicación Técnica No. 21 Catalogo de deterioros en pavimentos flexibles de carreteras mexicanas*. México: IMT.
- López, M. y Téllez, R. (2013). PT 373 *Algunas acciones implementadas en México por el cambio climático y su perspectiva*. México: IMT.
- Mendoza, J. y Marcos, O. (2017). PT488 *Panorama internacional de la adaptación de la infraestructura carretera ante el cambio climático*. México: IMT.
- Mendoza, J. et al. (2017). PT498 *El clima y las carreteras en México*. México: IMT.
- Mendoza, J. et al. (2019). PT557 *Marco Metodológico para la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el Cambio Climático en México*. México: IMT.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2011). NORMA Oficial Mexicana NOM-034-SCT2-2011, *Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas*. México: SCT.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2007). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/C008BCE5954FB81805257C980019FC71/\\$FILE/1\\_pdfsam\\_unitingonclimate\\_spa.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/C008BCE5954FB81805257C980019FC71/$FILE/1_pdfsam_unitingonclimate_spa.pdf)
- Velázquez, J. & Dávila, R. (2017). *Comparing the climate change signal on a mexican basin's hydrology evaluated with global and regional climate simulations*. México: UNAM.
- World Road Association (2015). *International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure*. France: PIARC.

## CAPÍTULO 4

# IDENTIFICAR EL TIPO DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AIRE EN LA CIUDAD DE CELAYA Y SU EFECTO EN LA SALUD

*Jesús Chihuaque Alcantar<sup>5</sup>*  
*Carlos Alberto Rodríguez Castañón<sup>6</sup>*  
*Rodrigo Alonso Esparza Muñoz<sup>7</sup>*  
*Arturo Mandujano Nava<sup>8</sup>*

# INTRODUCCIÓN

En el informe ambiental “Los Límites del Crecimiento” del denominado Club de Roma liderado por Donella Meadows del MIT (Massachusetts Institute of Technology), concluía que: (1972, p. 24).

1. Si las tendencias actuales de crecimiento en la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos; continúan sin cambios, los límites del crecimiento en este planeta se alcanzarán en algún momento dentro de los próximos cien años. El resultado más probable será una disminución repentina e incontrolable de la población y la capacidad industrial.
2. Es posible alterar estas tendencias de crecimiento y establecer una condición de estabilidad ecológica y económica que sea sostenible en el futuro. El estado de equilibrio global podría diseñarse de modo que se satisfagan las necesidades materiales básicas de cada persona en la tierra y cada persona tenga la misma oportunidad de realizar su potencial humano individual.
3. Si la gente del mundo decide luchar por este segundo resultado en lugar del primero, y comienzan desde antes a trabajar para lograrlo, mayores serán sus posibilidades de éxito.

No obstante, acorde al observatorio Lamont-Doherty en el 2019 se perdieron 712,000 kilómetros cuadrados de hielo en el casquete glaciar de Groenlandia, por lo que el planeta podría rebasar 1.5 grados centígrados. Para el año 2050 la población mundial superará los 9,000 millones, en el 2030, la demanda global de alimentos aumentará 50%, la de energía 45%, y la del agua 30%, según un informe publicado por el Panel de Alto Nivel de la ONU (Organización de las Naciones Unidas). Por lo anterior, en las próximas cuatro décadas se tendrá que producir más alimentos que en el último milenio (Tec Review, 2019).

Otro impacto del cambio climático se presenta en las playas de arena, éstas ocupan más de un tercio de la costa mundial y tienen un alto valor socioeconómico relacionado con la recreación y el turismo. Las playas son la interfaz entre tierra y océano, proporcionando protección costera contra tormentas marinas y ciclones. Sin embargo, la presencia de playas arenosas no puede darse por sentado, ya que están en constante cambio, impulsadas por factores meteorológicos, geológicos y antropogénicos. Una proporción sustancial de la costa arenosa del mundo ya se está erosionando, una situación que podría verse exacerbada por el cambio climático. Las tendencias ambientales en la dinámica de la costa, combinadas con la recesión costera impulsada por el aumento del nivel del mar, podrían provocar la casi extinción de casi la mitad de las playas de arena del mundo a finales de siglo. [...] (Vousdoukas, Ranasinghe, Mentaschi, et al., 2020).

El crecimiento industrial de las ciudades tiene un costo que impacta directamente los activos naturales: contaminación del aire, agotamiento de los recursos, extinción de flora y fauna. El modelo rentista del mundo moderno produce bienes y servicios que llevan implícita una cuota de depredación del planeta. El cambio climático provocará sequías, inundaciones, migración de millones de personas, aumento desquiciante de la temperatura, así también generará pobreza y una alarmante escasez de agua. El cambio climático es

---

<sup>5</sup>Jesús Chihuahue Alcantar, es Maestro en Ciencias de los Materiales por parte de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica de Guanajuato. Email Jchihuahue@upgto.edu.mx

<sup>6</sup>Carlos Alberto Rodríguez Castañón es Doctor en Desarrollo Económico y Sectorial Estratégico por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Actualmente es profesor de tiempo completo del Departamento de Ingeniería en Manufactura de la Universidad Politécnica de Guanajuato. Email carodriguez@upgto.edu.mx

<sup>7</sup>Rodrigo Alonso Esparza Muñoz es Doctor en Ciencias en Metalurgia y Ciencias de los Materiales por la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Actualmente se desempeña como investigador en el Departamento de Nanotecnología del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA-UNAM).

<sup>8</sup>Arturo Mandujano Nava, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Celaya. Profesor-Investigador de Tiempo Completo de la carrera de Ingeniería Automotriz en la Universidad Politécnica de Guanajuato.

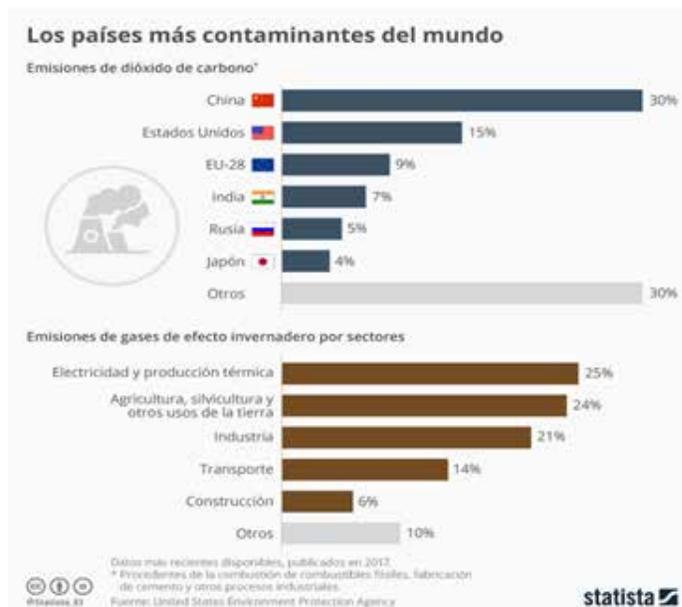
democrático, afectará a todas las localidades y a todas las naciones. Ante la evidencia científica que alerta un futuro incierto, el 4 de noviembre del 2019, Los Estados Unidos de América y su Presidente Donald Trump confirmó su salida del Acuerdo de París (que busca combatir el cambio climático). El segundo país más contaminante del planeta no cree en los efectos adversos de la contaminación para el futuro de la humanidad. Las advertencias científicas ya no han sido suficientes, el hombre y su sistema económico de explotación ha alterado el hábitat, satisfaciendo sus necesidades presentes a costa de las necesidades futuras.

Los economistas han acuñado la gravedad del cambio climático con la metáfora de el “Cisne Verde” para advertir que las contingencias climáticas pueden impactar negativamente a las organizaciones y a países completos; esto podría desencadenar la próxima crisis financiera. Los costos de eventos catastróficos ocasionados por el cambio climático: Inundaciones, incendios, huracanes, etc., desestabilizan los planes de desarrollo y crecimiento de las naciones, haciéndolas vulnerables.

El cambio climático plantea un desafío sin precedentes para la gobernanza de los sistemas socioeconómicos [...] Las implicaciones financieras del cambio climático han sido ignoradas en gran medida. En los últimos años, los bancos centrales han reconocido cada vez más que el cambio climático es una fuente de importantes riesgos financieros sistémicos [...] Es poco, lo que los flujos monetarios y financieros pueden hacer frente a los impactos irreversibles del cambio climático. En otras palabras, una nueva crisis financiera mundial provocada por el cambio climático haría que los bancos centrales y el sistema financiero mundial fueran impotentes para hacer frente al problema. (Bolton, Després, Pereira Da Silva, et al., 2020, p. 65).

El reto de la sustentabilidad no solamente debe garantizar y proveer los suficientes recursos para las futuras generaciones, ya involucra también a los actuales habitantes. El agotamiento y deterioro de los activos naturales ponen en riesgo la supervivencia de las especies.

Imagen 1. Países más contaminantes del mundo.



Las emisiones globales de CO<sub>2</sub> siguen asfixiando al planeta y en el 2019 aumentaron 0.6 por ciento, pese a la disminución del consumo de carbón, debido al fuerte crecimiento en el uso de gas natural y petróleo. Lo anterior lo reveló un nuevo informe de Global Carbon Project (GCP). La concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico alcanzó un promedio de 407.4 partes por millón (ppm) en 2018 y se prevé que aumente en 2.2 ppm en 2019 hasta alcanzar unas 410 ppm. El reciente crecimiento de las tecnologías de baja emisión de carbono (solar, eólica), en el mejor de los casos, sólo ha ralentizado el crecimiento de las emisiones mundiales de combustibles fósiles (López, 2019).

Fuente: Foro Económico Mundial (2017).

A casi 50 años de la declaración de Meadows, el crecimiento poblacional en México se ha comportado geoméricamente (ver tabla 1).

Tabla 1. Aumento de la población en México desde 1972 a una proyección al año 2050.

Año	Población a mitad del año	Esperanza de Vida al nacimiento	Edad Mediana	Nacimientos
1972	53,973,953	62	15.32	2,298,649
2019	126,577,691	75.1	28	2,169,048
2050	148,209,594	79.62	38.46	1,671,327

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO [Consejo Nacional de la Población] (2019).

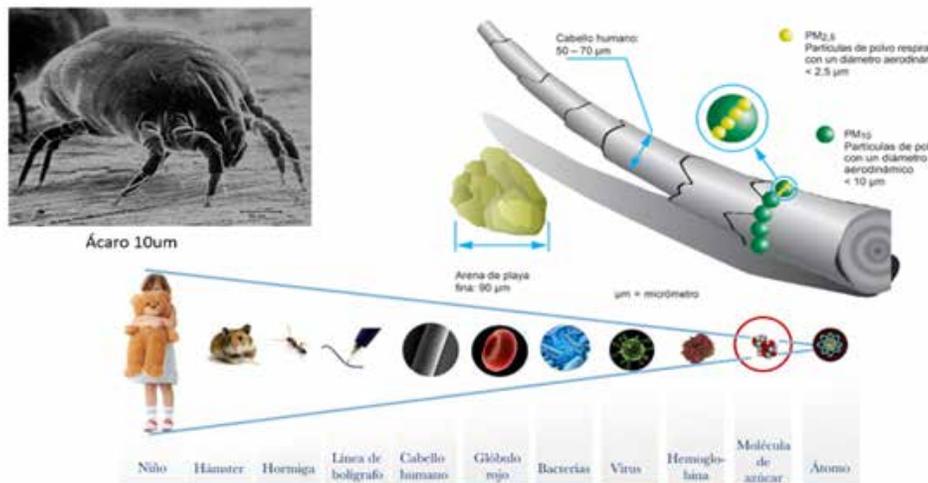
En la tabla 1 se puede distinguir un aumento del recurso humano del país, en contraste con una desaceleración de los nacimientos y un envejecimiento del mexicano; mientras que los avances científicos han permitido que la esperanza de vida aumente respecto a 1972. Cada individuo que nace demandará un consumo de recursos del planeta, los límites del crecimiento alertan que las actuales condiciones de fabricación y patrones de consumo han saturado la capacidad de obtener los recursos de la tierra para satisfacer las constantes e incrementales y a veces superfluas demandas del ser humano. De acuerdo con la INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019) en 1980 existía un parque de vehículos de motor en México de 5, 758, 330 contra un 2018 que fue de 47, 790, 950, es decir, que por cada 2.6 habitantes en el país existe un automóvil.

Respecto a la zona que compete el presente estudio, de enero a abril del 2019, la ciudad de Celaya, Guanajuato obtuvo más días fuera de norma ambiental, según la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado (SMAOT). En todo el 2018 Celaya registró 173 días fuera de norma, seguido de 145 de Irapuato; 115 de León; 78 en Silao; 42 en Salamanca. La severidad del cambio climático también impacta a la zona de Celaya. En un estudio aplicado a 300 habitantes originarios de la comunidad de la Luz en Celaya, el 40% comentan qué desde la llegada de una importante armadora automotriz a la localidad, ha afectado negativamente la calidad de vida, solamente el 13% manifiesta que mejoró su economía, un 53% declara que hubo mejoría en la infraestructura y los servicios del lugar, otro 30% afirma que empeoró la contaminación (Maciel, Medina, González & Ramírez, 2017). El crecimiento económico en bienes y servicios y la proliferación de empresas en la zona ha traído una aceleración en la contaminación del ambiente, agotamiento de los recursos e impacto en la salud de la población.

El director de Gestión de la Calidad del Aire de la SMAOT, Carlos Aarón Ávila Plascencia, señaló que en Guanajuato la mayor incidencia es por PM10 (partículas dispersas en la atmósfera) y no de PM2.5, que al ser de un menor tamaño representa un mayor riesgo para la ciudad de quienes las respiran. (Jiménez, 2019, párr. 4).

Respecto a las PM10 o partículas gruesas (PM10 – 2.5) también llamadas partículas inhalables, “son las partículas menores a 10 micrómetros, pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro, se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Tzintzun et al., 2005, citado por Canales, Quintero, Castro & García (2014, p.14).

Imagen 2. Escala de los microgramos.



Fuente: Elaborado con información de Junco (2016), Interempresas (2014) y Torregrosa (2010).

La exposición a los contaminantes atmosféricos como el material particulado, se asocia con diferentes daños a la salud humana y la magnitud de los efectos depende de las concentraciones que se encuentran en el aire, de la dosis que se inhala, del tiempo y la frecuencia de exposición, así como de las características de la población expuesta [...] Los hallazgos recientes de estudios epidemiológicos realizados tanto en el contexto poblacional como ocupacional, además de estudios toxicológicos y de exposición en seres humanos, indican que las concentraciones que hoy se observan en numerosas ciudades del país implican riesgos para la salud, debido a que se encuentran por encima de los niveles establecidos por las normativas nacional e internacional aplicables [...] Las PM10 se depositan en la región extratorácica del tracto respiratorio (nariz, boca, naso y laringofarínge); contienen principalmente materiales de la corteza terrestre y se originan en su mayoría por procesos de desintegración de partículas más grandes. También pueden contener material biológico como polen, esporas, virus o bacterias o provenir de la combustión incompleta de combustibles fósiles [...]. (NOM-025-SSA1-2014, párrs. 7- 15).

La norma 025 establece que las partículas menores a 10 micrómetros PM10, el límite de 24 horas es de 75 µg/m<sup>3</sup>, y un límite anual de 40 µg/m<sup>3</sup>, como promedio. El presente estudio busca identificar el tipo de partículas suspendidas en el aire de la ciudad de Celaya, Guanajuato, a través del análisis de un filtro de aire de un automóvil.

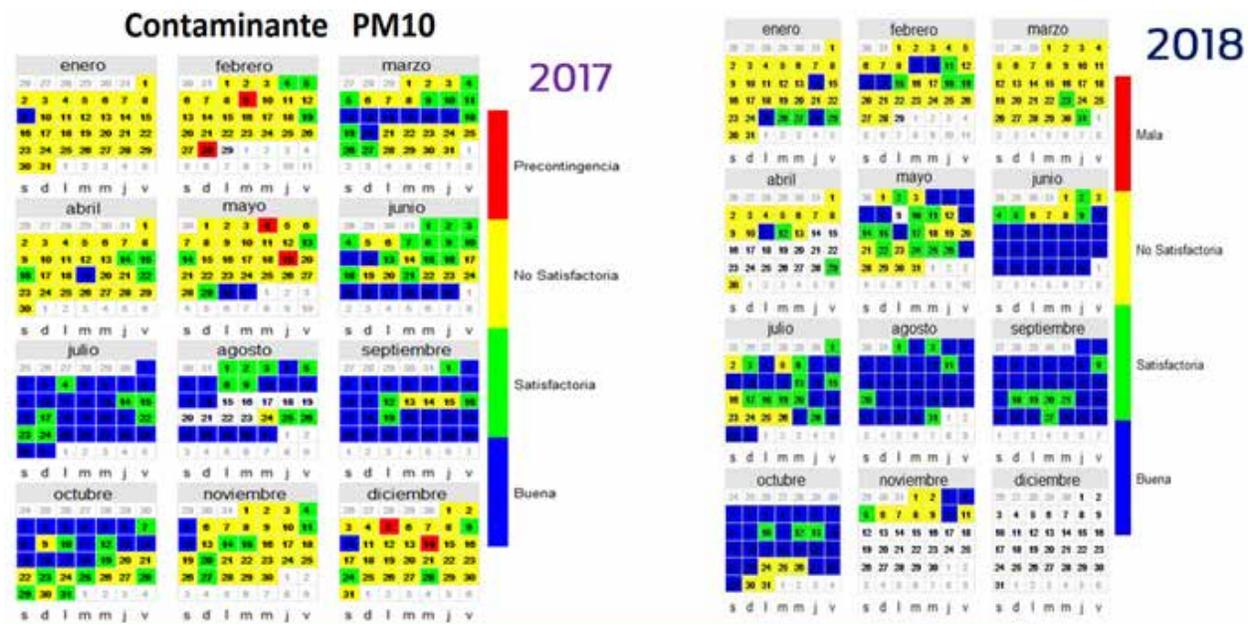
En su reporte 2018 la organización Air Visual concluye que las trece ciudades más contaminadas de México, es liderada por Mexicali, Baja California, la cual reportó un promedio de 30 µg/m<sup>3</sup>, mientras que Salamanca, Gto. se ubica en sexto lugar con 20.9, León en séptimo con 20.8, Celaya en octavo lugar con un 20.1 y noveno sitio Irapuato con 19.7 µg/m<sup>3</sup> (El microgramo es una unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades que equivale a la milmillonésima parte de un kilogramo o a la millonésima parte de un gramo; su símbolo es “µg” igual a microgramo).

La contaminación del aire es el mayor riesgo ambiental para la salud hoy en día, se estima que contribuye a 7 millones de muertes prematuras cada año. El aire contaminado representa la cuarta causa principal de muertes prematuras en el mundo y carga a la economía mundial con un costo anual estimado de 225 mil millones de dólares. (Air Visual citado por Newsweek, 2019, párr. 8).

Celaya es reconocida como la “Puerta de Oro del Bajío” debido a su gran desarrollo económico en todas las áreas: industrial, agrícola y comercial. Su posición geográfica es estratégica como punto de intercambio de bienes y servicios, pues funciona como conexión entre las ciudades de Guadalajara, Ciudad de México y Querétaro. Según el INEGI en el 2008 había en la localidad 16,946 unidades económicas y 30,060 personas laborando en el sector manufacturero. La población en hogares en el año 2000 era de 378,241, mientras que en el 2010 alcanzó 468,469. En temas educativos en el 2015 el promedio escolar de la población de 15 años o más estaba en 9.4, 18.4% de la población tenía una instrucción superior o universitaria, en contraste con un 5.5% que no cuentan con algún grado de escolaridad.

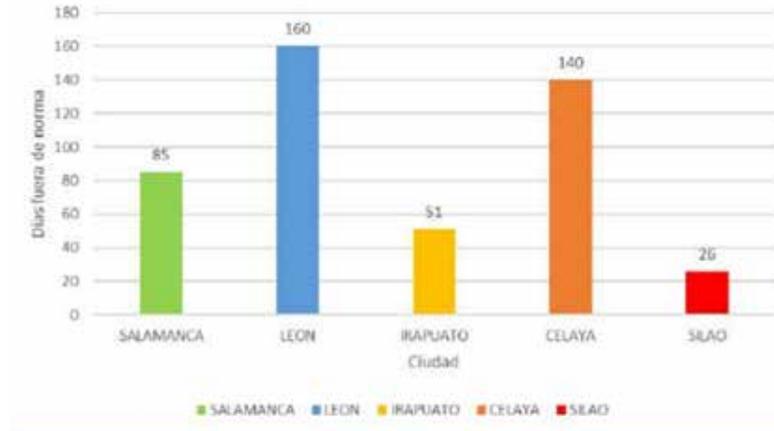
¿Por qué el estudio fue aplicado en un filtro de aire? Las máquinas de combustión interna son grandes aspiradoras de aire; la aspiración promedio de un motor es de aproximadamente 10,000 litros de aire por cada litro de combustible consumido. El aire que entra al motor debe estar limpio, ya que los contaminantes pueden acortar la vida del motor o causar una falla prematura. El filtro de aire o limpiador de aire se utiliza en todos los motores. El filtro atrapa contaminantes peligrosos. El ambiente en que el vehículo opere determinará el tipo y cantidad de contaminantes que intentarán entrar en el motor. El cambio periódico del filtro de aire de servicio ligero es esencial para el óptimo funcionamiento del motor. Un filtro saturado o próximo a saturarse causa pérdida de potencia y funcionamiento errático (ACDelco, 2016). Analizar las partículas en un filtro de aire es un referente al tipo de contaminante a que la población está expuesta, respirando partículas no visibles y silenciosas que impactan negativamente en el organismo.

Imagen 3. Comportamiento de la calidad del aire (PM10) 2017 y 2018 en Celaya.



Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato (2019).

Gráfica 1. Indicadores de días fuera de norma por PM10 en el 2016.

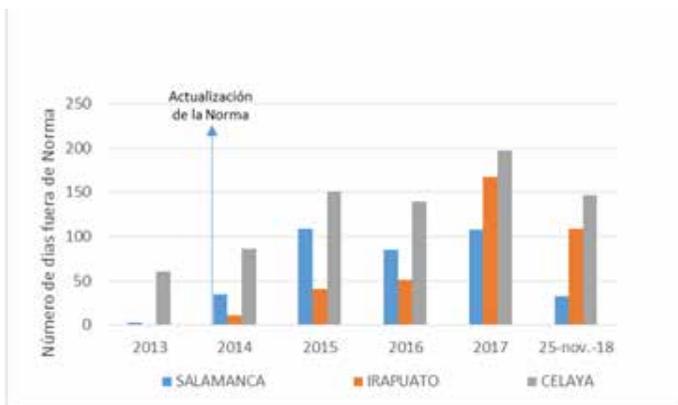


De acuerdo a los límites máximos permisibles de la NOM-025-SSA1-2014, se obtuvieron los días en los que las concentraciones de PM10 sobrepasaron la norma, es decir cuando el promedio de las 24 horas en un día fue superior a los 75 µg/m<sup>3</sup>. La gráfica 1 muestra los días fuera de norma que se registraron en cada municipio (Instituto de Ecología del Estado 2016).

Fuente: Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (2016).

La contaminación del aire no es identificada por la población como un problema relevante ya que sólo 10% de la población lo reconoce como tal; sin embargo, en el CPI [Índice Básico de las Ciudades Prósperas], el indicador de concentración de material particulado (PM10) que mide el nivel de concentración media diaria anual de PM10 en la atmósfera señala para el municipio de Celaya supera el nivel mínimo permitido a nivel global (40 µg/m<sup>3</sup>), por lo que es posible que haya un importante número de fuentes de contaminación en el municipio, y que la población esté expuesta a altos niveles de contaminación exterior (ONU- HABITAT, 2018, citado por el Plan Municipal de Desarrollo Celaya 2018-2040, p. 42).

Gráfica 2. Celaya presenta mayor incidencia fuera de la norma por PM10, histórico 2013-2018.



“Se estima que aproximadamente 3% de las muertes por causas cardiopulmonares a nivel global están asociadas con elevados niveles de material particulado [...] La población infantil puede tener afectaciones en el desarrollo de los pulmones y deficiencia en sus funciones” (WHO, 2013, p. 7). Se han encontrado incrementos en la tasa de mortalidad relacionados con este contaminante cuando la exposición es constante (Rodríguez et al., 2014).

Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato (2018).

El material particulado puede ingresar al organismo mediante diferentes vías, una de ellas, y tal vez la principal, es mediante la respiración. Pese a la existencia de pasajes sinuosos, vellos nasales, cilios, revestimientos húmedos y secreciones constantemente generadas por el organismo para remover las partículas, algunas de ellas se depositan y permanecen en el interior del cuerpo, lo que depende de su forma y diámetro aerodinámico, así como de la estructura del sitio de depositación [...] Se reconoce que las partículas inhaladas suelen medir menos de 100 µm. Las de tamaño superior a los 50 µm son generalmente atrapadas por los vellos nasales, mientras que las partículas mayores a 10 µm son impactadas e interceptadas por las paredes nasales.

Las partículas de la fracción respirable (≤10 µm) pueden traspasar estas estructuras, penetrar hasta los bronquios, y llegar a los bronquiolos y alveolos pulmonares (Tiwary & Colls, 2010, p. 361).

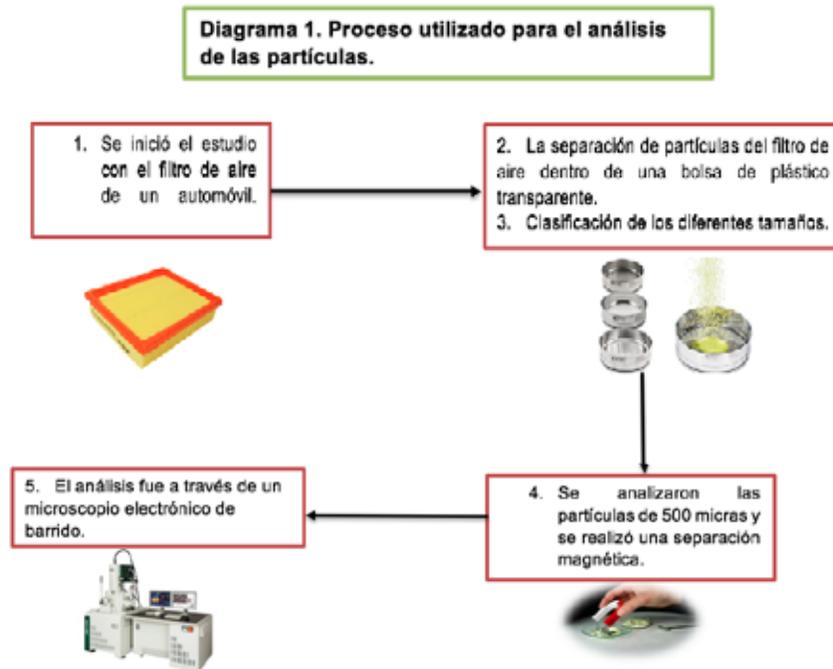
Con respecto a los trastornos respiratorios que se han asociado a la presencia de este contaminante atmosférico se encuentran la tos y bronquitis crónica, dolor de pecho, resfriado común, irritación en el tracto respiratorio, tos seca nocturna, asma y cáncer de pulmón (Tiwary & Colls, 2010; WHO [World Health Organization], 2013).

Otros problemas cardiovasculares asociados a la exposición de material particulado son el aumento de riesgo de calcificación aórtica y el engrosamiento íntimo-medio de la arteria carótida (Allen et al., 2009). Debido a lo anterior, la exposición al material particulado es actualmente reconocida como un importante factor de riesgo cardiovascular a nivel mundial. Lo anterior justifica la importancia de estudiar los contaminantes suspendidos en el aire de Celaya, Guanajuato. A partir del 18 de febrero del 2020 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2020, párrs. 1-3) emitió y entró en vigor la NOM 172:

Donde obliga a todos los gobiernos locales difundir de manera clara, oportuna y continua el estado de la calidad del aire, los riesgos y probables daños a la salud asociados a la calidad del aire y las acciones que puede adoptar para reducir su exposición a dichos contaminantes. La importancia y relevancia del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud radica en que no sólo se informa a la población sobre el estado de la calidad del aire (buena, aceptable, mala, muy mala y extremadamente mala [...]) En el 2015 la Organización Mundial de la Salud reportó 6.5 millones de muertes que se atribuyen a la contaminación atmosférica, de los cuales el 92% ocurren en países con economía emergente y 4.2 millones atribuible a las partículas PM2.5.

## DESARROLLO

El método utilizado es de corte cuantitativo-descriptivo, se llevó a cabo de enero a mayo del 2018, el filtro sujeto de estudio duro 5 meses en operación en un automóvil convencional recorriendo el centro y zonas periféricas de Celaya. Teniendo un recorrido diario de 32 kilómetros en promedio. En el diagrama 1 se muestran los equipos y materiales utilizados para analizar y separar las partículas provenientes del filtro de aire.

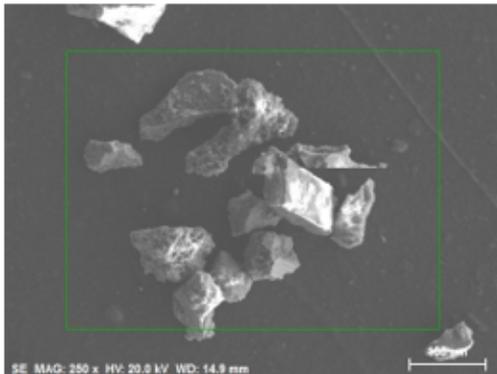


*Fuente: Elaboración propia.*

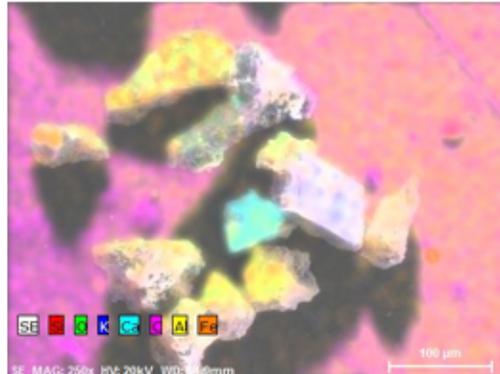
## RESULTADOS

El microscopio electrónico de barrido a través de la técnica del mapeo, arrojó los siguientes resultados: Se encontraron presentes los elementos de Si, O, K, Ca, C, Al, Fe y Na.

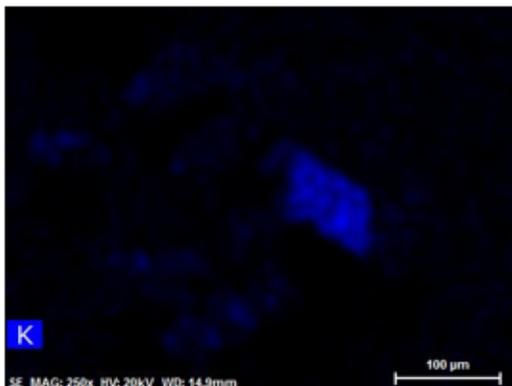
**Fotografía 1.** Se muestran las partículas analizadas con una distancia de 100  $\mu\text{m}$ .



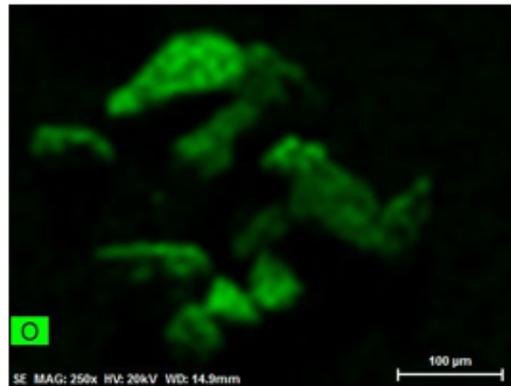
**Fotografía 2.** Mapeo de Si, O, K, Ca, C, Al, Fe, Na. Distribución de los diferentes elementos químicos en las partículas.



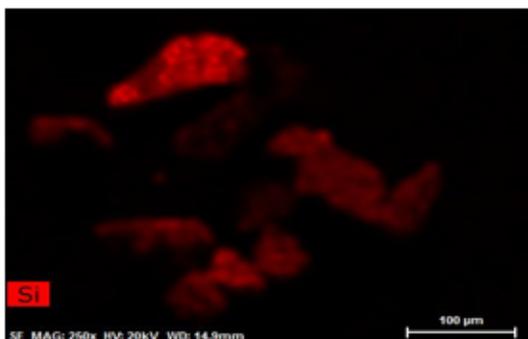
**Fotografía 3.** Elemento K.



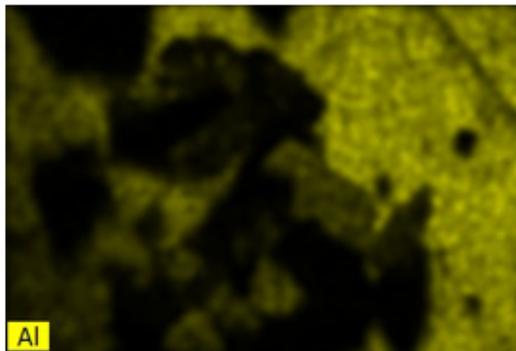
**Fotografía 4.** Elemento O en las partículas verdes.



**Fotografía 5.** Distribución del elemento Si, en las partículas con el color rojo.



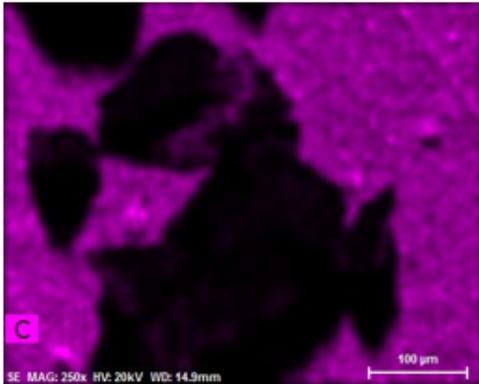
**Fotografía 6.** Distribución del elemento Al, en las partículas con el color amarillo.



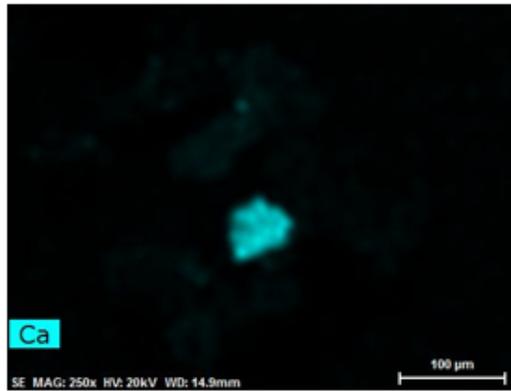
(Continuación de fotos registradas en las partículas).

Nota: Crédito de todas las fotografías y las gráficas 3 a la 7 fueron obtenidas en el laboratorio del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM.

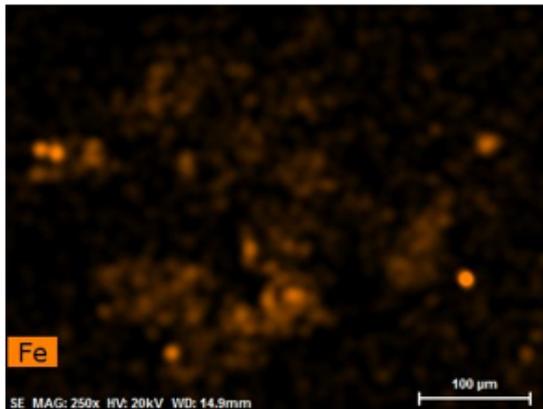
Fotografía 7. Distribución del elemento C, en las partículas con el color violeta.



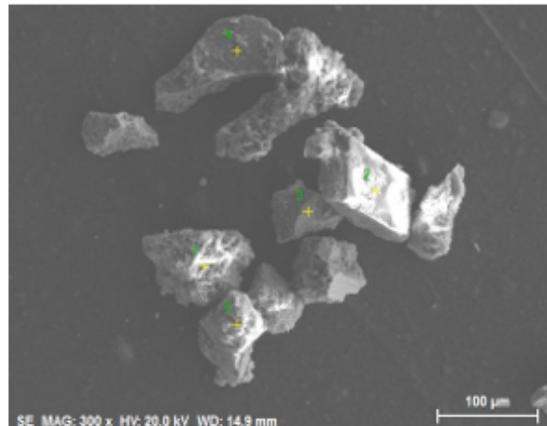
Fotografía 8. Distribución del elemento Ca, en las partículas con el color azul turquesa.



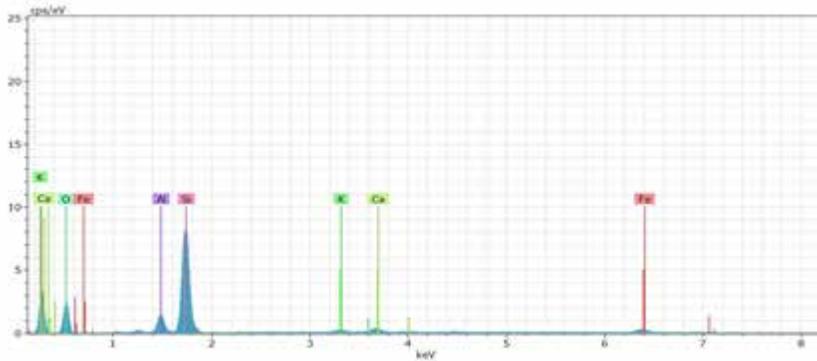
Fotografía 9. Distribución del elemento Fe, en las partículas con el color café claro.



Fotografía 10. Muestra la zona (punto) que se analizó el análisis químico (en la cruz amarilla), de cada una de las partículas, desde el punto 1.

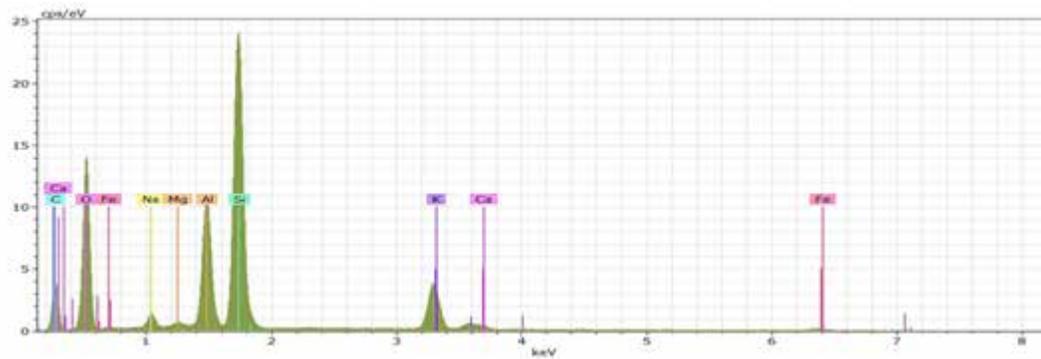


Gráfica 3. Elementos químicos presentes en el punto 1.



En la gráfica 3 se puede apreciar el punto 1 donde el elemento químico que predomina es el Silicio (Si), ya que es el segundo material más abundante en la tierra, lo que es el más fácil de encontrar en el filtro de aire.

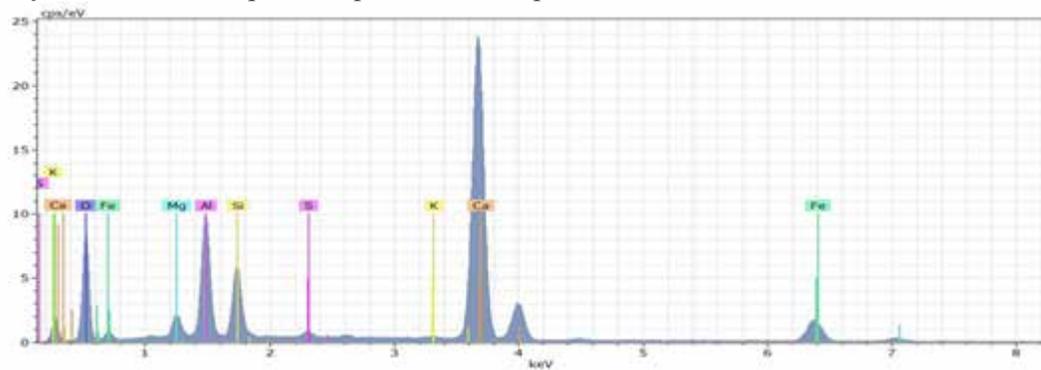
Gráfica 4. Elementos químicos presentes en el punto número dos.



En la gráfica 4 se puede visualizar que el Si sigue predominando en las partículas, pero aparecen otros elementos químicos como el O y Al.

El Si es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Es un metaloide con marcado lustre metálico y sumamente quebradizo. Por lo regular, es tetravalente en sus compuestos, aunque algunas veces es divalente, y es netamente electropositivo en su comportamiento químico. Además, se conocen compuestos de silicio pentacoordinados y hexacoordinados (Devlin, 2015).  $\text{SiH}_4$ , reacciona violentamente con cloro y se hidroliza a silicato e hidrógeno (Cox, 2014). El silicio elemental es un material inerte, que parece carecer de la propiedad de causar fibrosis en el tejido pulmonar (Antuña, 2009).

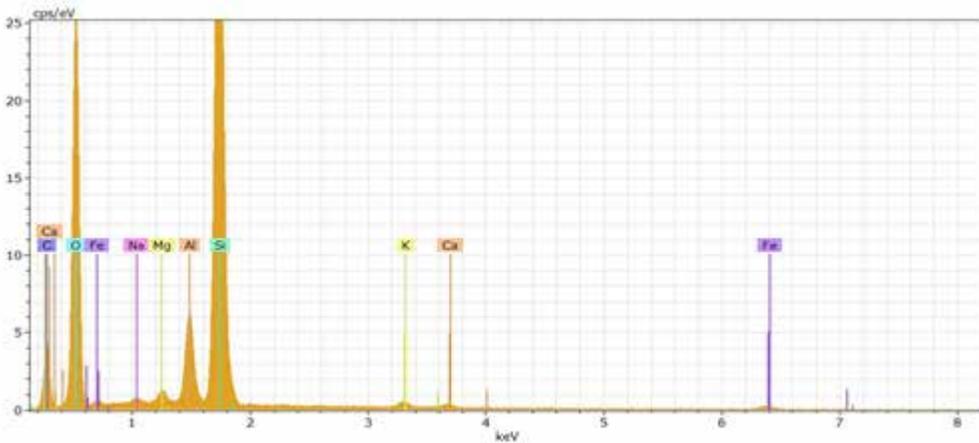
Gráfica 5. Elementos químicos presentes en el punto número tres.



En el gráfico 5 el elemento Ca tiene gran presencia, es fácil de encontrar en el medio ambiente y en el aire que se respira.

El Ca, es el quinto elemento y el tercer metal más abundante, los compuestos de calcio constituyen 3.64% de la corteza terrestre. El metal es trimorfo, más duro que el sodio, pero más blando que el aluminio. Al igual que el berilio y el aluminio, pero a diferencia de los metales alcalinos, no causa quemaduras sobre la piel. La distribución del calcio es muy amplia; se encuentra en casi todas las áreas terrestres del mundo. Este elemento es esencial para la vida de las plantas y animales, ya que está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y en muchos suelos (Brito, 2009). Reacciona violentamente con el agua en su estado de metal (proveniente de fábrica) para formar hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})$ ) desprendiendo hidrógeno (Bevelacqua, 2018). Un rápido aumento en los niveles de fosfato puede provocar una hipocalcemia grave (Miller, 2015).

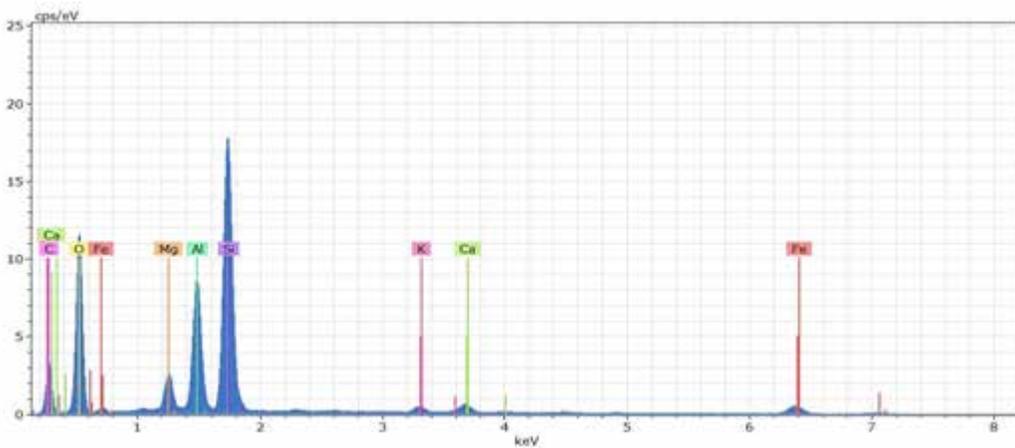
Gráfica 6. Elementos químicos encontrados en el punto número 4.



En la gráfica 6 los elementos químicos que notaron mayor participación fueron el Si y el O.

El O es un elemento químico gaseoso, es de gran interés por ser el elemento esencial en los procesos de respiración de la mayor parte de las células vivas y en los procesos de combustión. Es el elemento más abundante en la corteza terrestre. Cerca de una quinta parte (en volumen) del aire es oxígeno (Elguero, 2019). Reacciones del oxígeno con un metal, es la que ocurre con el magnesio al someterlo a la reacción de oxidación en una flama, pues desprende una intensa luz blanca y se convierte en un sólido blanco muy frágil; el producto de esta reacción es un óxido metálico llamado óxido de magnesio (Addleson, 2001). Todo ser humano necesita oxígeno para respirar, pero como ocurre con muchas sustancias un exceso de oxígeno no es bueno. Si uno se expone a grandes cantidades de oxígeno durante mucho tiempo, se pueden producir daños en los pulmones (Lavoisier, Munarriz, 2009).

Gráfica 7. Elementos químicos presentes en el punto número cinco.



Como se muestra en la gráfica 7, el Si nuevamente se manifiesta en el trozo número cinco, seguido de elementos como el O y el Al.

El Al puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles (Diaz, 2013). Reaccionan con facilidad con el ácido clorhídrico y el hidróxido sódico (Claramunt, 2015). La osteomalacia de bajo recambio y la enfermedad ósea aplásica se presentan en gran número de pacientes dependientes de diálisis (Harrison, 2012).

Otros metales presentes en el aire que arrojó la investigación es el Fe, es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético, se explotan como minerales de azufre y de cromo, respectivamente. El hierro se encuentra en muchos otros minerales y está presente en las aguas freáticas y en la hemoglobina roja de la sangre (Emsley, 2001). Reacciona con el oxígeno para formar óxido ferroso férrico, ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Expuesto al aire húmedo, se corroe lentamente, formando un óxido férrico hidratado de color marrón rojizo y textura porosa, usualmente conocido como orín (Cano, 2019), lo anterior y al entrar en contacto con el ser humano puede ocasionar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos (Schwarzenbach, 2003).

Otro elemento suspendido en el aire que se identificó fue el Carbono, es único en la química porque forma un número de compuestos mayor que la suma total de todos los otros elementos combinados, el grupo más grande de estos compuestos es el constituido por carbono e hidrógeno, se estima que se conoce un mínimo de 1.000.000 de compuestos orgánicos (Lavoisier, 2009). El dióxido de carbono, vital para el crecimiento de las plantas; con el hidrógeno forma numerosos compuestos denominados genéricamente hidrocarburos, esenciales para la industria y el transporte en la forma de combustibles fósiles (Gómez, 2009). La inhalación continuada de negro de carbón puede resultar en daños temporales o permanentes a los pulmones y en el corazón (Cox, 2014).

Otra partícula observada en el filtro es el K, éste ocupa un lugar intermedio dentro de la familia de los metales alcalinos después del sodio y antes del rubidio. Este metal reactivo es ligero y blando. Se parece mucho al sodio en su comportamiento en forma metálica (Emsley, 2001). Puede reaccionar si mezclamos dos soluciones, una que contenga nitrato de sodio y otro cloruro de potasio (Cox, 2014). Un exceso de potasio en el fluido extracelular dilata y hace flácido el corazón, disminuyendo el ritmo cardíaco (Wagner, 1983).

## CONCLUSIONES

La ciudad de Celaya, Gto., por su localización geográfica ha tenido un crecimiento exponencial producto del desarrollo de clústers como el automotriz o el alimenticio, la economía del Estado de Guanajuato crece a una velocidad diferente que el resto del país, no obstante, el costo de éste crecimiento [y no desarrollo] produce un deterioro en la calidad del aire. Las contingencias ambientales a corto plazo ya no solamente provendrán de la ciudad de México, también Celaya estará inmersa en éste tipo de medidas. La factura ambiental que cobra la proliferación de empresas, un aumento del parque vehicular, la disminución de áreas verdes y un simulado maquillaje de Responsabilidad Social que realizan las organizaciones, han provocado un aumento de partículas suspendidas en la atmósfera que tienen consecuencias en la salud pública.

A nivel global, China, Estados Unidos y la Unión Europea ocasionan el 54% de las emisiones de dióxido de carbono en el mundo. El aumento de la población en México y en muchas partes del mundo demandará la producción de más satisfactores en bienes y servicios que tendrán un impacto en la degradación del aire y en el ecosistema en general. Uno de los problemas principales de las partículas de contaminación; es conocer o cuando menos tener una idea del tamaño de partícula que se respira, se tiene conocimiento cuánto mide un niño, éste se puede medir en metros o en centímetros, el tamaño de un hámster lo asociamos con centímetros, el tamaño de un ácaro se mide en micras, el cabello humano tiene un tamaño de 50 a 70 micras y la arena de mar (óxido de silicio) tiene un tamaño de 90 micras más o menos. Sabedores de estos tamaños de partículas podremos entender que existen partículas que el ojo humano no puede ver, pero que están en el medio ambiente y que se han vuelto un peligro para la sociedad. El comportamiento de la calidad de aire en Celaya durante el 2017 y el 2018, tuvo una calidad no satisfactoria en un promedio aproximado de seis meses, y con la llegada de más empresas a la región, seguramente se tendrá más días y meses de mala calidad de aire y esto provocará un incremento en las enfermedades.

Celaya presenta el primer lugar de las ciudades del estado de Guanajuato con la mayor contaminación fuera de la norma de PM10 en un histórico que comprende 2013-2018. Se estima que aproximadamente tres por ciento de las muertes por causas cardiopulmonares a nivel mundial están asociadas con elevados niveles de material particulado. En los resultados de microscopio electrónico de barrido se encontraron partículas de Hierro, Potasio, Silicio y Calcio, las partículas tienen un tamaño de 10 a 130 micrómetros, siendo un daño potencial para la salud. La población puede tener afectaciones en el desarrollo de los pulmones y deficiencia en sus funciones, esto implicaría realizar menos ejercicio al aire libre. Hay evidencias científicas de un incremento en la tasa de mortalidad relacionados con este contaminante cuando la exposición es constante. El Hierro al entrar en contacto con el ser humano puede ocasionar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. En la presente investigación se identificaron partículas de 10 a 100 micrómetros de tamaño. Así también un exceso de potasio en el fluido extracelular dilata y hace flácido el corazón, disminuyendo el ritmo cardíaco. En el microscopio electrónico estuvieron presentes partículas de éste elemento con tamaños de 50 a 100 micrómetros. El control de la contaminación del aire en la ciudad de Celaya, Guanajuato debe elevarse a rango de urgencia ambiental, la calidad del aire se ha intensificado a más días no satisfactorios, lo anterior pone en riesgo la salud de la población y vulnera los derechos humanos fundamentales del hombre: gozar de un ambiente sano y el derecho a la salud.

En el 2019, más de 11,000 científicos de 153 países firmaron una advertencia en la revista Bioscience, fue un mensaje, claro, contundente e inequívoco: El planeta Tierra enfrenta una emergencia climática. Los daños son irreversibles y el futuro de la humanidad en un riesgo irrefutable. Al cierre de éste libro (18 de septiembre, 2020) la humanidad enfrenta una pandemia sanitaria denominada COVID-19 que ya ha ocasionado más de 950,000 muertes, las cifras siguen aumentando de forma alarmante y geométrica. Esta contingencia ha colapsado las bolsas de valores del mundo y desacelerado el crecimiento económico de todas las naciones. En caso de no tomarse medidas urgentes, el cambio climático se convertirá en una pandemia ecológica, dónde no habrá gobierno ni ser humano capaz de resistirla.

## REFERENCIAS

- ACDelco (2016). *Catálogos Filtros*. Recuperado el día 12 de enero de 2019 de [https://acdelco.mx/pdf/2016\\_catalogos/Filtros.pdf](https://acdelco.mx/pdf/2016_catalogos/Filtros.pdf)
- Addleson, L., & Company Bueno, J. (2001). *Materiales para la construcción*. Barcelona: Reverté.
- Allen, R., Criqui, M., Diez, A., Allison, M., Shea, S., Detrano, R., Kaufman, J. (2009). Fine Particulate Matter Air Pollution, Proximity to Traffic, and Aortic Atherosclerosis. *Epidemiology*, 20 (2), 254-264. <http://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31819644cc>.
- Antuña, J. (2009). *Léxico de la construcción*. [Madrid]: Gobierno de España, Ministerio de Ciencia e Innovación, CSIC.
- Ávila, A., Queralt, I., Alarcon, M. (1997). Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over North-Eastern Spain. *Journal of Geophysical Research* 102,21977-21966.
- Bevelacqua, A. (2018). *Hazardous Materials Chemistry*. Burlington: Jones & Bartlett Learning, LLC.
- Bolton, P., Després, M., Pereira Da Silva, L., Samama, F., & Svartzman, R. (2020). *The Green Swan. Central banking and financial stability in the age of climate change*. Bank for International Settlements.
- Canales, M., Quintero, M., Castro, T., & García, R. (2014). Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México. *Revista Información Tecnológica* 25 (6). Recuperado el día 4 de noviembre de 2019 de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v25n6/art03.pdf>
- Brito, M. (2009). *Introducción a la química orgánica y síntesis de fármacos*. Instituto Politécnico Nacional.
- Consejo Nacional de la Población [CONAPO] (2019). *Índices demográficos de México de 1950 a 2050*. Recuperado el día 3 de noviembre de 2019 de [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa\\_Ind\\_Dem18/index\\_2.html](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem18/index_2.html)
- Cano, J. (2019). *Elementos Químicos*. Recuperado de [http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/4propiedades/4\\_26.html](http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/4propiedades/4_26.html)
- Cox, P. (2014). *Inorganic Chemistry*. Oxford, GBR: Taylor and Francis.
- Claramunt, R. (2015). *Principales compuestos químicos*. ES: UNED.
- Devlin, T. (2015). *Bioquímica*. Barcelona: Reverté.
- Díaz, L. (2013). *Minerales y Vitaminas: Micronutrientes Esenciales en la Alimentación, Nutrición y Salud*. Formación Universitaria.
- Emsley, J. (2001). *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford University Press.
- Elguero J. (2019). *La tabla periódica de los elementos químicos*. Madrid: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Foro Económico Mundial (2017). *Los países más contaminantes del mundo*. Recuperado el día 20 de noviembre de 2019 de <https://es.weforum.org/agenda/2017/06/los-paises-mas-contaminantes-del-mundo>.
- Harrison., & Longo, D. (2012). *Principios de medicina interna*. México: McGraw-Hill.
- Interempresas (2014). *Mann+Hummel desarrolla nuevos filtros de habitáculos que eliminan las partículas peligrosas*. Recuperado el día 21 de noviembre de 2019 de <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/124084-Mann-Hummel-desarrolla-nuevos-filtros-de-habitaculos-que-eliminam-particulas-peligrosas.html>
- Instituto de Ecología del Estado (2016). *Informe de Estado y Tendencia 2016*. Recuperado el día 19 de noviembre de 2019 de <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/biblioteca-en-linea>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2019). *Parque vehicular*. Recuperado el día 3 de noviembre de <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
- Jiménez, C. (17 de mayo, 2019). Lidera Celaya en más días con contaminación del aire, ¿y Silao, Irapuato y León? *Periódico AM*. Recuperado el día 3 de noviembre de 2019 de <https://www.am.com.mx/guanajuato/noticias/Lidera-Celaya-en-mas-dias-con-contaminacion-del-aire-Silao-Irapuato-y-Leon-20190517-0026.html>
- Junco, J. (2016). *Material Particulado PTS, 10 y 2.5 micras*. Recuperado el día 21 de noviembre de 2019 de <http://www.monitoreoambiental.com/material-particulado-pts-10-y-2-5-micras/>
- Lavoisier, A., & Munarriz, J. (2009). *Tratado elemental de química*. Valladolid: Maxtor.
- López, J. (4 de diciembre de 2019). Emisiones mundiales de CO2 seguirán asfixiando al planeta. Periódico Milenio [Digital]. Recuperado el día 4 de diciembre de 2019 de <https://www.milenio.com/internacional/europa/emisiones-mundiales-co2-seguiran-asfixiando-planeta>

- Maciel, A., Medina, O., González, F., & Ramírez, J. (diciembre, 2017). *Ventajas y Desventajas de la instalación de Honda en la comunidad de la Luz Texas en Celaya, Gto.* Ponencia presentada en el 5 coloquio de investigación Estudiantil de la Ingeniería en Tecnologías de Manufactura. Universidad Politécnica de Guanajuato.
- Meadows, D., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W. (1972). *The limits to growth. A report for The Club of Rome's Project on the predicament of Mankind.* United States: Universe Books.
- Miller, R. (2015). *Anestesia.* Barcelona: Elsevier.
- Newsweek México (5 de marzo de 2019). Las 13 ciudades más contaminadas de México (CDMX y Monterrey no están entre las primeras). *Periódico Newsweek México.* Recuperado el día 3 de noviembre de 2019 de <https://newsweekspanol.com/2019/03/ciudades-contaminadas-mexico-cdmx/>
- NOM-025-SSA1-2014 (2014). NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, *Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.* Recuperado el día 20 de noviembre de 2019 de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014)
- Plan Municipal de Desarrollo Celaya 2018-2040. (2019). *Encuesta de percepción social de estado actual del municipio.* Recuperado el día 5 de marzo de 2020 de [http://www.celaya.gob.mx/cya/wp-content/uploads/2019/02/plan\\_municipal\\_desarrollo-celaya-2040.pdf](http://www.celaya.gob.mx/cya/wp-content/uploads/2019/02/plan_municipal_desarrollo-celaya-2040.pdf)
- Rodríguez, I., Mohamed, K., Rey, D., Rubio, B., & García, A. (2014). The influence of weather and climate on the reliability of magnetic properties of tree leaves as proxies for air pollution monitoring. *The Science of the total environment*, 468-469, 892-902. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.009>.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., & Imboden, D. M. (2003). *Environmental organic chemistry.* Estados Unidos: Wiley.
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato (2018). *Informe de acciones 2013-2018.* Recuperado el día 20 de noviembre de 2019 de [https://aip.ecologiagto.mx/2019/48A/T1/DGCA/informe\\_final\\_2013\\_2018\\_salamanca\\_celaya\\_e\\_irapuato.pdf](https://aip.ecologiagto.mx/2019/48A/T1/DGCA/informe_final_2013_2018_salamanca_celaya_e_irapuato.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2020). La NOM 172 *garantizará información más oportuna sobre la calidad del aire.* Recuperado el día 2 de marzo de 2020 de <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/nom-172-garantizara-informacion-mas-oportuna-sobre-calidad-del-aire-en-todo-el-pais-para-proteger-la-salud-de-la-poblacion>
- Tec Review (octubre, 2019). La década decisiva. *Revista Tec Review.* No. 25, pp- 28-34.
- Tiwary, A., & Colls, J. (2010). *Air Pollution: Measurement, modelling and mitigation* (3ª ed.). New York: Routledge.
- Torregrosa, (noviembre, 2010). La Nanotecnología y sus riesgos para la salud laboral. *Revista Naukas* [Digital]. Recuperado el día 22 de noviembre de 2019 de <https://naukas.com/2010/11/22/la-nanotecnologia-y-sus-riesgos-para-la-salud-laboral/#>
- Vousdoukas, M.I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L. et al. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Natural Climate Change.* 10, 260–263. Retrieved March 3, from <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>
- Wagner, J. (1983). *Farmacocinetica clinica.* Barcelona: Reverte.
- World Economic Forum [WHO] (2013). *Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia.* Dinamarca: World Health Organization.

## CAPÍTULO 5

### EL RECICLAJE DE RESIDUOS COMO FUENTE DE ENERGÍA Y REDUCTORA DE EMISIONES DE GEI: UN CASO DE ESTUDIO

*María Cristina Castañón Bautista<sup>9</sup>*

*Alicia Ravelo García<sup>10</sup>*

*Gerardo César Díaz Trujillo<sup>11</sup>*

*Eric Efrén Villanueva Vega<sup>12</sup>*

# INTRODUCCIÓN

Se estima que la población mundial incremente más de 9 billones, con ello se ejercerá presión sobre la demanda de energía, infraestructura y se estima que el consumo de recursos, principalmente aquellos provenientes de fuentes fósiles de todo tipo (Warrings & Fellner, 2018), se elevara al doble para el 2050 y en consecuencia el incremento de 1.2 a 1.4 Kilogramos en la generación de residuos por persona por día (OCDE, 2020), generando efectos negativos al ambiente (Kachirimandanidou, Maina, & Koutinas, 2017). Por otro lado, la composición de los residuos varía con relación al país, su economía y estilo de vida, como puede apreciarse en la Tabla 1, donde se observa una diferencia en porcentajes de los distintos tipos de residuos a nivel internacional y su composición en México.

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos urbanos.

Residuo	Composición en porcentaje (%)	
	A nivel internacional*	México**
Orgánicos	46	38
Papel	17	13
Plásticos	10	7
Metal	4	2
Otros	18	22

Fuente: \* (OCDE, 2020), \*\* (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020).

De acuerdo con datos del World Bank, se estima que para el 2025, la población de las ciudades generara 2.2 billones de toneladas de residuos sólidos por año y a nivel mundial, los costos de su gestión, aumentaran de 205 mil millones anuales aproximadamente a 375 mil millones en 2025 y con un aumento entre 4 y 5 veces más en países de ingresos medios- bajos y bajos respectivamente (World Bank, 2020), donde el manejo inadecuado puede comprometer la sustentabilidad de nuestro desarrollo (Saladié & Santos-Lacueva, 2016), por otro lado en materia de consumo de energía, la Agencia Internacional de Energía, señala que las tendencias actuales son insostenibles y las emisiones se incrementaran más del doble para el 2050 (Hatayama, Daigo, Matsuno, & Adachi, 2012).

En este contexto, algunos países como Estados Unidos de América han analizado sus productos desde el enfoque de ciclo de vida y el cambio de un proceso productivo lineal a uno cíclico, donde la reutilización de los materiales se incorpore a dicha actividad (Warrings & Fellner, 2018) y mejore la eficiencia en el aprovechamiento de recursos a fin de contrarrestar la presión sobre los elementos económicos, ambiental y social generado debido al uso lineal de recursos. Se estima que la aplicación de una economía circular creara más de 500,000 nuevos empleos y una reducción anual de emisiones de CO<sub>2</sub> de más de 400 millones de toneladas (Kachirimandanidou, Maina, & Koutinas, 2017). De ahí que, en el marco de una economía circular, el propósito es reemplazar el modelo de extracción-procesar-consumir-disponer a través de mantener el valor de los productos, materiales y recursos dentro de la economía y el mayor tiempo posible (Wagner & Schreck, 2017).

---

<sup>9</sup> Profesora-Investigadora de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la UABC [Universidad Autónoma de Baja California]. Cuenta con más de 25 años de experiencia en el área de Ingeniería y Tecnología Ambiental, con especialidad en calidad de aire y manejo de residuos orgánicos.

<sup>10</sup> Catedrática de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la UABC. Especialista en Ingeniería Hidráulica e Ingeniería Ambiental y Sanitaria, manejo de cuencas, con experiencia en proyectos hidrológicos.

<sup>11</sup> Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la UABC. Se tiene la experiencia de trabajo en uso de residuos industriales de composición inorgánica en sistemas cerámicos y en caracterización de material particulado en aire.

<sup>12</sup> Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la UABC. Especialista en Ingeniería Sistemas Energéticos y desarrollo de tecnología en energías renovables.

En este sentido, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y los objetivos para el desarrollo sostenible en materia de producción y consumo sustentable y la meta para el 2030 es reducir la generación de residuos a través de actividades de prevención, reducción, reciclaje y reutilización (Organización de las Naciones Unidas, 2020). Desde este enfoque, Gallardo y colaboradores (2017) señalan que las universidades pueden considerarse como pequeñas ciudades debido a que pueden tener varios campus y espacios tales como, edificios administrativos, aulas, talleres, cafeterías, donde hay consumo de recursos y generan emisiones al aire, descarga de agua residual y residuos sólidos urbanos, como se muestra en la Tabla 2 y que en este caso, pueden minimizarse a través del manejo adecuado y estrategias organizativas como la gestión integral de residuos (Edo-Alcón, Gallardo, & Renau, 2016) y su eficiencia dependerá de la reducción, reutilización, reciclaje y la gestión de los residuos a fin de proteger la salud humana y el ambiente (Adeniran, Nubi, & Adelopo, 2017).

Tabla 2. Generación de residuos en Universidades.

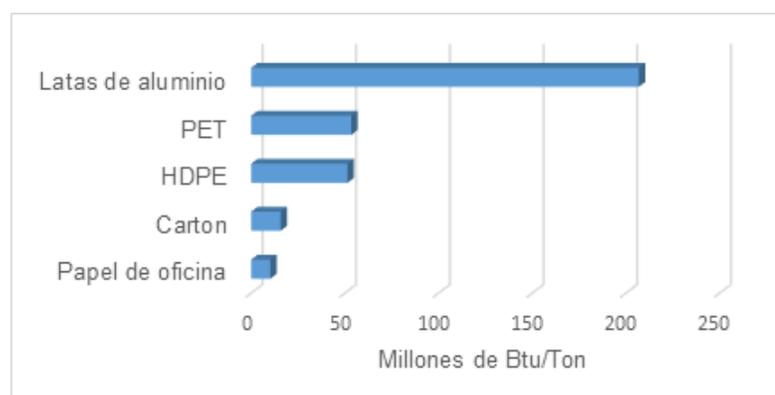
Institución educativa	Generación de residuos (gr/persona/día)	Lugar
Universidad Iberoamericana	330.00	México
Universidad de Tabriz	131.50	Irán
Universidad Jaume I	89.50	España
Universidad de Coventant	60.50	Nigeria
Universidad Británica de Columbia	59.20	Canadá
Universidad Mayor de San Andrés *	49.50	Bolivia
Universidad Autónoma de Baja California	45.60	México
Universidad de Massey	42.00	New Zealand

Fuente: (Edo-Alcón, Gallardo, & Renau, 2016), \* (Ferronato, y otros, 2020).

## RESIDUOS COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

Diversos autores han señalado que los residuos sólidos, además de generar costos económicos y ambientales en su manejo y disposición final para las autoridades locales, también pueden representar una oportunidad no solo a partir de la recuperación de materiales, sino también como una fuente de energía disponible (Tomic & Schneider, 2017), como puede apreciarse en la gráfica 1, donde el aluminio reciclado puede generar 200 millones de BTU por tonelada de latas enviadas a reciclaje, adicional a un impacto positivo por la disminución en la generación de los gases de efecto invernadero (Zakir, Hasna, Unddin, & Tofayal, 2014).

Gráfica 1. Ahorro de energía por tonelada reciclada.



Fuente (United States Environmental Protection Agency, 2006).

El propósito de este estudio es evaluar el impacto de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC) en relación con los envases vacíos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno de Alta Densidad (PEAD), cartón y latas de aluminio enviados a reciclaje durante el periodo 2017 al 2019 y calcular el potencial de ahorro de energía mediante el Waste Reduction Model (WARM) (United States Environmental Protection Agency, 2019).

## DESARROLLO Y METODOLOGÍA

En este trabajo se analiza en dos partes, la primera es aplicando el programa Cero Residuos de la UABC y la segunda utilizando el Modelo Individual de Reducción de Residuos (WARM) de la EPA, calculamos el ahorro de energía en BTU, así como las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### ÁREA DE ESTUDIO

La FCITEC Unidad Valle de las Palmas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), se encuentra ubicada en la parte Este de la ciudad de Tijuana en una superficie 50 hectáreas y cuenta con aulas, talleres, laboratorios, oficinas, centro comunitario, departamento de información académica y oferta 11 programas educativos en las áreas de la ingeniería y tecnología.

La FCITEC para el periodo escolar 2020-1 cuenta con una población estudiantil de 2,598 estudiantes como se muestra en la gráfica 2 y aproximadamente 200 catedráticos. Las actividades principales en la Facultad son la docencia, investigación, administración y mantenimiento de la infraestructura y equipos, actividades que se realizan durante 225 días al año. La generación estimada por persona por día en la Facultad es de 46.18 gr/persona/día.

Gráfica 2. Población estudiantil en FCITEC.



Fuente: (Universidad Autónoma de Baja California, 2020).

## **GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA UABC**

En la UABC la gestión de residuos se realiza a través de la implementación del Programa Institucional “Cero Residuos” y su objetivo es evitar que el 90% de los residuos generados lleguen al relleno sanitario (Universidad Autónoma de Baja California, 2020), en el caso de FCITEC, los residuos que se envían a reciclaje son toners y cartuchos vacíos, electrónicos, papel, cartón, latas de aluminio, recipientes vacíos de PET y PEAD.

En FCITEC, las latas de aluminio, PET, PEAD se depositan en estructuras metálicas que cuentan con contenedores identificados con un código de colores y se encuentran distribuidos en la Facultad, una vez que se llenan, personal de intendencia los trasladan al almacén de residuos de manejo especial, donde se segregan en bolsas de lonas de 1m<sup>3</sup> de capacidad y periódicamente son enviados a reciclaje a distintas empresas de la localidad. Para el papel y cartón, se tienen puntos de acopio en la Facultad, una vez que están llenos, son trasladados al almacén, para su posterior envío a reciclaje.

La generación diaria de residuos sólidos urbanos en la FCITEC se determinó con base en los residuos generados diarios que son enviados al contenedor general y los que se acopian en el almacén para su posterior traslado a reciclaje.

### **MODELO DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS (WARM)**

El modelo fue creado en 1998 por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) con el objetivo de proporcionar a los usuarios una herramienta simple para evaluar el desempeño ambiental de las alternativas para el manejo de residuos sólidos, además de ayudar a los planificadores y organizaciones de residuos sólidos a estimar las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los impactos económicos de varias prácticas diferentes de gestión de residuos.

Los factores de emisión de GEI utilizados en software se basan en una perspectiva del ciclo de vida, el modelo WARM se implementó en el software gratuito de Código Abierto de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) llamado openLCA., dicha base de datos resultante se utiliza para el cálculo de impactos en la herramienta WARM para caso de versión WAEM v15 (mayo 2019) utilizada en este trabajo (United States Environmental Protection Agency, 2019).

El cálculo del ciclo de vida de los gases de efecto invernadero (GEI) evalúa e informa las emisiones de GEI del ciclo de vida completo asociadas con la extracción, fabricación o procesamiento de materias primas, transporte, uso y gestión del final de la vida útil de un bien o servicio. Una perspectiva del ciclo de vida representa todas las emisiones conectadas al bien o servicio, independientemente de qué actividades o sectores industriales o económicos produzcan estas emisiones (por ejemplo, sectores de energía, minería, manufactura o desechos) y cuándo estos beneficios ocurren con el tiempo. Esto es fundamentalmente diferente de los inventarios de GEI que cuantifican las emisiones de diferentes sectores industriales o económicos anualmente.

El Modelo de Reducción de Residuos de la EPA (WARM) es un ejemplo de una herramienta de cálculo de los GEI de ciclo de vida. Difiere de los inventarios de GEI de dos maneras importantes (Environmental Protection Agency, 2019):

- 1) El modelo evalúa los beneficios de los GEI desde una perspectiva de sistemas, abarcando los sectores tradicionales utilizados en los inventarios, para mostrar cómo las prácticas de fabricación, transporte y eliminación de final de vida se relacionan con la gestión de materiales.

2) Cuantifica los beneficios completos de GEI de las decisiones de gestión de materiales, independientemente de cuándo ocurran los beneficios.

En contraste con la perspectiva usada en las herramientas de cálculo del ciclo de vida, los inventarios de GEI identifican y cuantifican las fuentes de causa humana y los descensos de GEI para desarrollar un conteo de las emisiones globales para una entidad específica (por ejemplo, organización, comunidad o nación). Los inventarios de GEI se utilizan para establecer bases, rastrear las emisiones y medir las reducciones a lo largo del tiempo para esa entidad. La perspectiva de los inventarios depende del plazo utilizado para evaluar las emisiones. En algunos casos, los inventarios pueden ofrecer un cálculo más estrecho de las emisiones de GEI, por ejemplo, un inventario anual que incluye emisiones asociadas con la producción de materiales puede no incluir también las emisiones asociadas con la gestión de ese material al final de su vida útil dado que el material aún puede estar en uso. Esto evita que quienes toman decisiones utilicen inventarios para evaluar los beneficios completos del ciclo de vida de las opciones de gestión de materiales. Esta visión del ciclo de vida es exactamente la perspectiva que las herramientas de cálculo de GEI, como el modelo WARM, están diseñadas para comunicar. Las diferencias que tienen entre sí y los usos de estos dos métodos se describen en la tabla a continuación.

*Tabla 3. Resumen de las características y usos clave de los enfoques de cálculo de GEI de ciclo de vida (como el Modelo de reducción de residuos de la EPA) en relación con los inventarios de emisiones de GEI.*

<b>Características</b>	<b>Cálculo del ciclo de vida de GEI</b>	<b>Inventarios de emisiones de GEI</b>
	<p>Normalmente se usa para evaluar las emisiones de GEI para un material o producto específico.</p> <p>Proporciona una perspectiva de sistemas que evalúa las emisiones de GEI de la extracción, procesamiento, fabricación, transporte de materias primas, a través de la eliminación de un producto, material o servicio.</p> <p>Evalúa todas las emisiones o beneficios de GEI durante el ciclo de vida completo de un producto, material o servicio, sin importar en qué sector o cuándo ocurran.</p>	<p>Proporciona un conteo integral de las emisiones de GEI a nivel organizacional, local, estatal, nacional, regional o global.</p> <p>Evalúa las emisiones de GEI de las categorías o sectores de origen, por ejemplo, agricultura, energía, residuos.</p> <p>Estima las emisiones de GEI para un año específico.</p>
<b>Usos</b>	<p>Identifica los puntos importantes a lo largo del ciclo de vida de un producto, material o servicio donde las emisiones son grandes.</p> <p>Determina las huellas de GEI y mide el efecto de los pasos para reducir las emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida de un producto, material o servicio.</p> <p>Evaluar los cambios en las decisiones de política relacionadas con la producción, el transporte, el uso y la eliminación de productos, materiales o servicios.</p> <p>Compara los impactos de materiales, métodos y prácticas alternativos.</p>	<p>Identifica grandes emisores de emisiones de GEI dentro de una organización, comunidad, estado, región o nación.</p> <p>Establece líneas de base, metas y objetivos para las reducciones.</p> <p>Rastrea las emisiones de GEI para comprender las tendencias.</p> <p>Mide las reducciones anuales y realiza comparaciones entre entidades.</p>

*Fuente: Modificado de Life-Cycle, (EPA, 2010).*

El software calcula las emisiones de GEI, la energía y los impactos económicos para una línea base y las prácticas alternativas de gestión de residuos, incluida la reducción de fuentes, el reciclaje, la combustión, el compostaje y los vertederos (rellenos sanitarios). El modelo calcula las emisiones en toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente (MTCO<sub>2</sub>E) y toneladas métricas de equivalente de carbono (MTCE), energía en millones de BTU (MMBTU), impacto salarial, impacto fiscal y horas laborales, utilizando más de 60 tipos de materiales comúnmente encontrados en los Residuos Sólidos Municipales (RSU).

El programa puede construir varios escenarios ingresando datos de la cantidad de desechos manejados por tipo de material y por la práctica de gestión, el software WARM calcula la emisión de materiales específicos, la energía y los factores económicos para cada práctica de gestión para calcular las emisiones de GEI, el uso de energía y los impactos económicos de cada escenario. En este programa se puede modificar varias entradas como las distancias de transporte a las instalaciones de RSU, como se explica en el siguiente ejemplo.

En la FCITEC durante los años de 2017 a la fecha reciclamos los materiales como cartón, aluminio, PET y PEAD, en este ejercicio consideramos el periodo de reciclaje del 2017 al 2019, como se ve en la tabla 4.

*Tabla 4. Material reciclado periodo (2017-2019) en FCITEC.*

<b>Año</b>	<b>PET</b>	<b>PEAD</b>	<b>Papel y Cartón</b>	<b>Aluminio</b>
2017	625.2	28.3	4440	1.6
2018	780.5	139.1	2330	111.1
2019	493	170.7	1250	110.5
<b>Total</b>	<b>1898.7</b>	<b>338.1</b>	<b>8020</b>	<b>223.2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los kilogramos totales de reciclaje de materiales se convierten a toneladas cortas (t), como se observa en la siguiente tabla.

*Tabla 5. Kilogramos y toneladas cortas del material reciclado periodo (2017-2019) en FCITEC.*

<b>Total</b>	<b>PET</b>	<b>PEAD</b>	<b>Papel y cartón</b>	<b>Aluminio</b>
<b>Kg</b>	1898.7	338.1	8020	223.2
<b>t</b>	2.0929	0.3726	8.8405	0.246

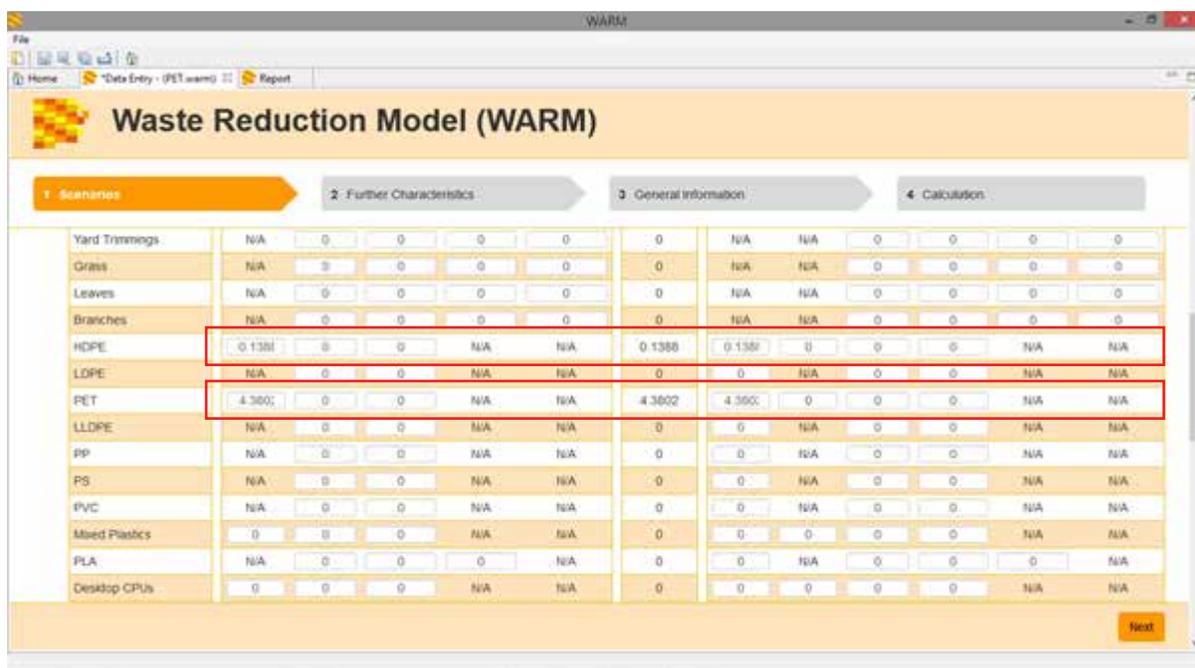
Fuente. Elaboración propia.

La determinación del cálculo de las emisiones de GEI y las unidades de energía utilizando el programa WARM se presentan conforme a este orden:

**1.- Generación de escenario básico y alternativo:**

Se pueden construir simplemente ingresando datos sobre la cantidad de desechos manejados por tipo de material y por la práctica de gestión. Hay sesenta tipos de materiales y seis prácticas de gestión disponibles las cuales son: reciclaje, relleno sanitario, combustión, compostaje, digestión anaeróbica y reducción de fuentes. Esta última práctica solo se incluye en el “Escenario alternativo”, y se refiere a la disminución en la generación de residuos en comparación con los residuos manejados en el escenario de referencia. Seleccionamos el producto e introduciremos los datos de los materiales reciclados en las unidades indicadas en el programa t2 (toneladas cortas cuadradas), como se observa en la siguiente imagen.

*Imagen 1. Materiales reciclados (2017-2019) en FCITEC.*



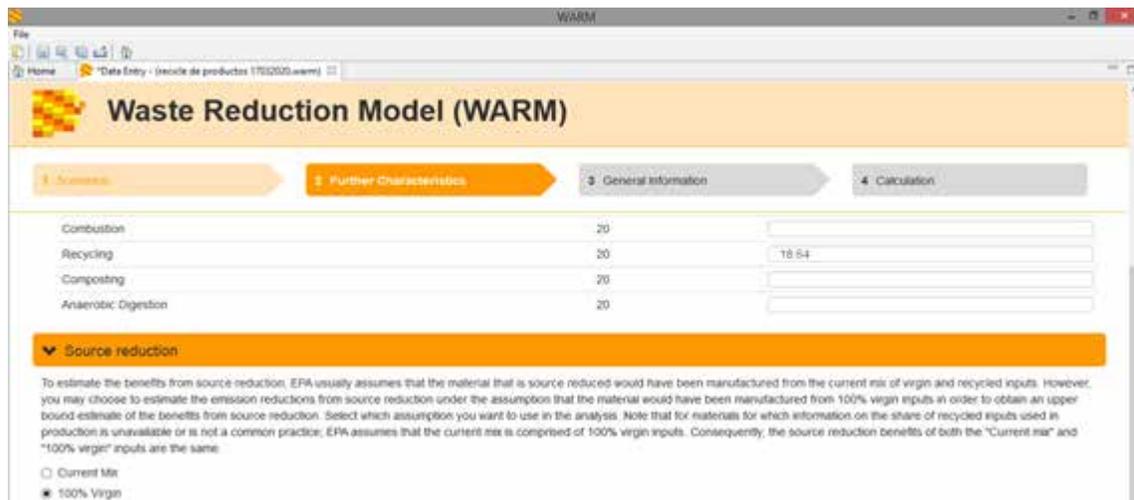
*Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2019).*

**2.- Características adicionales:**

En este apartado el usuario puede modificar varias entradas clave que afectan los GEI y los resultados de energía los cuales son:

- Localización: ubicación de la zona de proyecto.
- Características del transporte de residuos: las distancias cubiertas entre el lugar donde se recogieron los residuos y la instalación de gestión, para este ejercicio la distancia es 30 km, equivalente a 18.64 millas.
- Reducción en la fuente: el programa tiene dos opciones para indicar si los materiales reciclados fueron fabricados utilizando materia virgen o mixta, para este ejercicio utilizamos la segunda opción.

Imagen 2. Características adicionales.



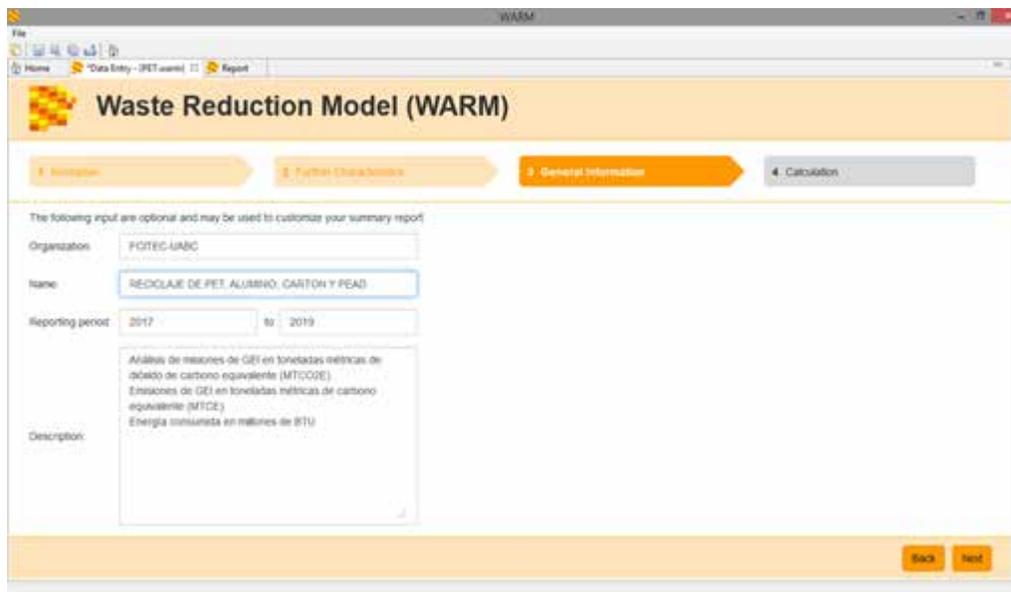
Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2019).

### **3.- Generación de información:**

Este apartado se realiza con fines de documentación. Puede incluir el nombre de la organización, el período de análisis y una descripción de los métodos que se utilizan, para este ejercicio son:

- Emisiones de GEI (MTCO<sub>2</sub>E).
- Emisiones de GEI (MTCE).
- Energía consumida en millones de BTU.

Imagen 3. Entrada de datos generales del proyecto.



Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2019).

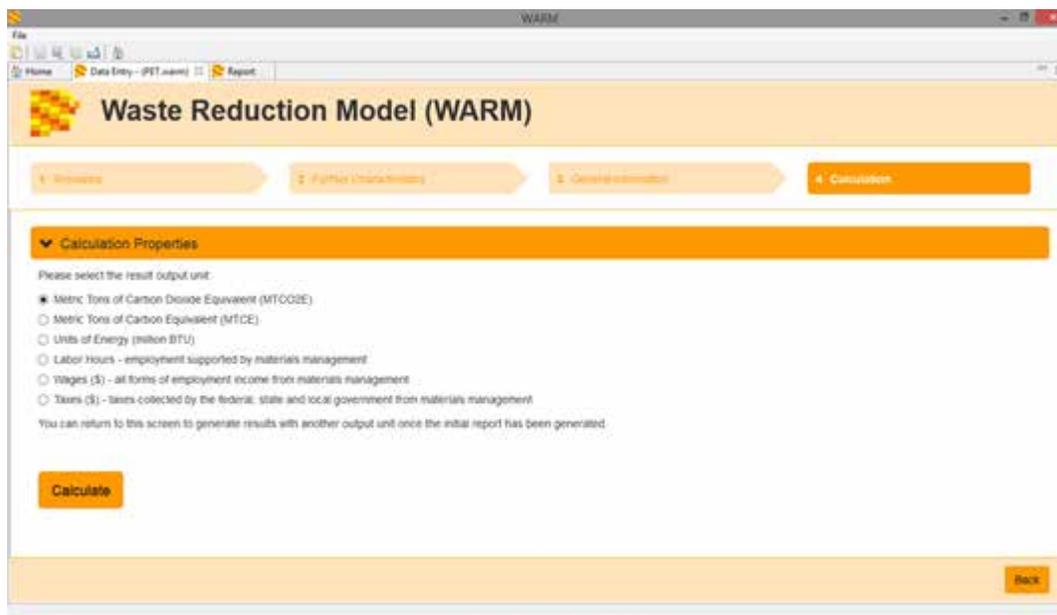
#### **4.- Cálculo.**

Se pueden realizar seis tipos de cálculos en la herramienta WARM, y son los siguientes:

- Emisiones de GEI en toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente (MTCO<sub>2</sub>E).
- Emisiones de GEI en toneladas métricas de carbono equivalente (MTCE).
- Energía consumida en millones de BTU.
- Horas laborales.
- Salarios.
- Impuestos recaudados por el gobierno federal, estatal y local de la gestión de materiales.

Para este ejercicio solo consideramos los tres primeros métodos.

*Imagen 4. Métodos de cálculo.*



*Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2019).*

## **RESULTADOS**

**Primer método:** Determinación de las emisiones de GEI en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MTCO<sub>2</sub>E).

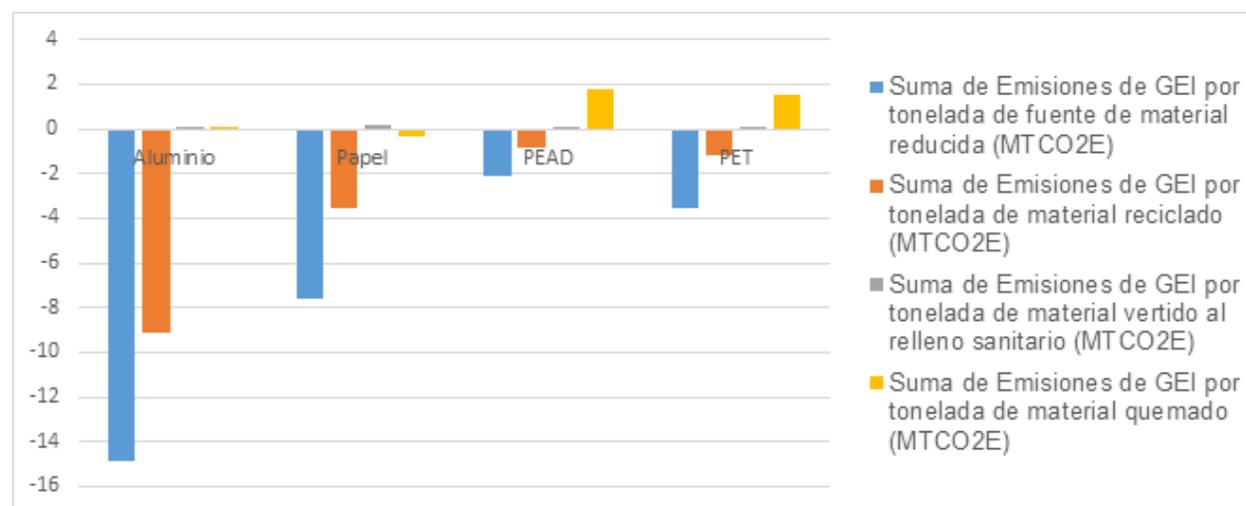
Factores de emisión: esta tabla contiene los factores de emisión en la unidad seleccionada por tipo de material y práctica de gestión. Las toneladas especificadas por material y práctica de manejo se multiplican por estos factores para obtener la emisión de GEI / consumo de energía / resultados de impacto económico. De acuerdo con la tabla 6 y la gráfica 3, la reducción en emisiones es mayor en el reciclaje de aluminio, tanto por la reducción en la fuente de origen como por material reciclado y en orden descendente el papel, el PET y PEAD.

Tabla 6. Resultados de factores de emisiones de GEI en toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente (MTCO<sub>2</sub>E) por tipo de material.

Factores de emisión en MTCO <sub>2</sub> E				
Material	Emisiones de GEI por tonelada en reducción de fuente	Emisiones de GEI por tonelada de material reciclado	Emisiones de GEI por tonelada de material vertido al relleno sanitario	Emisiones de GEI por tonelada de material quemado
Papel y cartón	-7.6	-3.55	0.17	-0.32
PEAD	-2.12	-0.85	0.02	1.78
PET	-3.55	-1.15	0.02	1.5
Aluminio	-14.84	-9.13	0.02	0.02

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Emisiones de GEI en toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente (MTCO<sub>2</sub>E) por tipo de material.



Fuente: Elaboración propia.

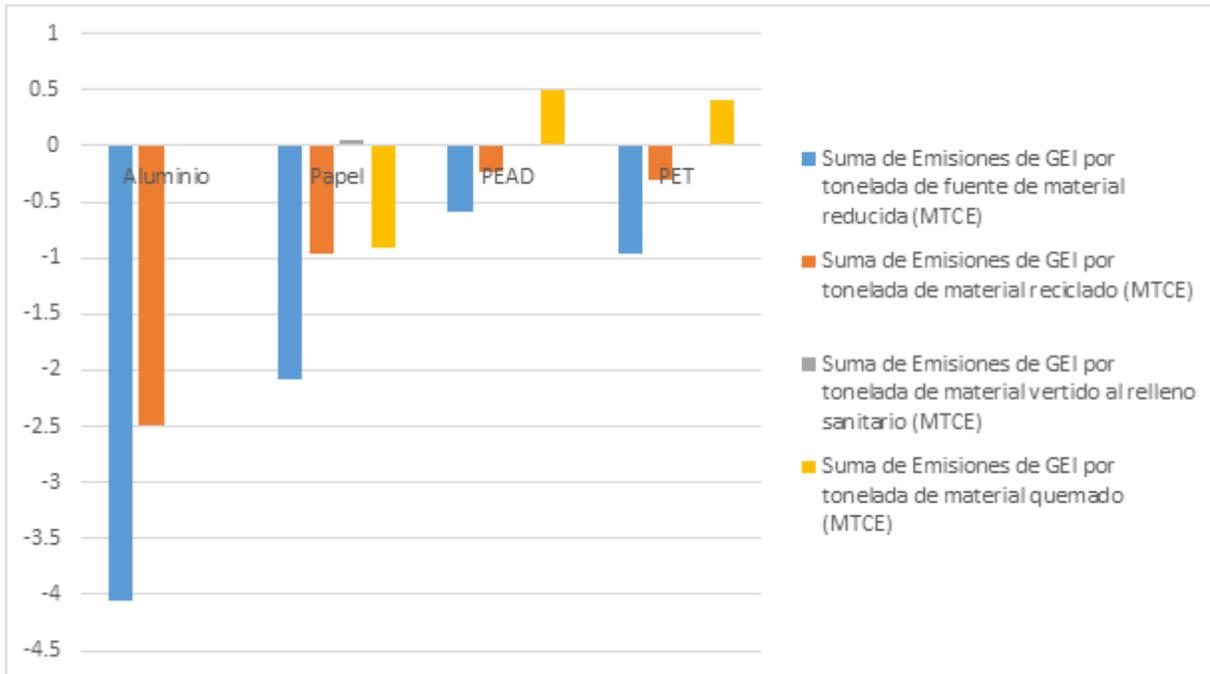
**Segundo método:** -Emisiones de GEI en toneladas métricas de carbono equivalente (MTCE).

Tabla 7. Resultados de factores de emisiones de GEI en toneladas métricas de carbono equivalente (MTCE) por tipo de material.

Factores de emisión en MTCE				
Material	Emisiones de GEI por tonelada de material reducido en la fuente (MTCE)	Emisiones de GEI por tonelada de material reciclado (MTCE)	Emisiones de GEI por tonelada de material vertido al relleno sanitario (MTCE)	Emisiones de GEI por tonelada de material quemado (MTCE)
Papel y cartón	-2.08	-0.97	0.05	-0.9
PEAD	-0.58	-0.23	0	0.49
PET	-0.97	-0.31	0	0.41
Aluminio	-4.05	-2.49	0	0.01

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Emisiones de GEI en toneladas métricas de carbono equivalente (MTCE) por tipo de material. (Continuación de la gráfica 4)



Fuente: Elaboración propia.

**Tercer método:** - Energía utilizada en millones de BTUs.

Como se aprecia en la tabla 8, el uso de energía por tonelada de material reducido en la fuente es mayor en el aluminio y el PEAD, así como por uso de material reciclado como fuente de energía.

Tabla 8. Resultados de factores de emisiones de la energía utilizada en millones de BTUs por tipo de material.

Factores de emisión de energía utilizada en millones BTUs				
Material	Uso de energía por tonelada de material reducido en la fuente (millones de BTUs)	Uso de energía por tonelada de material reciclado (millones BTUs)	Uso de energía por tonelada de material vertido (millones BTUs)	Uso de energía por tonelada de material quemado (millones BTUs)
Papel y cartón	-32.93	-20.57	-0.19	-5.87
PEAD	-96.61	-50.24	0.23	-16.52
PET	-81.94	-31.92	0.23	-8.78
Aluminio	-270.92	-152.77	0.23	0.23

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Uso de energía por tonelada de material quemado (millones BTUs).



Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

La FCITEC-UABC, como generadora de residuos sólidos, tiene un compromiso con su comunidad local con relación al manejo y la disminución de éstos en la Unidad Académica, así como impulsar entre los jóvenes un estilo de vida sostenible y de respeto por el entorno natural, donde se espera que en los próximos años la generación de residuos por persona por día presente una reducción. Se estima que la implementación del Programa Institucional Cero Residuos, ha propiciado una cultura del reciclaje entre la comunidad universitaria y el éxito de éste en un futuro cercano, dependerá de la continuidad de las siguientes administraciones en la UABC.

Dado el grado de avance dentro de la formación de estudiantes universitarios, se estima el poder llevar a cabo un efecto multiplicador en niveles de educación previa, promover una cultura de reciclaje y de esta forma el que desde temprana edad el estudiante incluya dentro de su disciplina una formación de reciclaje y cero residuos, por lo cual se debe realizar un programa de divulgación que se elabore conforme a nivel educativo. Se tiene la certeza que, promoviendo el reciclado a nivel preescolar, el participante lo lleva a su hogar y reorienta los hábitos familiares y por ende laborales.

A nivel empresa, implementar este programa, en gran medida se ve fortalecida su economía al redirigir residuos a sistema de reciclaje. Con base en datos de los residuos generados por persona por día en diversas universidades, la FCITEC se encuentra entre las instituciones educativas con menor generación per cápita con 46 gr.

Durante el periodo 2017 al 2019, FCITEC, envió a reciclaje y en orden descendente envases de PET, papel y cartón, recipientes de PEAD y latas de aluminio con un peso total de 11.55 toneladas cortas, evitando la emisión de GEI de 28.14 MTCO<sub>2</sub>E y una reducción de 482.4 millones de BTUs por el aprovechamiento de material reciclado para la producción de energía, la cual en un futuro puede ser utilizada en las instalaciones de FCITEC y con esto bajar en un porcentaje los costos de energía, también este ejercicio puede servir de modelo para darse cuenta que mediante el reciclaje en instituciones educativas públicas y privadas que son consideradas como pequeñas ciudades, podemos bajar las emisiones de los GEI que son los causantes de cambio climático en el planeta.

Aun cuando la cantidad de aluminio enviado a reciclaje por la FCITEC es menor a los otros residuos y con base en los resultados del Modelo WARM, los beneficios al ambiente por la reducción de emisiones GEI evitadas, así como el ahorro de energía si se utilizara aluminio reciclado como fuente de materia prima son mayores, comparadas con los resultados del escenario estimado para el PEAD, el papel, cartón y PET.

## REFERENCIAS

- Adeniran, A., Nubi, A., & Adelopo, A. (2017). Solid waste generation and characterization for a sustainable waste management. (Elsevier, Ed.) *Waste Management*, 67, 3-10.
- Al-Salem, S., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. (Elsevier, Ed.) *Waste Management*, 29, 2625-2643.
- Edo-Alcón, N., Gallardo, A., & Renau, M. (2016). The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. (Elsevier, Ed.) *Waste Management*, 53, 3-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.013>
- Environmental Protection Agency, E. (15 de 05 de 2019). *EPA.gov*. Obtenido de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-06/documents/warm-users-guide\\_v15\\_may2019.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-06/documents/warm-users-guide_v15_may2019.pdf)
- EPA. (27 de 10 de 2010). *EPA*. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/life-cycle-ghg-accounting-versus-ghg-emission-inventories10-28-10.pdf>
- EPA, E. P. (27 de 10 de 2010). *EPA.GOV*. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/life-cycle-ghg-accounting-versus-ghg-emission-inventories10-28-10.pdf>
- Ferronato, N., Guisbert, E. L., Velasco, J. T., Blanco, J. C., Preziosi, G., & Torretta, V. (Marzo de 2020). Selective collection of recyclable waste in Universities of low-middle income countries: Lessons learned in Bolivia. *Waste Management*, 105, 198-210.
- Grimaud, G., Perry, N., & Laratte, B. (2016). Life Cycle Assessment of Aluminium Recycling Process: Case of Shredder Cables. *Procedia CIRP* 48, 212-218.
- H., K. H. (2019). LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore. (Elsevier, Ed.) *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 67-77. Recuperado el Marzo de 2020
- Hatayama, H., Daigo, I., Matsuno, Y., & Adachi, Y. (2012). Evolution of aluminium recycling initiated by the introduction of next-generation vehicles and scrap sorting technology. *Resources, Conservation and Recycling*, 8-14.
- Kachirimandanidou, V., Maina, S., & Koutinas, A. (2017). A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. *Green and Sustainable Chemistry*, 18-23.
- Maurice, P. S., Niero, M., Bey, N., & Paraskevas, D. (2017). Environmental screening of novel technologies to increase material circularity: A case study on aluminium cans. *Resources, Conservation and Recycling*, 96-106.
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE]. (28 de Febrero de 2020). *Oecd.org*. Obtenido de *Oecd.org*: <https://www.oecd.org/acerca/>
- Organización de las Naciones Unidas. (08 de Marzo de 2020). *Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Saladié, Ó., & Santos-Lacueva, R. (2016). The role of awareness campaigns in the improvement of separate collection rates of municipal waste among university students: A causal Chain Approach. *Waste Management*, 48-55.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (17 de Marzo de 2020). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: [http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/PNPGIR%20\\_2017-2018.pdf](http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/PNPGIR%20_2017-2018.pdf)

- Tomic, T., & Schneider, D. (10 de Marzo de 2017). Municipal solid waste system analysis through energy consumption and return approach. *Journal of Environmental Management*, 973-987. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.070>
- United States Environmental Protection Agency. (Septiembre de 2006). *National Service Center for Environmental Publications* (NSCEP). (U. S. Agency, Ed.) Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de National Service Center for Environmental Publications (NSCEP).
- United States Environmental Protection Agency. (Mayo de 2019). *United States Environmental Protection Agency*. (U. S. Agency, Ed.) Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/warm/versions-waste-reduction-model-warm#15>
- Universidad Autónoma de Baja California. (08 de Marzo de 2020). *Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*. Obtenido de Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología: <http://citecuvp.tij.uabc.mx/>
- Universidad Autónoma de Baja California. (08 de Marzo de 2020). *Universidad Autónoma de Baja California*. Obtenido de Universidad Autónoma de Baja California: <http://www.uabc.mx/GestionAmbiental/>
- Wagner, J., & Schreck, M. (2020 de Marzo de 2017). Incentivizing secondary raw material markets for sustainable waste management. (Elsevier, Ed.) *Waste Management*, 67, 354-359. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.036>
- Warrings, R., & Fellner, J. (2018). Current status of circularity for aluminium from household waste in Austria. *Waste Management*, 217-224.
- World Bank. (06 de Marzo de 2020). *World Bank*. Recuperado el 2020, de World Bank: <https://www.worldbank.org/>
- Zakir, H. H., Hasna, Q. H., Unddin, M. M., & Tofayal, M. A. (16 de Marzo de 2014). Municipal solid waste (WSW) as a source of renewable energy in Bangladesh: Revisited. (Elsevier, Ed.) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 35-41.

## **CAPÍTULO 6**

### **EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO ANTE LA SALUD**

*Fernando Martínez Barroso & Edith Castañon Ramírez<sup>13</sup>*

# INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una amenaza emergente para la salud pública, y modifica la manera en que se debe considerar la protección hacia las poblaciones vulnerables. El cambio climático representa la principal amenaza para el bienestar mundial del siglo XXI (Costello et al. 2009), si bien no se sabe con certeza el grado de influencia que pueda tener sobre la salubridad debido a la complejidad de los procesos subyacentes. No obstante, si se tienen en cuenta tanto el conocimiento actual como las proyecciones con un grado alto de certidumbre, está claro que el clima está cambiando, y que este cambio afecta y seguirá afectando a la salud.

Es probable que los factores antropogénicos que inciden en todo el sistema climático sean la principal causa del recalentamiento del planeta que se observa desde mediados del siglo XX (Pachauri *et al.* 2014). Este rápido cambio climático plantea retos directos e indirectos para la fortaleza humana (Nairobi, 2012). Son abrumadoras las pruebas acerca de la carga de enfermedad y las muertes derivadas de los riesgos ambientales (Prüss-Üstün, Corvalán, Bos & Neira, 2016), efectos que, según está previsto, seguirán aumentando a medida que el clima siga cambiando. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que considerando solo algunos de los riesgos para la vitalidad asociados y suponiendo que seguirá progresando el crecimiento económico y la protección de la sanidad, el cambio climático probablemente cause cerca de 250,000 muertes adicionales por año en el transcurso de la década de los treinta del presente siglo (Chan 2015; OMS 2014).

Aunque el cambio climático afectará a todos, están en mayor peligro los grupos poblacionales con mayor grado de marginación en términos sociales como económicos, de modo que es esencial abordar sus necesidades oportunamente (Da Silva, Buss, Galvao & Becerra-Posada, 2016). El sector de la salud debe estar preparado para reconocer, comprender y ayudar a las sociedades a mitigar los efectos del cambio climático, y a adaptarse a este nuevo mundo promoviendo condiciones mejores y más equitativas para todas las personas.

En primer lugar, el sector de la salud debe dar el ejemplo, es decir, los sistemas de sanidad deben reducir la emisión de gases de efecto invernadero y ayudar a estimular el cambio en toda la cadena de suministro del sistema. Para cumplir con esta meta, es necesario mejorar la seguridad de los establecimientos, su resiliencia y su respeto por el medioambiente.

En segundo lugar, es fundamental que el área de salubridad haga hincapié en adaptarse al cambio climático. Su personal debe recibir capacitación para reconocer y comprender sus efectos, fomentar la reducción de la huella climática del sector, actuar en consecuencia, y ayudar a aumentar la resiliencia de los sistemas de atención.

En tercer lugar, salubridad también puede potenciar los beneficios colaterales de la vitalidad en las iniciativas intersectoriales. Es fundamental tener en cuenta los resultados en materia de salud al planificar los sistemas de energía, transporte, alimentos, agua y planificación urbana. Además, al abordar las cuestiones de sanidad, es crucial detectar los aspectos y las respuestas relacionadas e interconectadas respecto de los grupos que son objeto de marginación política, económica y social.

---

<sup>13</sup> Dr. Fernando Martínez Barroso & Dra. Edith Castañón Ramírez, son médicos generales de 44 y 38 años de edad, dedicados a la salud laboral, egresados de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo [UMSH]. Son padres de 3 hijos, comprometidos con su profesión, procurando hacer el bien por sus pacientes y las personas que los rodean, la honestidad los caracteriza, así como la sensibilidad para comprender los problemas humanos.

## DESARROLLO

### LA SALUD EN EL CONVENIO DE PARÍS Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En la 21 Conferencia de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebrada en París, llegó a un acuerdo final que comprende un compromiso ambicioso: mantener el calentamiento del planeta muy por debajo de los 2 °C por encima de los valores preindustriales y apuntar a la ambiciosa meta de que no supere los 1.5 °C. El documento establece disposiciones sobre el seguimiento continuo y el examen cada 5 años de los compromisos asumidos por los países y las acciones que emprendan con miras a elevar continuamente las metas. Al mismo tiempo, en el documento se reconoce claramente que todos los aspectos de la vida humana tienen una conexión intrínseca con el ambiente. Con respecto a las emisiones, se reconocen las enormes diferencias que separan a los países más ricos y los países en desarrollo, así como las diferencias en cuanto a su capacidad para responder a las necesidades de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Ese mismo año, los líderes mundiales también suscribieron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, compuesta por 17 objetivos y 169 metas. Posteriormente, en marzo del 2016, esta agenda fue ampliada, con lo que pasó a incluir más de 230 indicadores (Vermeulen, Campbell & Ingram, 2012). Una característica fundamental es la integración de las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo sostenible, así como los vínculos dentro de las metas y los sectores. La Agenda 2030 manifiesta con claridad que no será posible lograr un cambio sistémico sostenido definiendo metas y métodos aislados para cada sector, sino que será necesario derribar los silos tradicionales para promover una mayor participación intersectorial a fin de fomentar el trabajo conjunto a la hora de tomar decisiones y proponer soluciones.

El clima y las condiciones meteorológicas afectan de muchas formas a la vida y son varias las razones por las que no resulta sencillo determinar todo el impacto que pueden tener.

En primer lugar, la vida de cada persona responde a fenómenos climáticos que tienen diferente distribución temporal—desde variaciones diarias y estacionales hasta fluctuaciones interanuales— y estos nexos causales interconectados pueden acumularse o anularse parcialmente entre sí (por ejemplo, la oscilación meridional El Niño tiene ciclos irregulares de 2 a 7 años y puede potenciar los efectos de las sequías regulares o los cambios climáticos a largo plazo).

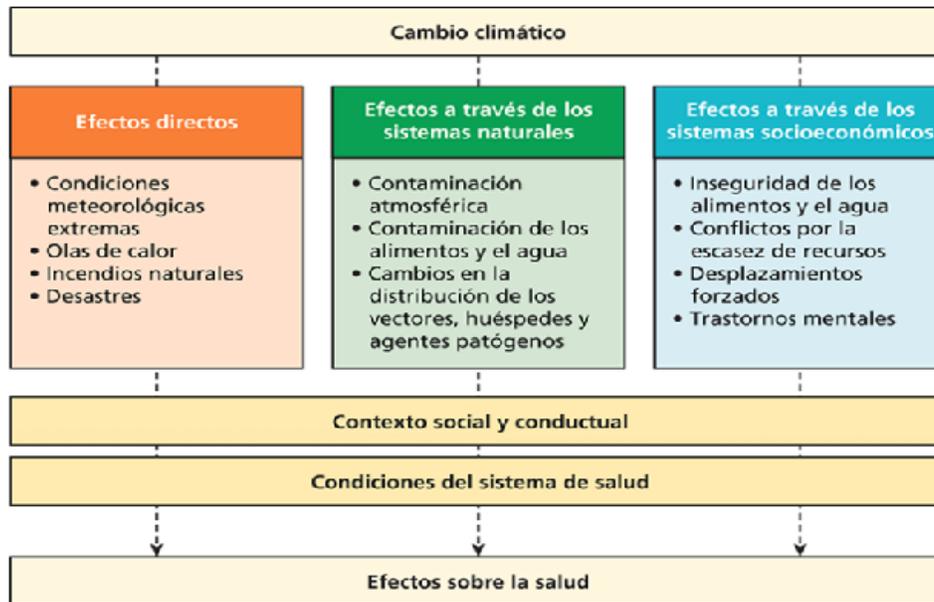
En segundo lugar, a menudo resulta difícil evaluar qué respuestas pueden desvincularse de otros factores y atribuirse exclusivamente al clima.

En tercer lugar, el lapso que transcurre entre la exposición y el efecto torna difícil o imposible determinar si hay algún vínculo. Para evaluar los efectos de un cambio climático sobre la sanidad se deben detectar cambios respecto de algunos valores de referencia (del clima y de las respuestas de salud, descontando las respuestas a factores no relacionados con el clima). A su vez, también es difícil calcular esos valores de referencia debido al corto lapso durante el que se recopilan y registran esos datos de manera fiable en todo el mundo.

Pese a estas dificultades, muchos investigadores han llegado a la conclusión de que el cambio climático afecta a la vida de varias maneras. De hecho, aunque el calentamiento del clima quizá sea beneficioso para algunas zonas, se prevé que la magnitud y la gravedad de los efectos negativos superarán enormemente a los positivos (Pachauri *et al.*, 2014). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) (Smith *et al.*, 2014), estiman con un alto grado de certeza que el cambio

climático previsto repercutirá en la fortaleza humana hasta mediados de este siglo. El IPCC distingue tres tipos de efectos del cambio climático sobre la sanidad: efectos directos, efectos indirectos a través de los sistemas naturales y efectos indirectos a través de los sistemas socioeconómicos. Sin embargo, los resultados en materia de salubridad no siempre se derivan directamente de esos factores. Los determinantes sociales de la salud (tanto individuales como colectivos) y la presencia y la calidad de los servicios de salubridad pueden determinar, para bien o para mal, los resultados finales de esos cambios en materia de salud (figura 1).

Figura 1. Efectos del cambio climático sobre la salud humana.



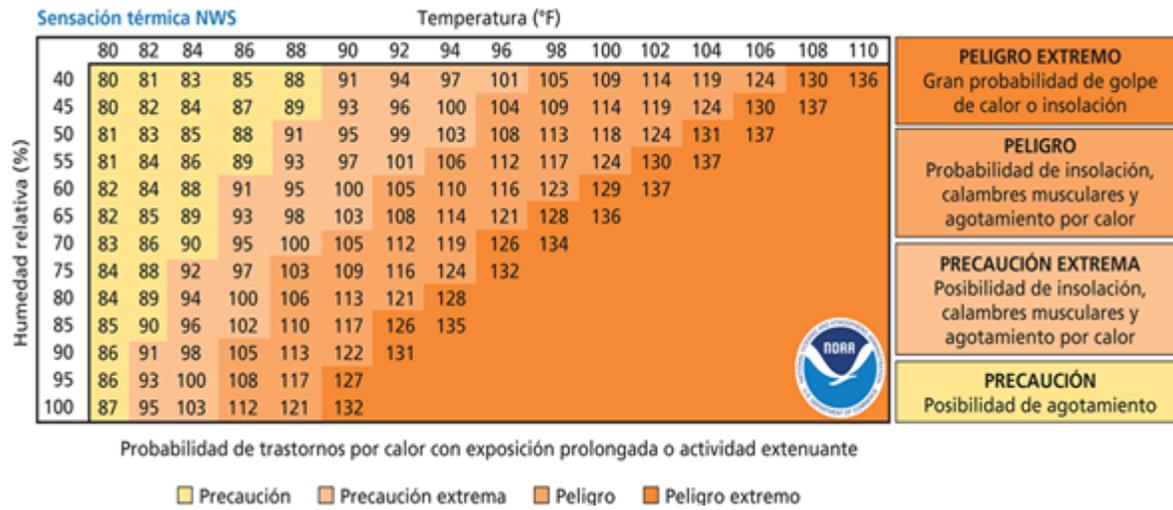
Fuente: Adaptado de Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, et al. *Health and climate change: policy responses to protect public health. The Lancet* 2015;386 (10006):1861-1914 y Levy BS, Patz J, eds. *Climate change and public health. Oxford: Oxford University Press; 2015.*

## CALOR EXTREMO

Las temperaturas extremas del aire contribuyen directamente a las defunciones por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, sobre todo entre las personas de edad avanzada. Las temperaturas altas provocan además un aumento de los niveles de ozono y de otros contaminantes del aire que agravan las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Los niveles de polen y otros alérgenos también son mayores en caso de calor extremo. Pueden provocar asma, dolencia que afecta a unos 300 millones de personas. Se prevé que el aumento de las temperaturas que se están produciendo aumentará esa carga (Robine, 2008).

El aumento del nivel del mar y unos eventos meteorológicos cada vez más intensos destruirán hogares, servicios médicos y otros servicios esenciales. Más de la mitad de la población mundial vive a menos de 60 km del mar. Muchas personas pueden verse obligadas a desplazarse, lo que acentúa a su vez el riesgo de efectos en la vitalidad, desde trastornos mentales hasta enfermedades transmisibles.

Figura 2. Probabilidad de trastornos por la exposición prolongada al calor o la práctica de actividades intensas.



**Nota:** La sensación térmica es una medida del calor que se siente y se calcula teniendo en cuenta la humedad relativa al medir la temperatura real del aire. Por ejemplo, si la temperatura del aire es de 35,5 °C (96 °F) y la humedad relativa es del 65 %, la sensación térmica es de 49,5 °C (121 °F). El servicio meteorológico nacional inicia procedimientos de alertas cuando pronostica que la sensación térmica excederá los 40-43°C (105-110°F) según el clima local al menos 2 días consecutivos.

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service heat safety home page [Internet]. Disponible en: [http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat\\_index.shtml](http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_index.shtml).

La creciente variabilidad de las precipitaciones afectará probablemente al suministro de agua dulce, y la escasez de esta puede poner en peligro la higiene y aumentar el riesgo de enfermedades diarreicas, que cada año provocan aproximadamente 760,000 defunciones de menores de cinco años. En los casos extremos, la escasez de agua causa sequía y hambruna. Se estima que a finales del siglo XXI es probable que el cambio climático haya aumentado la frecuencia y la intensidad de las sequías a nivel regional y mundial (Edenhofer O, 2014).

También están aumentando la frecuencia y la intensidad de las inundaciones y se prevé que sigan aumentando de la misma forma las precipitaciones extremas a lo largo de este siglo. Éstas contaminan las fuentes de agua dulce, incrementando el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y dando lugar a criaderos de insectos portadores de enfermedades, como los mosquitos. Causan asimismo ahogamientos y lesiones físicas, daños en las viviendas y perturbaciones del suministro de los servicios médicos.

El aumento de las temperaturas y la variabilidad de las lluvias reducirán probablemente la producción de alimentos básicos en muchas de las regiones más pobres. Ello aumentará la prevalencia de malnutrición y desnutrición, que actualmente causan 3,1 millones de defunciones cada año (Endenhofer *et al.*, 2014).

Las condiciones climáticas tienen gran influencia en las enfermedades transmitidas por el agua o por los insectos, caracoles y otros animales de sangre fría. Es probable que los cambios del clima prolonguen las estaciones de transmisión de importantes enfermedades transmitidas por vectores y alteren su distribución geográfica. Por ejemplo, se prevé una ampliación considerable de las zonas de China afectadas por la esquistosomiasis, una enfermedad transmitida por caracoles (Zhou, 2008).

El paludismo depende mucho del clima. Transmitida por mosquitos del género *Anopheles*, el paludismo mata a casi 600,000 personas cada año, sobre todo niños africanos menores de cinco años. Los mosquitos del género *Aedes*, vector del dengue, son también muy sensibles a las condiciones climáticas. Los estudios al respecto llevan a pensar que es probable que el cambio climático continúe aumentando el riesgo de transmisión del dengue.

## **ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR LOS ALIMENTOS Y POR EL AGUA**

El clima influye en la proliferación, la supervivencia, la persistencia, la transmisión y la virulencia de los microbios patógenos de los alimentos y el agua (Fischer & Knutti, 2015). Se considera que los factores climáticos están asociados al aumento de la contaminación por bacterias (*E. coli*, *Campylobacter*, *Leptospira*, *Salmonella* y *Vibrio*); parásitos (*Cryptosporidium*, *Giardia*); virus como la hepatitis A y la hepatitis E, el norovirus y el poliovirus (Bélanger & Séguin, 2008); y la floración de algas nocivas (Paerl & Paul, 2012). Las enfermedades digestivas y las enfermedades transmitidas por el agua están vinculadas a las precipitaciones abundantes y las inundaciones (Cann, Thomas, Salmon, Wyn-Jones & Kay, 2013). Algunos estudios también han demostrado que las enfermedades transmitidas por el agua a veces son producto de un menor volumen de precipitaciones (Nochols, Lane, Asgari, Verlander & Charlett, 2009).

El cambio climático también puede aumentar las enfermedades de transmisión alimentaria. La incidencia de las intoxicaciones por *Salmonella* y *Campylobacter*, dos de las más frecuentes, demuestra tendencias estacionales, dado que los casos aumentan cuando sube la temperatura (Lake et al., 2009; Naumova et al., 2007). También hay algunas toxinas transmitidas por los alimentos que quizá proliferen al subir la temperatura, como la aflatoxina, potente carcinógeno hepático humano y hongo habitual del maíz, el maní, los frutos secos y la semilla de algodón. Las temperaturas cálidas también promueven la floración de algas nocivas que liberan grandes cantidades de ficotoxinas, las que a su vez contaminan los moluscos y crustáceos (Fischer & Knutti, 2015).

## **ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES**

Es probable que el cambio climático amplíe la distribución geográfica de las enfermedades transmitidas por vectores a altitudes mayores y extienda la temporada de transmisión en esas latitudes, cambios que probablemente incidan en varias enfermedades que circulan por la Región de las Américas, como el dengue, la enfermedad del Zika, el chikunguña, la fiebre amarilla, la fiebre del Nilo Occidental, la malaria, la leishmaniasis, la encefalitis transmitida por garrapatas, la borreliosis de Lyme, la rickettsiosis maculosa y la fiebre del Valle del Rift. Resulta complejo proyectar la prevalencia de las enfermedades transmitidas por vectores debido a que depende de un gran número de factores ambientales, biológicos y socioeconómicos y está relacionada con las estrategias de vigilancia y control ya instituidas.

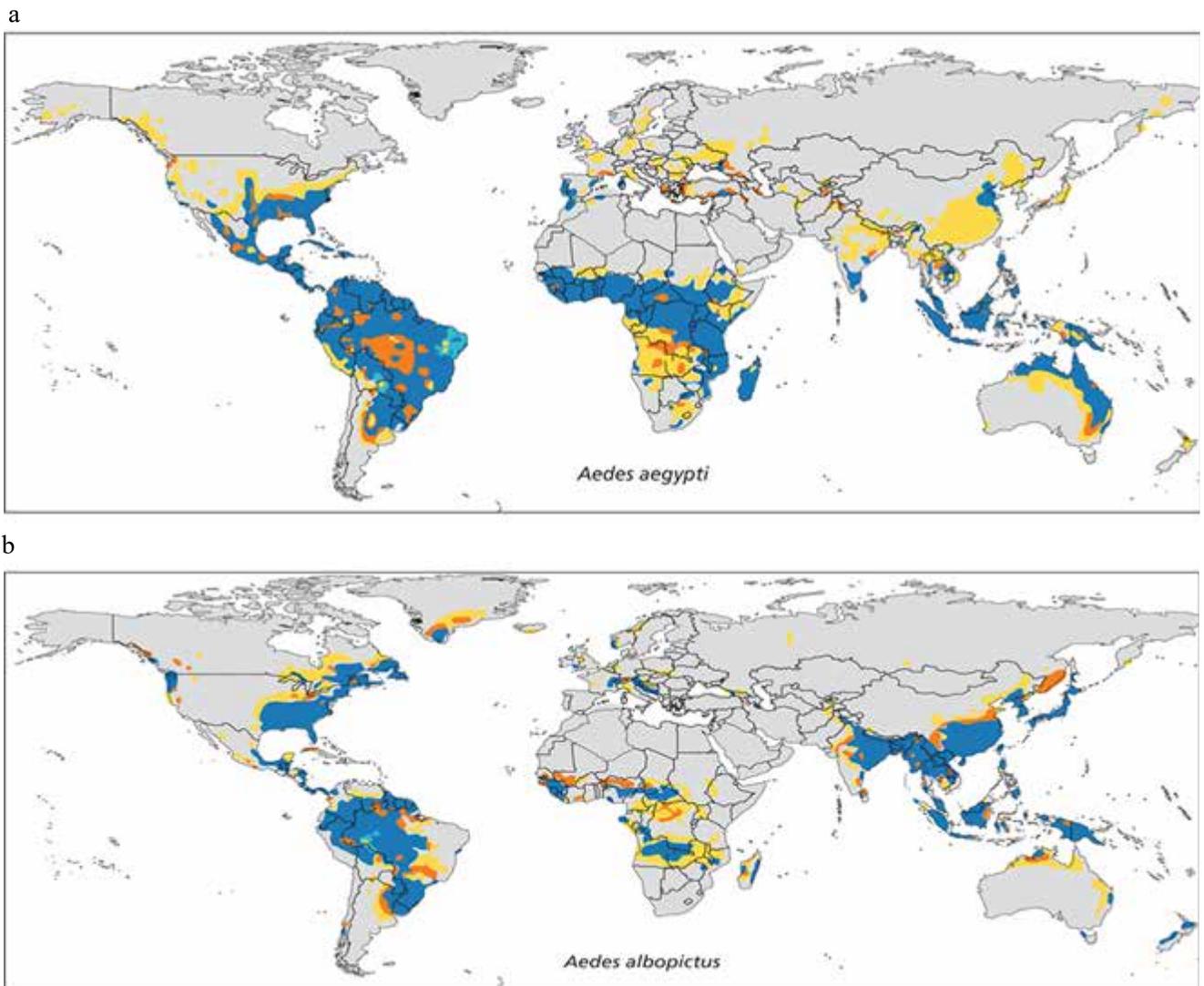
Muchos estudios indican que la temperatura influye en las tasas de picadura, supervivencia y reproducción de los vectores, al igual que en las tasas de supervivencia y crecimiento de los microbios patógenos que transportan. En cuanto a las especies de mosquitos, cuando sube la temperatura del agua, las larvas tardan menos tiempo en madurar (Rueda, Patel, Axtell & Stinner, 1990) y, por ende, tienen más crías. En los climas más cálidos, las hembras adultas del mosquito se alimentan con más frecuencia y digieren la sangre con mayor rapidez (Gillies, 1953), lo que aumenta la velocidad de transmisión.

De manera análoga, las temperaturas más altas acortan el tiempo de desarrollo de los virus, lo que aumenta la oportunidad de que el mosquito transmita el virus a un nuevo anfitrión antes de morir (Turell, 1989). Además, el aumento de las precipitaciones aumenta el número y la calidad de los criaderos de algunos vectores acuáticos. La humedad también es un factor importante en las enfermedades transmitidas por garrapatas o

flebótomos (Githeko, Lindsay, Confalonieri & Patz, 2000). Sin embargo, no todas las proyecciones respecto de las enfermedades transmitidas por vectores indican un aumento de la transmisión: todas las especies toleran hasta una determinada temperatura máxima, que podría verse superada debido al recalentamiento (por ejemplo, las temperaturas por encima de los 34 °C en ocasiones son perjudiciales para la supervivencia de los vectores y parásitos) (Githeko et al., 2000). Además, aunque se prevé que las precipitaciones aumenten en algunas regiones, otras quizá deban enfrentar sequías más intensas y prolongadas, lo que puede ser nocivo para algunas especies.

Los científicos han proyectado la distribución de muchos vectores en mapas (por ejemplo, de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*; véase la figura 3), en los que han tenido en cuenta solo los factores ambientales. En el caso de la malaria, las proyecciones indican que el número adicional de personas en riesgo de infección a causa de la transmisión durante todo el año en América del Sur subirá de 25 millones en el 2020 a 50 millones para el 2080 (Martens et al., 1999).

Figura 3. Posible distribución geográfica de *Aedes aegypti* (a) y *Aedes albopictus* (b) en el 2050, dado un escenario de emisiones moderadas.



**Nota:** En azul, distribución actual (celeste = modelo con bajo grado de acuerdo, azul = modelo con alto grado de acuerdo). En naranja, posible distribución futura (anaranjado claro = modelo con bajo grado de acuerdo, anaranjado oscuro = modelo con alto grado de acuerdo en la proyección de las condiciones futuras favorables a la transmisión).

*Fuente: Reimpreso con autorización de Martens P, et al. Climate change and future populations at risk of malaria. Global Environmental Change 1999;9(S1):S89-S107 (Ottesen EA, 1997).*

Las condiciones meteorológicas también tienen efectos indirectos sobre el ambiente natural y sobre los sistemas humanos (Mills, Gage & Khan, 2010). Por ejemplo, una sequía puede afectar al almacenamiento de agua, las prácticas de riego y aprovechamiento de la tierra, y los movimientos poblacionales, lo que a su vez podría incidir en la ecología de los vectores y la exposición humana a las infecciones (dengue, virus del Zika). Esas situaciones probablemente afecten más a las personas más pobres debido a las condiciones ambientales y sociales en las que viven (por ejemplo, una vivienda de calidad inferior más próxima a los criaderos de vectores), y a que carecen de acceso a intervenciones de sanidad y servicios de prevención y curación (Ottesen, Duke, Karam & Behbehani, 1997). Por lo tanto, además de centrar la atención en los lugares donde circulan las enfermedades transmitidas por vectores, es importante saber quiénes contraen la malaria, el dengue, la enfermedad por el virus del Zika y otras.

Al proyectar las tasas de infección por enfermedades transmitidas por vectores, otro aspecto importante consiste en analizar las estrategias de vigilancia y control de los vectores, tanto a nivel nacional como local. En la Región de las Américas, muchas experiencias recientes de control de vectores han sido eficaces y probablemente ayuden a controlar la transmisión en el futuro. Es necesario tener en cuenta las nuevas zonas de transmisión posible en los sistemas de vigilancia, la alerta anticipada, la capacitación, los planes, las estrategias de control y la preparación de los sistemas de salud.

## ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y ALÉRGICOS

Los contaminantes climáticos de vida corta son importantes no solo en relación con el cambio climático, sino también porque son responsables de muchos de los efectos sobre la salubridad causados por la contaminación atmosférica. El término contaminante climático de vida corta denomina a aquellas sustancias contaminantes que persisten corto tiempo en la atmósfera, pero que, a pesar de su transitoriedad, son responsables del 40% al 45% del calentamiento del planeta (Development, 2013), (el porcentaje restante es consecuencia del CO<sub>2</sub>, que puede persistir en la atmósfera cientos de años) porque sus partículas se generan en gran abundancia y absorben más calor que el mismo volumen de CO<sub>2</sub>. Entre estos contaminantes se encuentran el carbono negro (es decir, el hollín) partículas muy finas que son producto de la quema incompleta de combustibles, biomasa, el metano, el ozono y los hidrofluorocarburos (HFC).

Las partículas de los contaminantes de vida corta que tienen un diámetro de 10 micrómetros (PM10) o menos, son particular de interés para la sanidad porque penetran en el torrente sanguíneo y en los pulmones a un nivel profundo, y causan enfermedades cardiovasculares y respiratorias. De los distintos tipos de contaminantes de partículas finas, el carbono negro ha recibido mucha atención debido a que no solo causa problemas de directos si es inhalado, sino que sus partículas pueden recorrer grandes distancias y oscurecer los mantos de hielo, lo que aumenta su absorción del calor y, a su vez, acelera su derretimiento. La combustión de carburantes en edificios residenciales y comerciales y en el transporte representa aproximadamente el 80% de las emisiones antropogénicas de carbono negro, y casi dos terceras partes de las partículas generadas por las estufas o cocinas domésticas de biomasa corresponden a carbono negro (Development, 2013).

Se estima que, en todo el mundo, el costo económico total de los años de vida sana perdidos a causa de la contaminación por partículas (tanto interior como exterior) correspondiente al 2010 fue de US\$ 1,9 billones (Venkataraman, Habib, Eiguren-Fernandez, Miguel & Friedlander, 2005). Entre los problemas de sanidad secundarios a la exposición a partículas finas contaminantes se destacan el aumento de los cuadros respiratorios, el agravamiento del asma, la aparición de bronquitis crónica, las arritmias, los infartos de miocardio no mortales, y la muerte prematura de las personas con cardiopatías y neumopatías (Edenhofer et al., 2014). La mayor parte de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica están vinculadas a enfermedades no transmisibles (36% corresponden al cáncer de pulmón, 35% a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 34% a accidentes cerebrovasculares y 27% a cardiopatías isquémicas). Por otra parte, las principales consecuencias negativas se observan en relación con la mortalidad de menores de 1 año; en los menores de 5, más de la mitad de las defunciones por infecciones agudas de las vías respiratorias bajas se deben a la inhalación de partículas contaminantes de espacios interiores generadas por la quema de combustibles domésticos sólidos (OMS, 2014; Kreyling, Semmler-Behnke & Moller, 2006; Burnett et al., 2014).

El cambio climático también puede exacerbar las alergias porque potencia la producción de polen y otros alérgenos ambientales. El cambio climático y el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> modifican la producción, la alergenicidad (medida de la magnitud con que cada alérgeno particular afecta a las personas), la distribución y la estacionalidad de los aeroalérgenos. (Smith et al., 2014; Reid & Gamble, 2009).

## **EFFECTOS INDIRECTOS A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS: INSEGURIDAD ALIMENTARIA, INSEGURIDAD DEL ABASTECIMIENTO DEL AGUA Y DESNUTRICIÓN**

El cambio climático pone en riesgo la seguridad alimentaria y nutricional porque disminuye la disponibilidad de alimentos, altera la estabilidad del abastecimiento y los precios, y obstaculiza el acceso (Nitschke et al., 2011), lo que, a su vez, puede alterar la disponibilidad de calorías per cápita, fomentar la desnutrición infantil y las defunciones infantiles en los países en desarrollo (Nitschke et al., 2011).

Los riesgos de la inseguridad alimentaria y nutricional afectan sobre todo a las poblaciones pobres tanto en las zonas urbanas como en las rurales, y aumentan el riesgo de desnutrición de las mujeres y los niños ya vulnerables. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera que, en un futuro con un clima más cálido, la población que vive en la pobreza podría aumentar entre 35 y 122 millones en 2030 [...], debido en gran parte a los efectos negativos provocados por el clima sobre los ingresos en el sector agrícola (Beggs, 2010).

Los efectos del cambio climático influyen más en determinados grupos de personas que en otros, dependiendo de su capacidad para hacer frente a los peligros derivados del clima. Los grupos vulnerables son las personas que perciben ingresos bajos, los niños, las embarazadas, los adultos mayores, las personas con discapacidad y las personas que padecen enfermedades preexistentes o crónicas. Quienes trabajan al aire libre también deben recibir atención especial puesto que están expuestos al aumento de la temperatura, la degradación de la calidad del aire, el clima extremo, las enfermedades transmitidas por vectores, los contaminantes industriales y los cambios del entorno edificado (Beggs, 2010). Además, los trabajadores cuyo lugar de trabajo interior es demasiado cálido (como las plantas de laminación de acero, las fábricas, los depósitos y otros sectores donde no hay acondicionadores de aire) corren riesgo de quedar expuestos al calor extremo (Beggs, 2010) (ONU, 2016).

También es preciso considerar especialmente a las poblaciones indígenas, dado que son de las primeras en afrontar las consecuencias del clima debido a su dependencia de la tierra y su entorno y su estrecha relación con esta. Para muchos indígenas, el clima ya está alterando su vida física, biológica y social, así como su cultura tradicional. Por ejemplo, la comunidad indígena tarahumara, de México, debió enfrentar una sequía que redujo gravemente su cosecha de maíz y frijol, lo que tuvo consecuencias negativas sobre sus medios de vida (Beggs, 2010). Para los indígenas nativos del Ártico, hoy es más riesgoso y difícil cazar mamíferos marinos y pescar porque se están derritiendo los mantos de hielo. Si bien la diversidad y la resiliencia de los medios de vida de los pueblos indígenas les han permitido sobrevivir en entornos a menudo hostiles, la velocidad con la que está cambiando el clima pone a prueba su capacidad de adaptación (Alexander et al., 2011).

Cabe señalar que los efectos negativos sobre los pueblos indígenas trascienden las amenazas inmediatas al suministro de alimentos, puesto que también son determinantes esenciales de la salud la conexión con su origen ancestral, su identidad, su idioma, sus medios de vida y su comunidad. Por consiguiente, si surgen condiciones climáticas extremas que alteran su conexión con la tierra y su forma de vida, es más probable que los indígenas tengan que enfrentar dificultades psicológicas, fisiológicas, económicas y espirituales de mayor envergadura (Beggs, 2010).

Los pueblos indígenas suelen vivir cerca de la naturaleza y su ambiente. Sus prácticas, creencias y acervo de conocimientos se transmiten de generación en generación, y el conocimiento generacional (como la capacidad para predecir el estado del tiempo y las estrategias tradicionales para apagar incendios) son fuentes valiosas de información porque los ayudan a respetar la diversidad biológica y a mitigar y adaptarse al cambio climático (Beggs, 2010; ONU, 2016; Schulte & Chun, 2009).

## **DESPLAZAMIENTOS FORZADOS Y SALUD MENTAL**

Todos los años, millones de personas se ven obligadas a abandonar su hogar a causa de inundaciones, sequías y otros fenómenos ambientales imprevistos o persistentes asociados al clima. Se prevé que, antes del 2050, alrededor de 200 millones de personas deberán desplazarse ya sea permanente o temporalmente como consecuencia de los efectos del cambio climático. Por ejemplo, las proyecciones muestran que para el 2100 el nivel del mar aumentara 1,8 m (6 pies), 13,1 millones de personas de la costa de los Estados Unidos correrían el riesgo de verse afectadas por inundaciones. Los primeros efectos ya han comenzado a sentirse. En el 2016, en la Isla de Jean Charles (Luisiana), una comunidad indígena perdió el 98% de su tierra a causa del aumento de nivel del mar, por lo que fue necesario reubicar a los residentes a un costo de US\$ 52 millones (Beggs, 2010).

La migración de las personas presenta una relación causal con el estrés por aculturación y, en ocasiones, es uno de los factores desencadenantes de los trastornos psiquiátricos. Las personas que se ven obligadas a migrar después de los desastres son más propensas a sufrir trastornos psiquiátricos que aquellas que migran por voluntad propia (Beggs, 2010). Los efectos de la migración forzada se perciben tanto a nivel individual como de la comunidad: los trastornos de salud mental comprenden desde depresión, ansiedad y estrés patológico hasta comportamientos suicidas. Se han observado tasas altas de intentos de suicidio y estrés por aculturación específicamente en los agricultores que fueron objeto de desplazamiento forzado (ONU, 2016; Schulte & Chun, 2009).

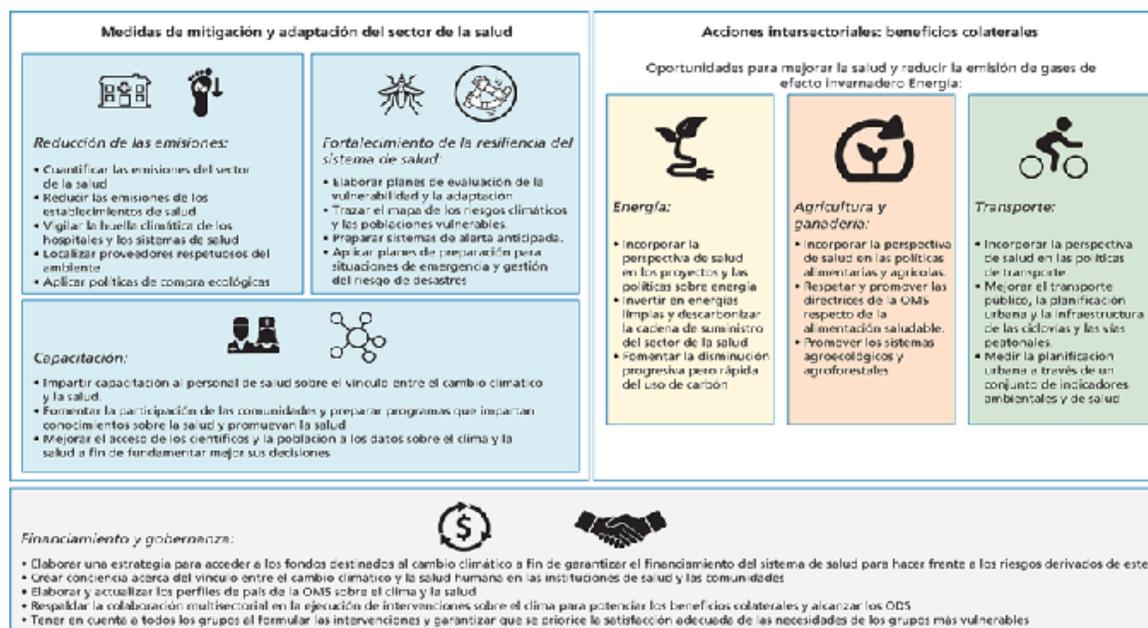
## **FINANCIAMIENTO DESTINADO AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR DE LA SALUD**

Se estima que los costos por el daño que provoca el cambio climático al sistema de salubridad pueden ser descomunales. Por ejemplo, considerando solo seis tipos de eventos relacionados con el cambio climático, la contaminación con ozono, las olas de calor, los huracanes, los brotes de enfermedades infecciosas, las inundaciones fluviales y los incendios forestales. La OMS (2016) prevé que, para el 2030, los costos del daño directo a la sanidad derivado del cambio climático serán de US\$ 2000 millones a 4000 millones por año. No obstante, a pesar de las repercusiones económicas previstas, los proyectos de protección de la sanidad solo han recibido una proporción muy pequeña del financiamiento mundial destinado al cambio climático. Según Climate Funds Update, los fondos aprobados para abordar el daño derivado del clima entre el 2003 y el 2016 ascendían a US\$ 17,400 millones, y menos del 0.3% de esa suma se ha asignado a los proyectos que abordan específicamente la cuestión de la salud; los proyectos de América Latina y el Caribe no han recibido ninguna porción de ese financiamiento (OMS 2016). Por otra parte, en el informe conjunto de los bancos multilaterales de desarrollo sobre el financiamiento destinado al cambio climático (2015 Joint Report on Multilateral Development Banks Climate Finance) se indica que menos del 5% de los proyectos financiados por estos bancos estuvieron centrados en la calidad del aire y la salud pública.

Hoy en día están dadas las condiciones para movilizar nuevos recursos destinados a abordar los riesgos del clima relacionados con la sanidad, de modo que el sector de la salud debe preparar un programa de acción que le permita acceder a los fondos destinados al cambio climático para proteger la fortaleza humana. Por ejemplo, como parte del proceso de negociación, los Estados Miembros acordaron destinar US\$ 100,000 millones por año con el Fondo Verde para el Clima como parte del financiamiento internacional destinado al clima hasta el 2020 (OMS 2016). La misión de este fondo es invertir en iniciativas que fomentan los sistemas poco contaminantes y capaces de recuperarse de los efectos del cambio climático. Las fuentes de financiamiento pueden ser fondos nacionales y multilaterales para el clima administrados por la CMNUCC, bancos de desarrollo y organismos de desarrollo bilateral, como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, el Fondo de Adaptación, el Fondo para los Países Menos Adelantados, el Fondo Mundial para la Reducción de los Desastres y la Recuperación, y los Fondos de Carbono.

Los responsables de las políticas de sanidad necesitan información para evaluar la magnitud de los efectos actuales y futuros del cambio climático, así como sus implicaciones en materia de salubridad, para formular y poner en ejecución respuestas que garanticen la adaptación y fortalezcan los sistemas de salud. Por otra parte, los interesados directos en asuntos de sanidad tienen que colaborar con otros sectores, como el de la energía, el transporte, la agricultura y ganadería, puesto que reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en esos sectores trae beneficios colaterales a la vitalidad. En la figura 4 se puede mostrar una hoja de ruta sugerida por Organización Panamericana de la Salud para abordar el cambio climático.

Figura 4. Hoja de ruta del sector de la salud para enfrentar el cambio climático.



Fuente: Organización panamericana de la salud (PAHO), Disponible: [https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/?post\\_t\\_es=cambio-climatico&lang=es](https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/?post_t_es=cambio-climatico&lang=es)

Hay políticas y opciones individuales que pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que reportan importantes beneficios colaterales para la vida. En el 2015 la Asamblea Mundial de la Salud aprobó un nuevo plan de trabajo de la OMS en materia de cambio climático y sanidad, dicho plan incluye los aspectos siguientes:

- Alianzas: Coordinarse con otras organizaciones del sistema de las naciones unidas y velar por que la sanidad esté representada adecuadamente en la agenda sobre el cambio climático.
- Concienciación: proporcionar o difundir información sobre las amenazas que plantea el cambio climático para vida humana y las oportunidades de fomentar la reducción de las emisiones de carbono.
- Ciencia y datos probatorios: coordinar las revisiones de la evidencia científica existente sobre la relación entre el cambio climático y la salud, y elaborar una agenda de investigación mundial.
- Apoyo a la puesta en práctica de la respuesta de la salud pública al cambio climático: ayudar a los países a crear capacidad para reducir la vulnerabilidad de la vida al cambio climático y fomentar la salubridad reduciendo las emisiones de carbono.

## CONCLUSIÓN

El cambio climático es una amenaza urgente para la salud pública, influye sobre determinantes socioeconómicos y medioambientales de la vida, como son: el aire limpio, el agua, los alimentos, etc., éstos factores que también puede aumentar las enfermedades de transmisión alimentaria como, por ejemplo, las intoxicaciones por *Salmonella* y *Campylobacter*, dos de las más frecuentes que demuestra tendencias estacionales, dado que los casos aumentan cuando sube la temperatura. También hay algunas toxinas transmitidas por los alimentos que quizá proliferen al subir la temperatura, como la aflatoxina, potente carcinógeno hepático humano y hongo habitual del maíz, el maní, los frutos secos y la semilla de algodón. Las temperaturas cálidas también promueven la floración de algas nocivas que liberan grandes cantidades de ficotoxinas, las que a su vez contaminan los moluscos y crustáceos provocando que se ponga en peligro no solo el agua, si no también la vida dentro del agua, lo cual producirá a su vez mayor número de enfermedades así como la mutación de diversos agentes patógenos quienes afectarán el bienestar de la humanidad contrayendo enfermedades de etiología desconocida, dándole nuevos retos a salubridad para atender y combatir estos nuevos casos de enfermedades.

La gravedad del impacto dependerá del escenario climático que decidamos tener en un futuro próximo, debido a que, la OMS, estima que el cambio climático probablemente cause cerca de 250,000 muertes adicionales por año en el transcurso de los años treinta de este siglo, por lo que se deberán de tomar decisiones motivadas en disminuir las acciones climáticas, para proteger la calidad de vida, mejorando y apoyando la promoción de la salud reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero, siendo necesario mejorar la seguridad de los establecimientos, su resiliencia y su respeto por el medioambiente, capacitando al personal que será el encargado de difundir la información para prevenir las diferentes y nuevas enfermedades que se han estado presentando actualmente y que con el paso de los años se ven de forma más agresiva e inesperadamente ya que no se cuenta con la preparación suficiente para enfrentar estos eventos repentinos. Dadas estas nuevas condiciones se han focalizado nuevos recursos destinados a abordar los riesgos del clima relacionados con la sanidad, donde la misión de este fondo es invertir en iniciativas que fomentan los sistemas poco contaminantes y capaces de recuperarse de los efectos del cambio climático. Las fuentes de financiamiento pueden ser fondos nacionales y multilaterales, por lo que los interesados en las políticas sanitarias deberán involucrarse directamente para crear conciencia del cambio climático y la salud humana en las instituciones y las comunidades, para respaldar la colaboración multisectorial para potenciar los beneficios colaterales y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

## REFERENCIAS

- Alexander C, Bynum N, Johnson E, King U, Mustonen T, Neofotis P. (2011). Linking indigenous and scientific knowledge of climate change. *BioScience*, 477- 484.
- Beggs PJ. (2010). Adaptation to impacts of climate change on aeroallergens and allergic respiratory diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 3006-3021.
- Bélanger D, Séguin J. (2008). Human health in a changing climate. *Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity*.
- Burnett R, Pope CA III, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, et al. (2014). An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environmental Health Perspectives*, 397-403.
- Cann KF, Thomas DR, Salmon RL, Wyn-Jones AP, Kay D. (2013.). Extreme water-related weather events and waterborne diseases. *Epidemiology and Infection*. , 671-686.
- Chan M. (2015). Achieving a cleaner, more sustainable, and healthier future. *The Lancet*, 27-28.

- Costello A, Abbas M, Allen A, Ball S, Bell S, Bellamy R, et al (2009). Managing the health effects of climate change. *The Lancet*, 1693-1733.
- Da Silva AS, Buss DF, Galvão LA, Becerra-Posada F. (2016). Not so simple as it seems: tackling climate change and implementing the sustainable development goals in the Americas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 1-3.
- Development, I. f. (2013). *Primer on short-lived climate pollutants*. Washington, DC.
- Edenhofer O, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B., Kriemann JS, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. (2014). Climate Change, Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Fischer EM, Knutti R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 560-564.
- Gillies MT. (1953). The duration of the gonotrophic cycle in *Anopheles gambiae* and *An. funestus* with a note on the efficiency of hand catching. *East African Medical Journal*, 129-135.
- Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE, Patz JA. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 1136-1147.
- Kreyling WG, Semmler-Behnke M, Moller W. (2006). Ultrafine particle-lung interactions: does size matter? *Journal of Aerosol Medicine*, 74-83.
- Lake IR, Gillespie IA, Bentham G, Nichols GL, Lane C, Adak GK, Threlfall EJ. (2009.). A re-evaluation of the impact of temperature and climate change on foodborne illness. *Epidemiology and Infection*, 1538-1647.
- Martens P, Kovats RS, Nijhof S, de Vries P, Livermore MTJ, Bradley DJ, et al. (1999.). Climate change and future populations at risk of malaria. *Global Environmental Change*, 89-107.
- Mills JN, Gage KL, Khan AS. (2010). Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan. *Environmental Health Perspectives*, 1507-1514.
- Nairobi. (2012). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Global Environment Outlook GEO 5: Environment for the future we want. PNUMA.
- Naumova EN, Jagai JS, Matyas B, DeMaria A, MacNeill IB, Griffiths JK. (2007). Seasonality in six enterically transmitted diseases and ambient temperature. *Epidemiology and Infection*, 281-292.
- Nichols G, Lane C, Asgari N, Verlander NQ, Charlett A. (2009). Rainfall and outbreaks of drinking water related diseases in England and Wales. *Journal of Water and Health*, 1-8.
- Nitschke M, Tucker GR, Hansen AL, Williams S, Zhang Y Bi P. (2011). Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in Adelaide, South Australia: a case-series analysis. *Environmental Health*, 42.
- Organización Mundial de la Salud [OMS] (2016.). Retrieved from WHO Health Observatory database. Disponible en: <http://www.who.int/research-observatory/en/>.
- O.M.S. (2014). *Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2012*. Ginebra: OMS. Retrieved from Ginebra: OMS; 2014. Disponible en: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AAP\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf).
- O.M.S. (2014). Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death. OMS, 2030-2050.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. Roma.
- Ottesen EA, Duke BO, Karam M, Behbehani K. (1997). Strategies and tools for the control/elimination of lymphatic filariasis. *Bulletin of the World Health Organization*, 491-503.
- Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer W, Christ R, et al. (2014). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2014*.
- Paerl HW, Paul VJ. (2012). Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research*, 1349-1363.
- Prüss-Üstün A, Corvalán C, Bos R, Neira M. (2016). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. OMS. Disponible en: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/).
- Reid CE, Gamble J. L. (2009), Aeroallergens, allergic disease, and climate change: impacts and adaptation. *Ecohealth*, 458-470.
- Robine JM (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Les Comptes Rendus/Série Biologies*, 171-78.

- Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC, Stinner RE. (1990.). Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). . *Journal of Medical Entomology*, 892-898.
- Schulte PA, Chun HK. (2009.). Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework. . *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* , 542-554.
- Smith KR, Bruce N, Balakrishnan K, Adair-Rohani H, Balmes J, Chafe Z. (2014). Millions dead: how do we know and what does it mean? Methods used in the comparative risk assessment of household air pollution. *Annual Review of Public Health*, 185-206.
- Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, et al. (2014) Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. En: *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nueva York: Cambridge University Press; 2014:709-754.
- Turell MJ. (1989). Effects of environmental temperature on the vector competence of *Aedes fowleri* for Rift Valley fever virus. *Research in Virology*, 147-154.
- Venkataraman C, Habib G, Eiguren-Fernandez A, Miguel AH, Friedlander SK. (2005). Residential biofuels in South Asia: carbonaceous aerosol emissions and climate impacts. . *Science*, 1454-1456.
- Vermeulen SJ, Campbell BM, Ingram JSI. (2012.). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources.*, 195 - 222.
- Zhou XN (2008). Potential impact of climate change on schistosomiasis transmission in China. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 188-194.

“Habéis robado mis sueños y mi infancia con vuestras palabras vacías, y aun así soy una de las afortunadas. La gente sufre, muere, y ecosistemas enteros están colapsando. Estamos al principio de una extinción masiva, y todo de lo que podéis hablar es de dinero y de cuentos de hadas de eterno crecimiento económico, ¿Cómo os atrevéis? [...] Ustedes nos están fallando, pero los jóvenes hemos comenzado a entender su traición. Los ojos de todas las futuras generaciones están en ustedes y si ustedes eligen fallarnos nunca se los vamos a perdonar. El mundo se está despertando y el cambio va a venir les guste o no”.

***Discurso de Greta Thunberg en la Cumbre sobre acción Climática de la ONU, septiembre de 2019.***

*Fuente: <https://news.un.org/es/story/2019/09/1462622>*