Investigaciones actuales para el medio ambiente II

Roberto Pichardo Ramírez
Ricardo Tobías Jaramillo
Juana Treviño Trujillo
COORDINADORES

UAT
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS
VERDAD, BELLEZA, PROBIDAD

COLOFÓN
EDICIONES ACADÉMICAS

Investigaciones actuales en medio ambiente II

Pichardo Ramírez, Roberto, Investigaciones actuales en medio ambiente II / Roberto Pichardo Ramírez, Ricardo Tobías Jaramillo, Juana Treviño Trujillo .—Ciudad de México : Colofón ; Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2020.
211 páginas : ilustraciones ; 17 x 23 centímetros

1. Medio ambiente 2. Contaminación
LC: **QH541.5 P52** DEWEY: **577.57 P52**

Consejo de Publicaciones UAT
Tel. (52) 834 3181-800 • extensión: 2948 • *www.uat.edu.mx*
Centro Universitario Victoria
Centro de Gestión del Conocimiento. Tercer Piso
Cd. Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87149
consejopublicacionesuat@outlook.com

Fomento Editorial Una edición del Departamento de Fomento Editorial de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

D. R. © 2020 Universidad Autónoma de Tamaulipas
Matamoros SN, Zona Centro Ciudad Victoria, Tamaulipas C.P. 87000
Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México
Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT
INSBN UAT: 978-607-8750-03-0

Colofón de S.A. C.V.
Franz Hals núm. 130, Alfonso XIII
Delegación Álvaro Obregón C.P. 01460, Ciudad de México
www.colofonlibros.com • colofonedicionesacademicas@gmail.com
ISBN: 978-607-635-135-2

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del Consejo de Publicaciones UAT.
Agradecemos a Edgar Castillo Hernandez por facilitarnos la imagen de portada.
Impreso en México •*Printed in Mexico* El tiraje consta de 400 ejemplares

Este libro fue dictaminado y aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT mediante dos especialistas en la materia pertenecientes al SNI. Asimismo fue recibido por el Comité Interno de Selección de Obras de Colofón Ediciones Académicas para su valoración en la sesión del segundo semestre 2019, se sometió al sistema de dictaminación a "doble ciego" por especialistas en la materia, el resultado de ambos dictámenes fue positivo.

"PARA CREAR COSAS BUENAS PRIMERO HAY QUE CREER EN ELLAS"

70 AÑOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS
1950-2020

Investigaciones actuales en medio ambiente II

Roberto Pichardo Ramírez
Ricardo Tobías Jaramillo
Juana Treviño Trujillo

UAT
VERDAD, BELLEZA, PROBIDAD

Consejo de Publicaciones

Fomento Editorial

COLOFÓN

Ing. José Andrés Suárez Fernández
Presidente

Dr. Julio Martínez Burnes
Vicepresidente

Dr. Héctor Manuel Cappello Y García
Secretario Técnico

C.P. Guillermo Mendoza Cavazos
Vocal

Dra. Rosa Issel Acosta González
Vocal

Lic. Víctor Hugo Guerra García
Vocal

Consejo Editorial del Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dra. Lourdes Arizpe Slogher • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Amalio Blanco** • Universidad Autónoma de Madrid. España | **Dra. Rosalba Casas Guerrero** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Francisco Díaz Bretones** • Universidad de Granada. España | **Dr. Rolando Díaz Lowing** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Manuel Fernández Ríos** • Universidad Autónoma de Madrid. España | **Dr. Manuel Fernández Navarro** • Universidad Autónoma Metropolitana. México | **Dra. Juana Juárez Romero** • Universidad Autónoma Metropolitana. México | **Dr. Manuel Marín Sánchez** • Universidad de Sevilla. España | **Dr. Cervando Martínez** • University of Texas at San Antonio. E.U.A. | **Dr. Darío Páez** • Universidad del País Vasco. España | **Dra. María Cristina Puga Espinosa** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Luis Arturo Rivas Tovar** • Instituto Politécnico Nacional. México | **Dr. Aroldo Rodrígues** • University of California at Fresno. E.U.A. | **Dr. José Manuel Valenzuela Arce** • Colegio de la Frontera Norte. México | **Dra. Margarita Velázquez Gutiérrez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. José Manuel Sabucedo Cameselle** • Universidad de Santiago de Compostela. España | **Dr. Alessandro Soares da Silva** • Universidad de São Paulo. Brasil | **Dr. Akexandre Dorna** • Universidad de CAEN. Francia | **Dr. Ismael Vidales Delgado** • Universidad Regiomontana. México | **Dr. José Francisco Zúñiga García** • Universidad de Granada. España | **Dr. Bernardo Jiménez** • Universidad de Guadalajara. México | **Dr. Juan Enrique Marcano Medina** • Universidad de Puerto Rico-Humacao | **Dra. Ursula Oswald** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Arq. Carlos Mario Yori** • Universidad Nacional de Colombia | **Arq. Walter Debenedetti** • Universidad de Patrimonio. Colonia. Uruguay | **Dr. Andrés Piqueras** • Universitat Jaume I. Valencia, España | **Dr. Yolanda Troyano Rodríguez** • Universidad de Sevilla. España | **Dra. María Lucero Guzmán Jiménez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dra. Patricia González Aldea** • Universidad Carlos III de Madrid. España | **Dr. Marcelo Urra** • Revista Latinoamericana de Psicología Social | **Dr. Rubén Ardila** • Universidad Nacional de Colombia | **Dr. Jorge Gissi** • Pontificia Universidad Católica de Chile | **Dr. Julio F. Villegas** • Universidad Diego Portales. Chile | **Ángel Bonifaz Ezeta** • Universidad Nacional Autónoma de México

Índice

Parte 1. Contaminación y Tecnología Ambiental 13

Capítulo 1. Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero por residuos no peligrosos: el caso de una industria petroquímica del Sur de Tamaulipas 15
Jamie Sahory Hernández Jasso, Rocío del Carmen Vargas Castilleja y Yuridia Azucena Salmerón Gallardo

Capítulo 2. Modelado de un sistema multi-agente para el monitoreo de residuos peligrosos en la industria 27
Carlos A. Soto, Elvira Rolón Aguilar, Julio César Rolón Aguilar y Roberto Pichardo Rámirez

Capítulo 3. Análisis de la eficiencia de técnicas de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos 37
María Dolores Gracia Guzmán, Oscar Laureano Casanova y Julio Mar Ortiz

Capítulo 4. Mezcla sustentable de asfalto en caliente, utilizando RAP combinado con asfalto modificado con polímeros 53
Gabriel Hernández Zamora, Juana Treviño Trujillo, Rodolfo Barragán Ramírez y Raúl Alejandro Morales Rivera

Capítulo 5. Monóxido y dióxido de carbono en áreas verdes urbanas 69
Kevin Eduardo Rios Aceves, Bárbara Azucena Macías Hernández y Elizabeth del Carmen Andrade Limas

Capítulo 6. Evaluación potencial de riesgo genotóxico de compuestos xenobióticos 87
Juan Carlos Gaytán Oyarzún, Marco Antonio Sanchez Olivares y René Bernardo Elías Cabrera Cruz

Parte 2. Educación y Gestión Ambiental 101

Capítulo 7. Desarrollo rural y sostenibilidad: estrategias de emprendimiento para el desarrollo de comunidades rurales en la Huasteca 103
Rosa María Hernández Rejón, José Luis Martínez Navarro y Raúl Treviño Hernández

Capítulo 8. Sustentabilidad ambiental en la industria de procesos y sus efectos en el cambio climático 111
Oscar Laureano Casanova, Julio Mar Ortiz y María Dolores Gracia Guzmán

Capítulo 9. Educación ambiental, retos y perspectivas en la formación profesional en la ingeniería 123
Luis Jonás González Del Ángel, Blanca Patricia Rubio Lajas y Dionicio Morales Ramírez

Capítulo 10. Vivienda tradicional sostenible en comunidades rurales de la zona Huasteca de Tamaulipas y Veracruz en México 135
Elda Margarita Hernández Rejón, Raúl Treviño Hernández y Teresa Sánchez Medrano

Capítulo 11. Cuantificación en la diferencia de la huella de carbono por medio de la transversalidad en el diseño de tres edificios, utilizando los métodos dinámicos elástico lineal e inelástico no-lineal en Tampico Tamaulipas 145
Marcos Alfredo Azuara Hernández, Rodolfo Garza Flores y Alan Ramírez Reyes

Parte 3. Recursos Naturales 155

Capítulo 12. Contribución de análisis de la calidad del agua en la Cuenca Alta del Río Soto la Marina 157
Luis Antonio Vázquez Ochoa, Rocío del Carmen Vargas Castilleja, Ricardo Tobías Jaramillo y Gerardo Sánchez Torres Esqueda

Capítulo 13. Aprovechamiento del recurso natural de la "concha de ostión" como agregado en concreto, mediante pruebas de compresión y flexión al 3% en peso 173
Rodolfo Barragán Ramírez, Marcos Alfredo Azuara Hernández y Rodolfo Garza Flores

Capítulo 14. Monitoreo de la calidad del agua: alternativas emergentes 187
Adrián Vázquez Osorio, Juan Pablo Soto, Elvira Rolón Aguilar y Julio César Rolón Aguilar

Capítulo 15. Factibilidad del uso de algas de agua dulce como biofertilizante en zonas cañeras 201
Leonor Toledo Barajas, Ruth del Carmen Galindo López, Irving Román García Cantero

Introducción

En el volumen correspondiente al año de 2019, se presenta un grupo heterogéneo de trabajos que se mantienen unidos por el hilo conductor del desarrollo sustentable y la calidad ambiental. Los trabajos se clasificaron de acuerdo a tres secciones temáticas: Contaminación y Tecnología Ambiental, Educación y Gestión Ambiental así como Recursos Naturales.

La sección de Contaminación y Tecnología Ambiental está integrada por seis trabajos: *Escenarios de emisiones de GEI por residuos no peligrosos: el caso de una industria petroquímica del sur de Tamaulipas* por Jamie Sahory Hernández Jasso, Rocío del Carmen Vargas Castilleja y Yuridia Azucena Salmerón Gallardo con el objetivo de definir escenarios de emisiones para la determinación de gases de efecto invernadero en términos de $CO_{2\text{-eq}}$, mediante la herramienta GEI-MRS en una industria petroquímica del sur de Tamaulipas. *Modelado de un sistema multi-agente para el Monitoreo de Residuos Peligrosos utilizando la Metodología INGENIAS* es un trabajo de Carlos A. Soto Barrera, Elvira Rolón Aguilar y Julio Rolón-Aguilar con el objetivo de realizar una revisión sistemática sobre los mecanismos de monitoreo de la calidad del agua mostrando una comparación entre los diversos estudios desarrollados en este tema. Asimismo, se realiza una propuesta para el agua contaminada por la industria minera en el río Sonora. *Análisis de la eficiencia de técnicas de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*, por María Dolores Gracia Guzmán, Julio Mar Ortiz y Oscar Laureano Casanova, tuvo como objetivo evaluar tres técnicas de remediación de suelos impactados con hidrocarburos (Biopilas, Bioventeo y Oxidación Química); el principal objetivo se enfoca en la comparación de estas técnicas con la finalidad de definir la técnica más efectiva en cuanto costos y confiabilidad desde el punto de vista ambiental. *Mezcla sustentable de asfalto en caliente, utilizando RAP combinado con asfalto modificado con polímeros* por Juana Treviño Trujillo, Gabriel Hernandez Zamora y Rodolfo Barragán Ramírez tuvo como objetivo describir la experiencia de América Latina en cuanto a que hay poca información sobre el uso de RAP (pavimento de asfalto reciclado, por sus siglas en inglés). La mayoría de las experiencias combina técnicas de "Hot Mix Asphalt" con RAP. Las compañías mineras y trituradoras estiman alrededor de 7.7 millones de toneladas de RAP producidas anualmente en México, pero menos del 25% de ellas se reciclan, el resto se desperdicia. Situación similar ocurre en Brasil, Chile y Colombia. *Monóxido y dióxido de carbono en áreas verdes urbanas* por Kevin Eduardo Ríos Aceves, Bárbara Azucena Macías Hernández y Elizabeth del Carmen Andrade Limas tuvo como objetivo estimar la concentración de monóxido de carbono en áreas verdes urbanas de la zona centro y en los remanentes de vegetación natural de Ciudad Victoria,

Tamaulipas. *Evaluación de potencial de riesgo genotóxico de compuestos xenobióticos* por Juan Carlos Gaytán-Oyarzun, Marco Antonio Sánchez-Olivares y René Bernardo Elías Cabrera-Cruz, tuvo como objetivo proponer la técnica de Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPOR-G), la cual es un modelo para estimar por compuestos xenobióticos presentes en medios contaminados como aire, agua o suelo; entendiéndose a la evaluación del potencial de riesgo como un proceso que tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación en la biota ante una situación espacio-temporal específica.

La sección de Educación y Gestión Ambiental estuvo integrada por cinco trabajos. *Desarrollo rural y sostenibilidad: estrategias de emprendimiento para el desarrollo de comunidades rurales en la Huasteca* por Rosa María Hernández Rejón, Raúl Treviño Hernández y José Luis Martínez Navarro, tuvo como objetivo presentar un análisis crítico sobre la sustentabilidad en las comunidades rurales de México, y a partir del estudio de comunidades rurales en la región Huasteca, se identifican los aspectos necesarios para la investigación de las estrategias de emprendimiento para el desarrollo de estas comunidades. Se incluyen otros trabajos, como *Sustentabilidad ambiental en la industria de procesos y sus efectos en el cambio climático* por Oscar Laureano Casanova, Julio Mar Ortiz y Dolores Gracia, y *Educación ambiental, retos como individuos y sociedad en la formación profesional de comunicación y percepciones en la ingeniería* por Luis Jonás González Del Ángel, Blanca Patricia Rubio Lajas y Dionisio Morales Ramírez. *Vivienda tradicional sostenible en comunidades rurales de la zona Huasteca de Tamaulipas y Veracruz en México* por Elda Margarita Hernández Rejón, Raúl Treviño Hernández, Teresa Sánchez Medrano tuvo como objetivo presentar un análisis crítico sobre la sustentabilidad en las comunidades rurales de México, y a partir del estudio de comunidades rurales en la región Huasteca, se identifican los aspectos necesarios para la investigación de las estrategias de emprendimiento para el desarrollo de estas comunidades. *Cuantificación en la diferencia de la huella de carbono por medio de la transversalidad en el diseño de tres edificios, utilizando los métodos dinámicos lineal y no-lineal en Tampico Tamaulipas* por Marcos Alfredo Azuara Hernández, Rodolfo Garza Flores y Alán Ramírez Reyes tuvo como objetivo presentar un estudio de la huella de carbono (HdC) generada en la construcción de diferentes estructuras, donde se compara la cantidad de material obtenido de su diseño estructural, utilizando métodos de análisis de las acciones dinámicas recomendadas por las Normas Técnicas Complementarias en su versión 2017.

La sección de Recursos Naturales fue integrada por tres trabajos. *Contribución de análisis de la calidad del agua en la Cuenca Alta del Río Soto la Marina* por Luis A. Vázquez Ochoa, Rocío del C. Vargas Castilleja y Gerardo Sánchez Torres Esqueda. *Gestión con el uso de recursos naturales "concha de ostión" en el concreto en pruebas de compresión y flexión*

al 3% en peso por Rodolfo Barragán Ramírez, Marcos Alfredo Azuara Hernández y Rodolfo Garza Flores. *Monitoreo de la calidad del agua: alternativas emergentes* por Adrián Vázquez Osorio, Elvira Rolón Aguilar y Juan Pablo Soto Barrera. El interés de este trabajo se basa, particularmente, en el agua del río Sonora, contaminada desde 2014 debido a la industria minera. Se realiza una revisión sistemática sobre los mecanismos de monitoreo de la calidad del agua mostrando una comparación entre los diversos estudios desarrollados en este tema. Asimismo, se realiza una propuesta para el agua contaminada por la industria minera en el río Sonora.

Dr. Julio César Rolon Aguilar
Líder del Cuerpo Académico Medio Ambiente y
Desarrollo Sustentable
UAT-CA-029

Dr. René Bernardo Elías Cabrera Cruz
Comité editorial y arbitraje del
UAT-CA-029

Parte 1: Contaminación y Tecnología Ambiental

Capítulo 1. Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero por residuos no peligrosos: el caso de una industria petroquímica del sur de Tamaulipas

Jamie Sahory Hernández Jasso, Rocío del Carmen Vargas Castilleja[1] y Yuridia Azucena Salmerón Gallardo

Resumen

Se definieron escenarios de emisiones para la determinación de gases de efecto invernadero en términos de $CO_{2\text{-eq}}$, mediante la herramienta GEI-MRS en una industria petroquímica del sur de Tamaulipas. El proceso metodológico integró la construcción de tres escenarios fundamentados con indicadores clave para el cálculo de emisiones por residuos no peligrosos de la Planta Resinas Vinílicas en las áreas de producción y no producción. El $EB/01_{2016}$ estima 60 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$; el $EB/02_{2017}$ determina 46 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ y el $EB/03_{2018}$ calcula 14 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$. Los valores obtenidos aportan una visión prospectiva de las situaciones de impacto que pueden manifestarse en el ámbito local-particular, con perspectivas de incorporación como evidencia científica en la toma de decisiones de estrategias para la mitigación frente al cambio climático.

Palabras clave: Cambio climático, Gases de efecto invernadero, Industria petroquímica, Residuos no peligrosos.

Introducción

El cambio en la composición química de la atmósfera, generado por el aumento constante en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), plantea la responsabilidad de llevar a cabo acciones necesarias en la gestión de residuos; uno de los principales problemas a nivel mundial, en relación con el crecimiento poblacional, la urbanización y el desarrollo económico como aceleradores de la tasa de generación de desechos (CEPAL, 2010; PINCC, 2015; ONU, 2018). En países desarrollados se establece la pertinencia de incluir la escala y la visión local, como un punto de interacción que contribuye en la articulación de estrategias frente al cambio climático, bajo acciones tendentes a la prevención de residuos a través de la reintroducción en el ciclo de producción mediante el reciclado de componentes cuando existan soluciones sostenibles, hacia una economía circular (Habib, Schmidt y Christensen, 2013;paving the way for maximum resource (materials and energy Loureiro, Rovere y Mahler, 2013).

[1] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: rocvargas@docentes.uat.edu.mx

En economías emergentes, la adopción de sistemas de gestión eficientes afronta la ausencia de información; así, existen insuficientes acciones, sin especificaciones a escala para la creación de iniciativas de adaptación y mitigación por emisiones de residuos (Guerrero, Maas y Hogland, 2013). En México, las emisiones estimadas para la categoría de procesos industriales proceden de la industria química y la producción de metales (INECC, 2012). La generación de residuos industriales no peligrosos reside en el giro de la empresa, mientras que la composición va en función de las actividades económicas; siendo esta última, una característica para la determinación de emisiones y la consiguiente adopción de técnicas sofisticadas y eficientes, aunadas a la concientización e inclusión de estrategias mitigantes a nivel local (Das et al., 2019 y Saidan, 2019).

Los Residuos No Peligrosos (RNP) se definen como asimilables a urbanos, resultantes de la eliminación de materiales utilizados en actividades domésticas, productos consumidos, envases, embalajes o empaques (DOF, 2018). El sistema de gestión de RNP es uno de los principales retos a los que se enfrentan los responsables de la toma de decisiones y la disposición final sin recuperación de energía es una de las opciones menos sustentables (Dong et al., 2014).

Bugge, Fevolden y Klitkou (2019) refieren que los RNP se deben abordar a través de iniciativas de colaboración que abarquen toda la cadena de valor desde el principio; esto requiere la exploración de nuevas formas de tratamiento que trasciendan las prácticas existentes, los límites y las estructuras. Al respecto, Nyashina, Vershinina, Shlegel y Strizhak (2019), sugieren la perspectiva de incineración de residuos como la base para el desarrollo de tecnologías eficientes de los desechos industriales, en lugar de prácticas más sostenibles en términos de prevención; pues un cambio de sistema probablemente asegurará un mayor grado de direccionalidad. La evaluación de escenarios a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la determinación del tratamiento con mayor aprovechamiento, hace factible la elección de tecnologías para la reducción de emisiones.

Hidayatno, Destyanto y Noor (2019), exponen el uso de indicadores clave ante la ausencia de información para analizar la relación entre los factores críticos en la reducción de GEI; específicamente, consideran el consumo de energía como un indicador económico y ambiental para determinar la afectación del CO_2 en el crecimiento económico. Lo descrito, expone la pertinencia de estimar las emisiones GEI por RNP en términos de CO_2-equivalentes. El ámbito geográfico se limita a la Industria Petroquímica (IP), ubicada en el sur del estado de Tamaulipas, referida como fuente generadora de empleo, excepcionalmente propensa a los efectos del cambio climático, lo que plantea desafíos que impulsan las esferas económica, social y ambiental en vinculación con las instituciones educativas con el uso de

herramientas, programas y mecanismos que coadyuven en el ejercicio de sus objetivos de desarrollo.

Se aporta información cuantitativa de las emisiones GEI, mediante un método indirecto, sinóptico y viable a través de un conjunto de indicadores mínimos para su aplicación. Los resultados obtenidos podrían incorporarse como evidencia científica en la toma de decisiones en una fase temprana del proceso de planificación para la mitigación de las emisiones en el ámbito local-particular, siendo un catalizador que evidencie la utilidad de una estimación con estas características para promover principios de sustentabilidad.

Metodología

La aplicación de la herramienta para calcular los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el Manejo de Residuos Sólidos (MRS), desarrollada en 2009 por el Instituto de Investigación de Energía y Medio Ambiente de Heidelberg por sus siglas IFEU.

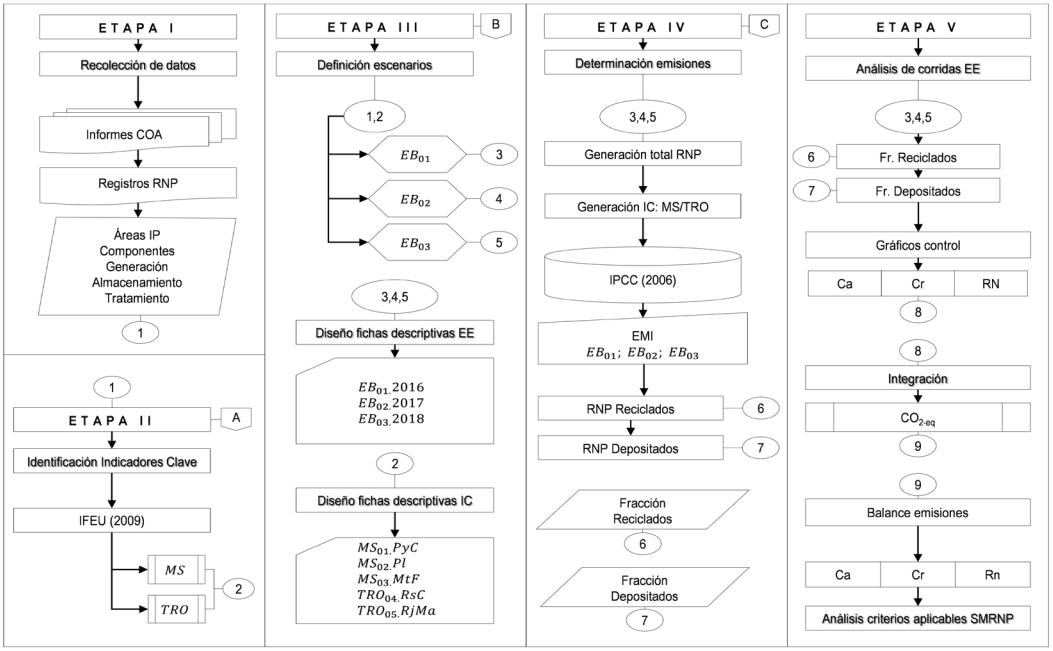


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso metodológico general.
Fuente: Elaboración de los autores.

La Etapa I, recoge los datos históricos sobre la composición, la generación, el tipo de almacenamiento y la disposición de RNP para los años 2016, 2017 y 2018, reportados en la Cédula de Operación Anual (COA) como instrumento de gestión

ante la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) y los registros de generación de RNP, procedentes de la base de datos interna consignada para análisis científico por la Industria Petroquímica del Sur de Tamaulipas.

La Etapa II, se basa en la composición de RNP a través de indicadores clave directamente relacionados con la generación, expresada en toneladas anuales y valores porcentuales, para el cálculo de las emisiones en las categorías recomendadas por las directrices del IPCC (2006) para los residuos de Economías de Medianos Ingresos (EMI), conforme la adquisición de datos registrados en la clasificación de la Industria Petroquímica en el Programa para la Administración y el Control de Operaciones (PACO).

En la Etapa III, se definen escenarios de emisiones como herramienta de análisis, fundamentados en indicadores clave con fuente de información primaria proporcionada por la empresa y justificados para su elección por el IPCC (2006); se diseñan fichas descriptivas desde la propuesta con datos de periodicidad, denominación, series temporales, unidad de medida, organización, área, departamento, directriz, clave y descripción de cada escenario (DEPRO, 2005; Conill, Velazco y Hernández, 2011; Vergara-Schmalbach, Fontalvo-Herrera y Maza-Ávila, 2010). Se desarrollan esquemas simplificados adaptados de la ONU (2018), donde se muestran las operaciones involucradas en la gestión de residuos en las fases de origen (área), componentes (indicadores clave), generación (toneladas/anuales), almacenamiento y tratamiento.

La Etapa IV, consta de la estimación de emisiones derivadas de la gestión de RNP totalizadas en ton/anuales/CO_2 equivalente, siguiendo el método de evaluación del Ciclo de Vida de RNP por escenarios, con valores de generación en porcentajes de peso húmedo, contenido de agua, valor calorífico y factor de emisión dado por defecto por el IPCC (2006) e IFEU (2009) para la red eléctrica del país, en relación a la importancia de las emisiones de los Sitios de Disposición Final (SDF) y las futuras emisiones generadas durante la degradación de los desechos, así como las futuras emisiones causadas por una determinada cantidad de residuos tratados. Este método corresponde al enfoque "Nivel 1" (Tier 1) descrito por el IPCC (2006).

En la Etapa V, se hizo el análisis de corridas de los escenarios a través de gráficos de control de las diferentes fracciones de residuos reciclados y depositados, integrados en balances de emisiones estructurados en cargos, créditos y resultados netos bajo una escala colorimétrica, representada como la suma de las emisiones de los flujos de reciclaje y disposición final. A partir de los resultados obtenidos, se realizó la revisión de piezas de investigación que resumen las tendencias en la práctica, para la recomendación de criterios aplicables en el manejo de los residuos no peligrosos.

Resultados y análisis

El estudio caracterizó los residuos industriales no peligrosos generados en una industria petroquímica del sur de Tamaulipas conforme la composición, cantidades y potencial de reciclaje en indicadores catalogados en Materiales Secos (*MS*) y Tipo de Residuos orgánicos (*TRO*), incorporados en los escenarios definidos como: $EB/01_{2016}$; $EB/02_{2017}$ y $EB/03_{2018}$.

En la Figura 2, Se presenta el esquema del sistema de manejo de residuos para el escenario $EB/01_{2016}$ que concentra la estructura para los escenarios $EB/02_{2017}$ y $EB/03_{2018}$. Integra las áreas de Oficinas (O), Almacenamiento de Producto (AP), Mantenimiento (MN) y Almacén de Materia Prima (AMP); los indicadores identificados en la Etapa II: MS_{01}. Papel y cartón, MS_{02}. Plásticos, MS_{03}. Metal ferroso, TRO_{04}. Residuos de comida y TRO_{05}. Residuos de jardín y madera; la generación total que se reporta como sigue: 630 ton/a para el $EB/01_{2016}$, 608 ton/a para el $EB/02_{2017}$ y 799 ton/a para el $EB/03_{2018}$; el almacenamiento de los residuos en jaulas de metal y contenedores de plástico transportados en tolvas para el tratamiento en fracción de reciclaje y disposición final.

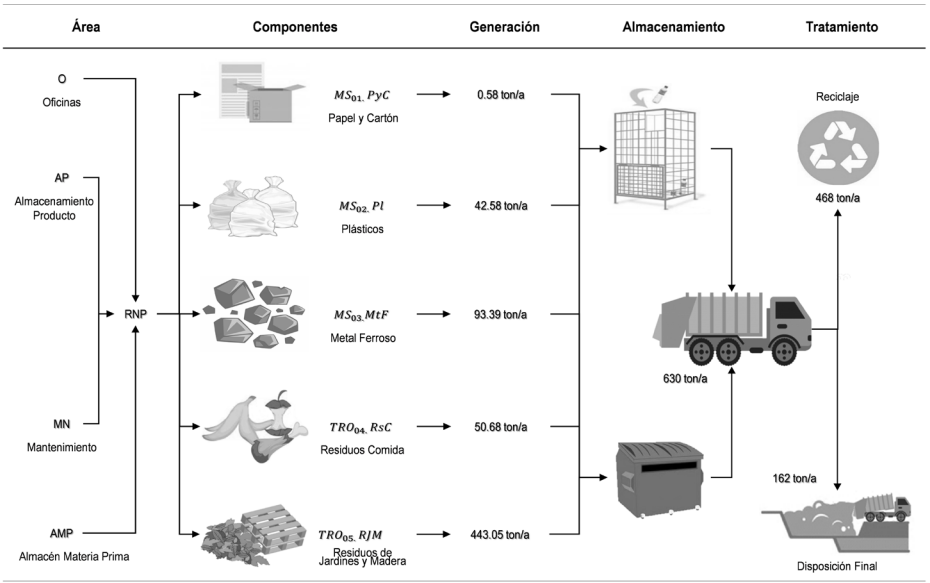
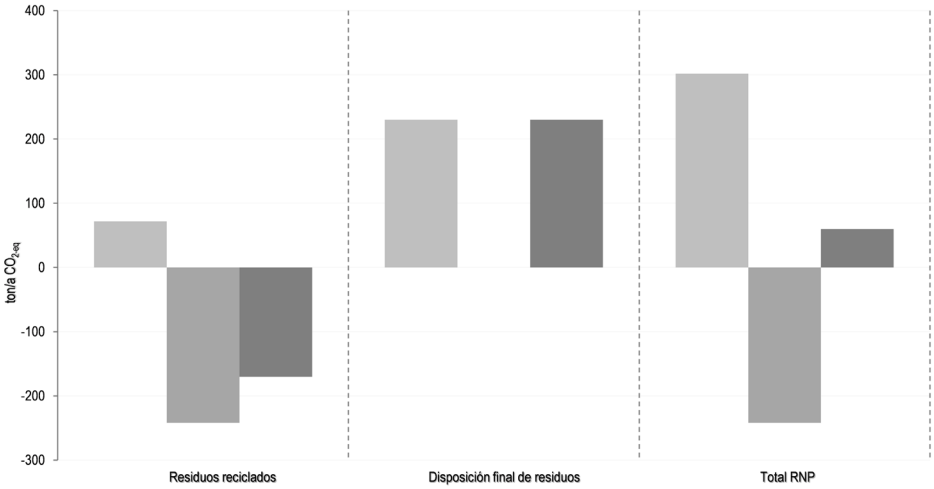


Fig. 2. Esquema del Sistema de Manejo RNP: $EB/01_{2016}$.
Fuente: Adaptado de ONU (2018).

Escenarios de emisiones. Las emisiones GEI se muestran en gráficos de balance expresadas en cargos, créditos, y resultados netos para las actividades de reciclaje, disposición final y la suma de estas actividades como el total de RNP. En seguida, se detallan las emisiones por escenarios en una escala de grises; las barras en color

amarillo indican las emisiones causadas por reciclaje y disposición final en términos de cargos. Las barras en color verde representan el ahorro de emisiones por el reciclaje en términos de créditos de acuerdo con la materia prima evitada durante el reingreso al proceso de producción (valores negativos). En color rojo se muestra el efecto neto, es decir, la diferencia entre los débitos y créditos.

El *EB*/01$_{2016}$, refleja la situación en el manejo de RNP del año 2016, totalizando 630 ton/a/RNP. El 74% de RNP generados se reciclan (468 ton/a), en mayor porcentaje: residuos de comida, jardín y madera (76%), metales ferrosos (16%), plásticos (8%), papel y cartón (1%), y el 26% de RNP se depositan en SDF controlados (162 ton/a). En la Figura 3, se visualiza el balance de emisiones determinando 72 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ para la fracción de reciclados, 230 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ para RNP depositados en SDF controlados; esto representa 302 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ en términos de cargos. Los cargos, menos los créditos por las emisiones evitadas por el reciclaje (-242 ton/a $CO_{2\text{-eq}}$) estiman 60 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ como resultado neto para el *EB*/01$_{2016}$.



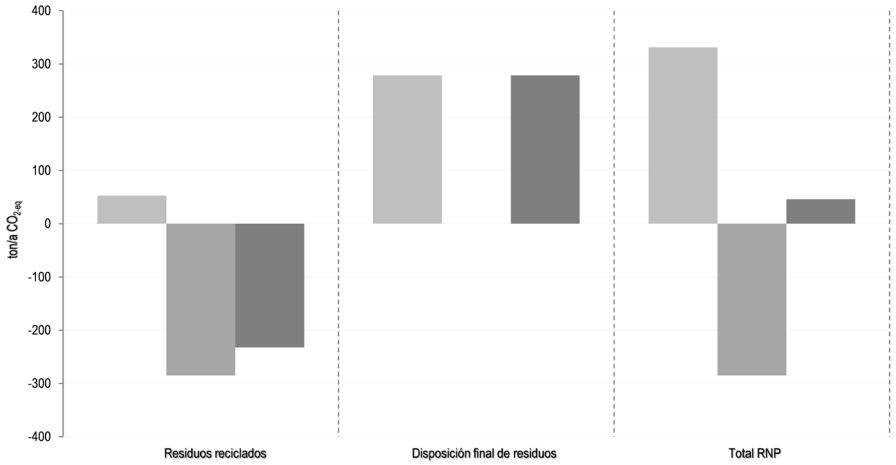
$EB/01_{2016}$	Reciclados	Disposición final	Total RNP	
Cargos	72 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	230 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	302 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones generadas por disposición final
Créditos	-242 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	0 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	-242 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones evitadas por el reciclaje
Resultado neto	-170 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	230 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	60 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones GEI

Fig. 3. Balance de emisiones: $EB/01_{2016}$.
Fuente: Elaboración de los autores.

El *EB*/02$_{2017}$, expone la situación en el manejo de RNP del 2017. En este año se generaron 608 toneladas; el 67% de los residuos se reciclaron a través de empresas particulares, principalmente: residuos de comida, jardín y madera (66%),

métales ferrosos (26%), plásticos (6%), papel y cartón (3%), y el 33% de RNP se depositó en SDF controlados (201 ton/a).

En la Figura 4, se muestra el balance de emisiones evaluando la fracción de residuos reciclados (67%) con 53 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$, una vez que ingresa al procedimiento de transformación como materia prima reciclable. El depósito de RNP en SDF controlados genera 278 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$; esto representa un total de cargos de 331 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$. Los créditos en valores negativos por las emisiones evitadas en el 67% de reciclados representan -285 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$; la disposición no proporciona créditos. Los cargos por reciclados (53 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$), menos los créditos por las emisiones evitadas (-285 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$) generan un resultado neto de -232 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$. El resultado neto derivado de los residuos reciclados (-232 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$) menos el resultado neto de las actividades de disposición final (278 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$), totalizan 46 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ para el escenario *EB*/02_{2017}.

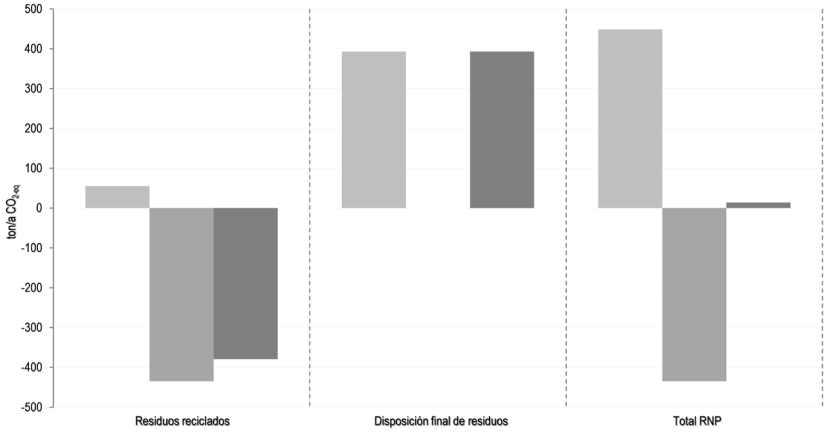


$EB/02_{2017}$	Reciclados	Disposición final	Total RNP	
Cargos	53 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	278 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	331 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones generadas por disposición final
Créditos	-285 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	0 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	-285 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones evitadas por el reciclaje
Resultado neto	-232 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	278 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	46 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones GEI

Fig. 4. Balance de emisiones: $EB/02_{2017}$.
Fuente: Elaboración de los autores.

El *EB*/03_{2018}, indica una generación total de 799 toneladas de residuos industriales no peligrosos en 2018. El 66% de RNP generados se reciclan (527 ton/a); los materiales mayormente reciclados son residuos de comida, jardín y madera (60%), métales ferrosos (34%), plásticos (4%), papel y cartón (2%), y el 34% de RNP son depositados en rellenos sanitarios controlados (271 ton/a).

En la Figura 5, se presenta el balance de emisiones GEI; para la fracción de RNP reciclados (66%) se estiman 55 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ y para la fracción de RNP depositados en sitios de disposición controlados se calculan 393 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$; esto representa un total de cargos de 448 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$. Los créditos se determinan en -435 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$, como emisiones evitadas por el 66% de residuos reciclados; la disposición de RNP, no proporciona créditos para el escenario *EB*/03_{2018}. Los cargos por los residuos reciclados (55 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$), menos los créditos por las emisiones evitadas (-435 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$) generan un resultado neto de -379 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$. El resultado neto derivado de los residuos reciclados (-379 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$) en diferencia con el resultado neto de las actividades de disposición final (393 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$) totalizan las emisiones GEI en 14 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$.



$EB/03_{2018}$	Reciclados	Disposición final	Total RNP	
Cargos	55 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	393 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	448 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones generadas por disposición final
Créditos	-435 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	0 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	-435 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones evitadas por el reciclaje
Resultado neto	-379 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	393 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	14 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	Emisiones GEI

Fig. 5. Balance de emisiones: $EB/03_{2018}$.
Fuente: Elaboración de los autores.

El análisis de las corridas por escenarios integra los valores de la Tabla I. En el *EB*/03_{2018}, se recicla en menor porcentaje (66%), en contraste con el *EB*/02_{2017} que presenta 67% de reciclados y 33% de RNP depositados, y en comparación con el *EB*/01_{2016} que alcanza mayor porcentaje (74%). Sin embargo, para el *EB*/01_{2016} que calcula mayor reciclaje, se estima la mayor generación de emisiones (60 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$), en tanto que para el *EB*/03_{2018} se registra la mayor generación de residuos (799 ton/a) y menor cantidad de emisiones (14 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$), debido principalmente, al reciclaje del MS. Metal ferroso (34%) en diferencia con el *EB*/01_{2016}, que tiene el menor reciclaje para este indicador (16%).

El indicador *TRO*. Comida, jardín y madera, asociado con la productividad y trabajadores en planta (administrativos, obreros, contratistas) en las áreas de evaluación: se recicla el 76% en el *EB*/01$_{2016}$, en el *EB*/02$_{2017}$ el 66% y en el *EB*/03$_{2018}$ el 60%. Los indicadores MS. Plásticos y MS. Papel y cartón, determinan valores en el orden de 1% a 8% para las prácticas de reciclaje; no obstante, suman en el ahorro de emisiones totales. Si bien el reciclaje de metales ferrosos constituye la mayor cantidad de créditos (emisiones evitadas) por la capacidad de reconversión de este residuo en recurso y el factor de emisión del contaminante emitido a la atmósfera, es importante atender todos los indicadores, considerando que si el porcentaje de reciclaje es bajo se verá reflejado en los cargos por las prácticas de disposición final en conclusiones de Das et al. (2019) y Saidan (2019).

Tabla 1. Emisiones GEI en el manejo de residuos industriales no peligrosos

	Sistema de manejo RNP	*EB*/01$_{2016}$	*EB*/02$_{2017}$	*EB*/03$_{2018}$
RNP	Generación total	630 ton/a	608 ton/a	799 ton/a
	Reciclados	74%	67%	66%
	Depositados	26%	33%	34%
IC Reciclaje	*TRO*. Comida, jardín y madera	76%	66%	60%
	MS. Papel y cartón	1%	3%	2%
	MS. Plásticos	8%	6%	4%
	MS. Metal ferroso	16%	26%	34%
Emisiones	Cargos	302 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	331 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	448 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$
	Créditos	-242 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	-285 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	-435 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$
	Resultados netos	60 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	46 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$	14 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$

Fuente: Elaboración de los autores a partir de la herramienta GEI-MRS.

La generación de RNP incrementó de 630 toneladas a 799 ton/a para una estimación de 60 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ en 2016 a 14 ton/a/$CO_{2\text{-eq}}$ para una mayor generación de RNP en 2018, lo que manifiesta que la proporción de diferentes fracciones de reciclaje, se relaciona directamente con las emisiones GEI y con la disposición final en SDF controlados que contribuyen en los cargos, debido a que ningún beneficio se deriva de esta opción de tratamiento como lo señala Dong et al. (2014). Aunque la limitada cantidad de datos detallados y exactos sobre el manejo integral de los desechos, generó la modificación a partir de los valores dados por defecto, los datos obtenidos ofrecen una aproximación cuantitativa de las estrategias de tratamiento como una

importante contribución a la toma de decisiones, resaltando que la viabilidad de los RNP para la simbiosis industrial se presenta en el reciclaje como estrategia de mitigación como lo refieren Habib, Schmidt y Christensen (2013)paving the way for maximum resource (materials and energy y Loureiro, Rovere y Mahler (2013).

Conclusiones

Los escenarios *EB*/01$_{2016}$; *EB*/02$_{2017}$ y *EB*/03$_{2018}$, muestran que las emisiones GEI por RNP en una industria petroquímica del sur de Tamaulipas, han sido constantes, con tendencia al aumento que se manifiesta en función del incremento en la productividad. En consecuencia, se recomienda el flujo de residuos de verterse en SDF controlados a utilizar tecnologías de tratamiento especializadas con información del *ciclo de vida*, ya que la eficiencia en la recuperación de residuos reciclados interviene en la cantidad total de emisiones. A pesar de la deficiencia de datos, los valores obtenidos se aportan como insumos para los instrumentos de gestión y para la identificación de alternativas como un mecanismo ante el impacto futuro por la gestión de RNP. No obstante, resulta pertinente efectuar otros estudios para el establecimiento de inventarios de generación y las transferencias de contaminantes al aire, agua y suelo por RNP del sector industrial.

Agradecimientos

A la industria petroquímica ubicada en el sur de Tamaulipas, por proporcionar la información analizada. Al Cuerpo Académico Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (UAT-CA-29), por el soporte y colaboración en la investigación.

Lista de referencias

Bugge, M. M., Fevolden, A. M., y Klitkou, A. (2019). "Governance for system optimization and system change: The case of urban waste". *Research Policy*, 48(4), 1076–1090. https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.013

CEPAL. (2010). *Metodologías de cálculo de la huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. República Francesa: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.* Disponible en: https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37288

Conill, Y., Velazco, H., y Hernández, C. (2011). "Planificación de escenarios: Una herramienta estratégica para el análisis del entorno". *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 16(54), 274–290. https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29018865006

Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K. H., Lee, S. S., y Bhattacharya, S. S. (2019). "Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability". *Journal of Cleaner Production*, 228, 658–678. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.323

DEPRO. (2005). *Punto Focal de Residuos del Observatorio de Sostenibilidad de Cantabria. Santander, España: Desarrollo de Procesos Químicos y Control de Contaminantes.* Disponible en: https://puntofocalderesiduos.cantabria.es/documents/4493807/4494407/informeii_aplicacion_indicadores_area_residuos.pdf

DOF. (2018). *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Estados Unidos Mexicanos: Diario Oficial de la Federación.* 08/10/2003. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510956&fecha=19/01/2018

Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., y Ni, M. (2014). "Energy-environment-economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study". *Applied Energy*, 114, 400–408. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.037

Guerrero, L. A., Maas, G., y Hogland, W. (2013). "Solid waste management challenges for cities in developing countries". *Waste Management*, 33(1), 220–232. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008

Habib, K., Schmidt, J. H., y Christensen, P. (2013). "A historical perspective of Global Warming Potential from Municipal Solid Waste Management". *Waste Management*, 33(9), 1926–1933. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.04.016

Hidayatno, A., Destyanto, A. R., y Noor, S. T. (2019). "Conceptualizing carbon emissions from energy utilization in Indonesia's industrial sector". *Energy Procedia*, 156(2018), 139–143. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.118

IFEU. (2009). *Herramienta de Cálculo de Gases de Efecto Invernadero en el Manejo de Residuos Sólidos. Frankfurt, Alemania: KfW Bankengruppe. Departamento de Comunicación; IFEU-Institut Für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH.* Disponible en: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/2009_Manual_SWM-GHG-Calculator_spanisch.pdf

INECC. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. México, D.F: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.* Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos

IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Vol. 5: Waste.* (Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Eds.). IGES, Japan: National Greenhouse Gas Inventories Programme. Disponible en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html. [19-08-2019].

Loureiro, S. M., Rovere, E. L. L., y Mahler, C. F. (2013). "Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro". *Waste Management*, 33(5), 1302–1312. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.024

Nyashina, G. S., Vershinina, K. Y., Shlegel, N. E., y Strizhak, P. A. (2019). "Effective incineration of fuel-waste slurries from several related industries". *Environmental Research*, 176(June), 108559. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108559

ONU. (2018). *Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe.* Disponible en: https://www.unenvironment.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe

PINCC. (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo III. Emisiones y Mitigación de Gases de Efecto Invernadero.* (Programa de Investigación en Cambio Climático, Ed.). México, D.F.: Impresos Vacha, S.A. de C.V. Disponible en: http://www.pincc.unam.mx/libro_reportemex/reporte_mexicano_vol_III.pdf

Saidan, M. N. (2019). "Cross-sectional survey of non-hazardous waste composition and quantities in industrial sector and potential recycling in Jordan". *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 12(March), 100227. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100227

Vergara-Schmalbach, J., Fontalvo-Herrera, T., y Maza-Avila, F. (2010). "La planeación por escenarios: Revisión de conceptos y propuestas metodológicas". *Prospectiva*, 8(2), 21–29. https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250978004

Capítulo 2. Modelado de un sistema multi-agente para el monitoreo de residuos peligrosos en la industria

Carlos Armando Soto Barrera, Elvira Rolón Aguilar[2], Julio César Rolón Aguilar y Roberto Pichardo Rámirez

Resumen

En la actualidad, el uso de la informática y la comunicación se han convertido en una parte inevitable de la planificación, diseño y la gestión de procesos en el sector industrial. El uso de sistemas inteligentes para gestionar el manejo de residuos peligrosos facilita a las compañías de manufactura una mejor planificación, monitoreo y recolección de dichos residuos.

Los agentes *software* han demostrado ser una solución eficiente, ya que pueden desarrollar tareas en nombre de los usuarios. Además, los agentes pueden comunicarse entre ellos y utilizar técnicas de razonamiento para la solución de conflictos. Por esta razón, en este trabajo se propone el uso de agentes *software* para el monitoreo residuos peligrosos en la industria.

Palabras clave: sistema multi-agente, residuos peligrosos, control de residuos.

Introducción

Los residuos son materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a un tratamiento o disposición final de acuerdo con lo dispuesto en la Ley y demás ordenamientos que de ella se deriven [1].

La generación y manejo de residuos no es exclusiva del sector industrial, sin embargo, derivado de la naturaleza de la misma, son las que generan mayor cantidad de residuos comparadas con otros sectores. Es por esto, que requieren un mayor control con el fin de paliar su impacto en el medio ambiente.

Hoy en día las tecnologías de información son herramientas de gran ayuda para la solución de situaciones que conllevan un impacto ambiental, ya que permiten a los usuarios facilitar la toma de decisiones relacionadas con la logística y el manejo de residuos [2] [3]. Al utilizar las tecnologías de información se simplifica el manejo de los residuos y con ello el cumplimiento de las normatividades aplicables para el sector industrial.

[2] Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller" y Universidad Autónoma de Sonora. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: erolon@docentes.uat.edu.mx

Además, el paradigma de agentes constituye una metáfora de los sistemas con agentes de interacción con propósito, y esta abstracción es similar a la forma en que los humanos piensan y actúan respecto a sus propias actividades [4]. Además, los agentes pueden mejorar el rendimiento de los individuos, así como el del sistema general en el que se encuentran [5] [6].

Los agentes tienen entre otras, las siguientes propiedades útiles [7]:

- Autonomía: los agentes operan sin la intervención directa de humanos u otros y tienen algún tipo de control sobre sus acciones y estados internos.
- Habilidad social: los agentes interactúan con otros agentes (posiblemente humanos) a través de algún tipo de lenguaje de comunicación.
- Proactividad: los agentes toman la iniciativa para lograr sus propios objetivos. Es decir, pueden exhibir comportamientos flexibles, proporcionando conocimiento tanto "reactivo" a solicitud del usuario, o "proactivamente", anticipándose a las necesidades de conocimiento del usuario.

Un sistema basado en agentes o sistema multi-agente es aquel en el que el nivel de abstracción utilizado es el agente. En principio, un sistema basado en agentes podría especificarse en términos de agentes, pero no implementarse con un entorno específico de desarrollo de *software* orientado a agentes. Sin embargo, lo ideal es realizar tanto el diseño como la implementación en términos de agentes.

Un sistema basado en agentes puede estar constituido por un único agente (*single-agent system*) o por múltiples agentes (SMA) [8]. La mayor diferencia entre estos sistemas se basa en los patrones de comunicación. Un SMA se comunica con la aplicación y el usuario, así como con otros agentes del sistema. Sin embargo, en los sistemas basados en un único agente los canales de comunicación están abiertos solamente entre el agente y el usuario.

Las principales características de un SMA son [9]:

- Proveen la infraestructura adecuada para la comunicación entre agentes.
- Son normalmente diseñados para ser sistemas abiertos sin ningún diseño centralizado.
- Los agentes que componen un SMA son autónomos y pueden ser cooperativos o de naturaleza competitiva.

En el presente trabajo se propone un modelo multi-agente que permita el monitoreo constante de los residuos generados hasta su disposición final. Además, dicho modelo permitirá alertar y tener al tanto a las personas indicadas para la toma de decisiones en caso de presentarse alguna situación atípica que ponga en riesgo al personal o a la población.

El resto de este documento está organizado de la siguiente manera: la sección dos describe la metodología INGENIAS, utilizada para modelar nuestra propuesta; la sección tres describe la arquitectura y el modelo utilizando la metodología descrita en la sección anterior; finalmente, la conclusión y el trabajo futuro son presentados.

Metodología INGENIAS

Saber diseñar agentes y encajarlos en un sistema no es suficiente ya que [10]:

- Un sistema debe satisfacer las necesidades del cliente que lo solicitó.
- Hay que tomar decisiones fundamentales como elegir las cualidades que se quieren presentes en los agentes (utilizando las diferentes arquitecturas), decidir qué entidades del sistema van a ser agentes o no y organizarlo todo según la plataforma de desarrollo.

Debido a que este proceso no es trivial, se han estudiado las metodologías más importantes para decidir cuál se adapta mejor a las necesidades del proyecto. Como conclusión consideramos a INGENIAS la más adecuada para este proyecto debido a que es una de las metodologías más actualizadas y completas que existen, propone un lenguaje visual para generar los diferentes modelos o vistas [11] y además estos modelos están soportados por sus correspondientes meta-modelos y esto facilita la comprobación automática de inconsistencias en el diseño.

A continuación, se describe brevemente dicha metodología.

INGENIAS [10] es una metodología de ingeniería del software orientada a agentes (ISOA) para el desarrollo de sistemas multi-agente que parte de ideas propuestas en MESSAGE y UML [10].

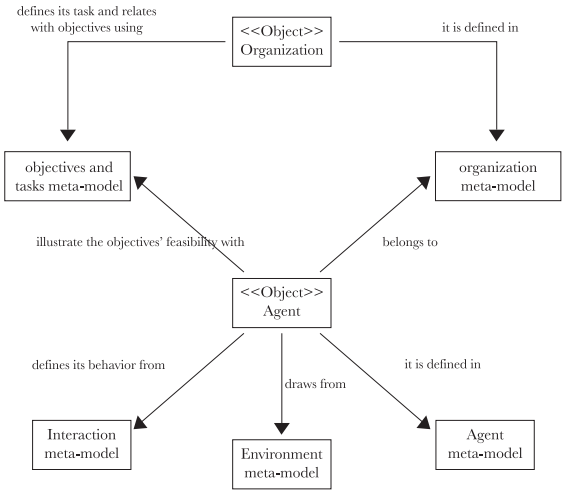
Por otro lado, INGENIAS concibe el desarrollo de un SMA como la representación computacional de un conjunto de modelos y, a su vez, cada modelo trata de mostrar una visión parcial del conjunto del SMA [12].

Así, esta metodología dispone de cinco modelos especificados a través de cinco meta-modelos que giran en torno a dos entidades: el agente y la organización. Estos meta-modelos son:

- Meta-Modelo de Agente: Describe a los propios agentes representando las responsabilidades de cada uno y el comportamiento de los mismos.
- Meta-Modelo de Interacción: Trata la coordinación y comunicación entre agentes.
- Meta-Modelo de Tareas y Objetivos: Relaciona el estado mental del agente con las tareas que debe ejecutar.

• Meta-Modelo de Organización: Define cómo se agrupan los agentes, la funcionalidad del sistema, así como las restricciones que hay que imponer sobre el comportamiento de los agentes.
• Meta-Modelo de Entorno: Define los elementos que se encuentran alrededor del SMA.

En la figura 1 se puede ver la relación existente entre cada meta-modelo y cómo las entidades agente y organización son la parte central de la metodología.



Arquitectura multi-agente

Las principales funcionalidades de un sistema de control y supervisión son: monitorear las variables de operación, procesar dichas variables para generar el control, transmitir las instrucciones de control, permitir las instrucciones de reconfiguración, detectar y diagnosticar condiciones anormales de operación. Estas funcionalidades y tareas pueden ser distribuidas y expresadas a través de una estructura de interacción concurrente y colaborativa.

Con la implementación de agentes inteligentes se puede definir una arquitectura, en la cual se define la descripción particular de los elementos que conforman a un agente en concreto y cómo estos elementos interactúan entre sí para lograr su correcto funcionamiento. La arquitectura determina los mecanismos que utiliza un agente para reaccionar a los estímulos, actuar, comunicarse, etcétera.

La interacción de agentes para el manejo de residuos está definida desde la generación del residuo por el agente generador (*collector agent*), la cual inicia con el depósito en contenedores de los residuos. Una vez que están los residuos en

contenedor se dispone al agente almacén, el cual gestionará el tiempo para el manejo del recurso definido legalmente para que posterior a esto el agente recolector pueda cumplir su actividad hasta la disposición final del residuo.

Para el lograr una comunicación efectiva entre los agentes se utiliza una ontología compartida definida para la comunicación entre ellos.

Modelo de la arquitectura del sistema

En esta sección se ilustran los meta-modelos de los agentes que describen los roles y las tareas de cada uno de ellos con INGENIAS.

Agente contenedor

Es el agente a cargo de la gestión de residuos dentro de la industria. Dicha gestión estará definida por las políticas o regulaciones del agente de contenedor. La función principal de este agente es supervisar el nivel de capacidad y tener la información disponible cuando se solicite.

La información de monitoreo se utiliza para responder a las solicitudes recibidas. Para responder satisfactoriamente a estas solicitudes, debe asignar un identificador al contenedor y monitorearlo con el objetivo de notificar el nivel cuando sea necesario.

Agente almacén

La responsabilidad de este agente es el mayor soporte del sistema, ya que se coordinará con el agente contenedor para la recepción de residuos. El agente recibe el producto para poder realizar sus operaciones internas y cumplir sus objetivos en tiempo de almacenamiento, capacidad de almacenamiento y disposición, la que se realizará al coordinarse con el agente recolector en las actividades necesarias para la entrega y recolección de los contenedores.

El objetivo principal del agente de almacenamiento es la sincronización con el agente contenedor para llevar a cabo las actividades solicitadas y lograr la recolección de residuos generados. Para lograr este objetivo, debe identificar la ubicación de los contenedores en su área a fin de obtener la administración de los diferentes contenedores que se manejan en el almacén.

Existen diferentes situaciones en las que se puede solicitar la recolección de cualquiera de los residuos. Las razones principales se deben a que el tiempo de gestión de los residuos en el almacenamiento expira, o porque el contenedor está en su capacidad máxima permitida.

Inicialmente, el tiempo que se define para el almacenamiento es de 180 días calendario desde que se coloca el primer residuo dentro del contenedor. Sin

embargo, las regulaciones permiten una extensión de tiempo de almacenamiento de residuos.

Las tareas del sector industrial son diversas, y el flujo de residuos puede organizarse dependiendo de la naturaleza de cada uno de ellos. En las empresas de residuos de bajo flujo, se considera una actividad para la recolección de residuos; si hay poca producción de residuos, el agente podrá solicitar una extensión no mayor de 150 días.

Agente recolector

El agente recolector se encarga de sincronizar al agente almacén con la logística de la recolección de residuos de la industria, para el manejo correspondiente de los mismos.

El objetivo primario de este agente es la recolección de residuos. Para esto, el agente debe sincronizarse con el agente de almacenamiento. Las tareas que finalizarán la recopilación se definirán mediante la identificación del recolector y la supervisión de almacenamiento, ya que el agente recolector debe sincronizar la recopilación cuando sea necesario.

Agente interfaz

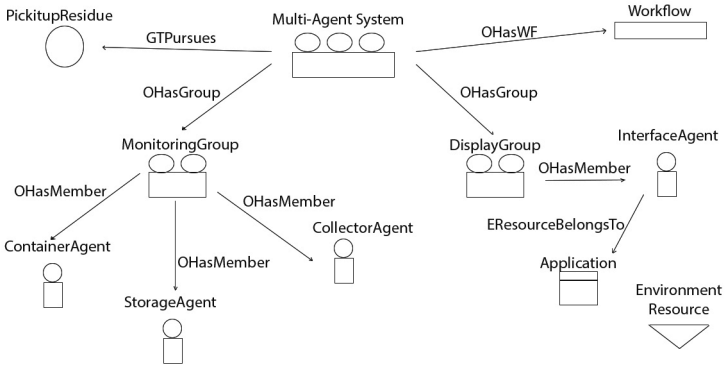
El agente de interfaz es responsable de organizar la información de los diferentes agentes y presentarla a los usuarios. En otras palabras, permite a los usuarios ver el cumplimiento de los objetivos y metas de los agentes en tiempo real.

Entre las distintas tareas de las cuales es responsable este agente, el objetivo principal es recopilar la información de los usuarios del sistema para permitir la interacción, para conseguir este objetivo lleva a cabo las tareas de identificar a los usuarios que interactúan con el sistema, gestionar la información capturada y consultar y mostrar las actividades que desea el usuario. El rol de este agente es filtrar la información para tener consistencia entre los resultados obtenidos del agente y las solicitudes de los diferentes usuarios. Para finalizar las solicitudes de los usuarios, el agente debe considerar las tareas de identificación de los usuarios y solicitar la información recopilada por el usuario.

Modelo de organización

La organización que existe en el sistema multi-agente (SMA) está determinada por el objetivo principal, que es la eliminación adecuada de residuos. Para lograr este objetivo, el SMA utiliza la interacción entre los agentes pertenecientes a la misma organización, comenzando con la reunión de los recursos ambientales en el grupo de agentes de supervisión (*MonitoringGroup*), que se encuentra en la aplicación del agente de interfaz, ya que se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Modelo de organización

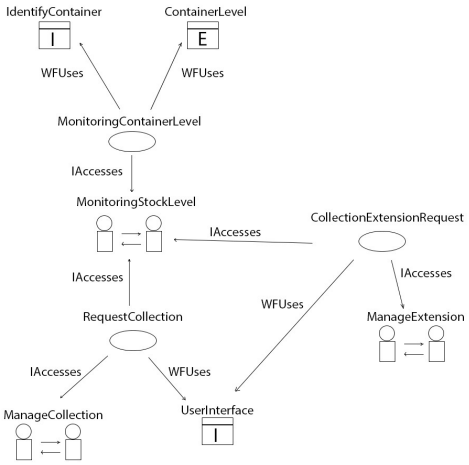


La interfaz con los diferentes usuarios del sistema se realiza en la organización del grupo de visualización (*DisplayGroup*), que se ha creado para satisfacer las necesidades de información de los usuarios.

Modelo de metas y tareas

El objetivo de este modelo es mostrar el cumplimiento de los objetivos y tareas en el sistema multi-agente (SMA). En este modelo (Fig. 3) desde el momento en que comienza la recolección de cualquier residuo, comienza el proceso de monitoreo de los contenedores dentro del almacenamiento de la industria (*MonitoringContainerLevel*); en consecuencia, el almacenamiento se sincroniza con los otros agentes para finalizar el periodo de almacenamiento de residuos (*CollectionExtensionRequest*) o la recolección de residuos (*CollectionRequest*). Todos los procesos, desde la creación hasta la eliminación final de residuos, estarán disponibles para ser monitoreados y consultados por el usuario.

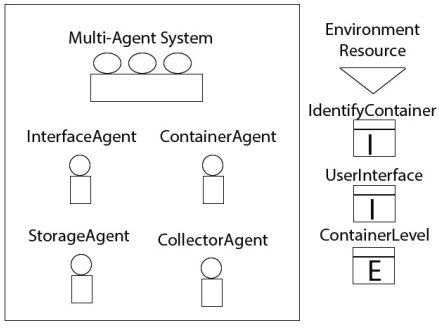
Figura 3. Modelo de metas y tareas



Modelo de entorno

El entorno del sistema multi-agentes propuesto (Figura 4) está definido por los componentes internos del sistema sugerido. Los usuarios interactúan con el sistema y las aplicaciones indican los niveles de los diferentes contenedores que integran el sistema.

Figura 4. Modelo de entorno



Conclusión y trabajos futuros

Este artículo propone una arquitectura multi-agente para el control de residuos peligrosos en empresas de manufactura con el objetivo de aumentar la eficiencia del uso de residuos y evitar al máximo los errores humanos en la gestión de los mismos.

La principal contribución de este trabajo es describir cómo se utilizó la metodología de INGENIAS para desarrollar nuestra arquitectura.

Una de las ventajas de este modelo se encuentra actualmente en el proceso de validación y prueba piloto, y hay propuestas para desarrollarlo como parte del trabajo futuro. Una de esas propuestas es adaptar el modelo al proceso de fabricación. Por último, se contempla el desarrollo de un prototipo. Para esto, se tiene contemplado el uso de la plataforma JADE [13].

Lista de referencias

LGPGIR, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2003.

Anagnostopoulus, T., Kolomvatsos, K., Anagnostopoulos, C., Zaslavsky, A., y Hadjiefthymiades., S. (2015). "Assessing dynamic models for high priority waste collection in smart cities", *Journal of Systems and Software*, pp. 178-192, 2015.

Popa, C., Carutasu, G., Cotet, C., Carutasu, N., y Dobrescu, T., "Smart City Platform Development for an Automated Waste Collection System", *Sustainability*, vol. 9, p. 11, 2017.

Greenberg, S., y Mercer, S. (2001). "A multi-agent architecture for knowledge sharing", *Sixteenth European Meeting on Cybernetic and Systems Research, Viena* (2001).

S. Sen. (1996). "Reciprocity: A foundational principle for promoting cooperative behavior among self-interested agents", *Second Int. Conf. Multi-Agent Systems*, 1996.

Kanj, H., y Flaus, J. (2015). "Agent-based framework for mitigating hazardous materials transport risk", *IEEE International Conference on Envolving and Adaptative Intelligent Systems*, pp. 1-8, 2015.

Wooldridge, M., y Jennings, N. (2005). *Intelligent Agents: Theory and Practice.* 1995.

Wooldridge, M., y Ciancarini, P. (2001). *Agent-Oriented Software Engineering: The State of the Art., vol. 1957*, Berlin: Springer.

Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, 1999.

Pavón, J., Gómez-Sanz, J., y Fuentes, R. (2005). "The INGENIAS Methodology and Tools". *Henderson-Sellers*, pp. 236-276.

Gómez-Sanz, J., Fuentes, R., Pavón, J., y García-Magariño., I. (2009). "INGENIAS development kit: a visual multi-agent system development environment", *Proceedings of the 7th Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, Berlin, 2008.

Gascuena, J., Navarro, E., Fernandez-Sotos, P., Fernandez-Caballero, A., y Pavon., J. (2015). "IDK and ICARO to develop multi-agent systems in support of Ambient Intelligence", *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 28, p. 1, 2015.

JAVA Agent Development Framework. Disponible en: https://jade.tilab.com/ [20-04-2019].

Capítulo 3. Análisis de la eficiencia de técnicas de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos

María Dolores Gracia Guzmán[3]*, Oscar Laureano Casanova y Julio Mar Ortiz*

Resumen

En la actualidad el transporte de hidrocarburos líquidos por ductos es una actividad importante en nuestro país. En los últimos años se han incrementado tanto las fugas derivadas de tomas clandestinas como las fallas mecánicas a lo largo de toda la república. La normatividad mexicana estipula que las empresas encargadas de producir y/o transportar hidrocarburos son responsables de mitigar los daños provocados al medio ambiente ocasionados por el derrame de dicho producto. En este estudio se evalúan tres técnicas de remediación de suelos impactados con hidrocarburos (Biopilas, Bioventeo y Oxidación Química); el principal objetivo se enfoca en la comparación de estas técnicas con la finalidad de definir la técnica más efectiva en cuanto a costos y confiabilidad desde el punto de vista ambiental.

Palabras clave: análisis técnico-económico de procedimientos, remediación de suelos, contaminación con hidrocarburos.

Introducción

El transporte de hidrocarburos líquidos por ductos tiene implícito un margen de seguridad en la operación de estos, que permite garantizar la integridad de los ecosistemas y centros de población que se encuentran cercanos al trazo de los ductos.

En México desde los años 80 la remediación de suelos ha ido cobrando mayor fuerza debido a los grandes pasivos ambientales que generan y además que se dedican al transporte de hidrocarburos, sustancias químicas, metales pesados, aceites, entre otros; PEMEX, Ferrocarriles, CFE como las principales debido al gran desarrollo que año con año presentan. Debido a esto la SEMARNAT se ha dado a la tarea de generar normatividad que regule tanto la caracterización como remediación de suelos tales son los casos de:

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (publicada en el DOF el 8 de octubre de 2003 y su última reforma publicada en el DOF el 30 de mayo de 2012) dando la referencia, significados, consideraciones y metodología en cuanto a la restauración y caracterización de sitios contaminados.
- Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, referente a: "límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su

[3] Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller" dgracia@docentes.uat.edu.mx

> caracterización y remediación", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de marzo del 2005 y que entró en vigor 60 días después de la misma.

Además de la ley y norma citados anteriormente también se ha generado un proceso de certificación para las empresas remediadoras de suelos, con el tiempo se ha ido modificando este proceso siendo riguroso conforme pasa el tiempo, además de especializar a las empresas en solo algunas metodologías y no toda la gama de posibilidades que antes se asignaban indistintamente.

En cuanto a la selección de técnicas de remediación de suelos en México, el mayor ejemplo es sin duda la restauración de la Refinería 18 de marzo o Refinería Azcapotzalco, cuya caracterización concluyó en el 2007 definiendo zonas de tratamiento dependiendo del producto derramado y las condiciones del suelo. La etapa de remediación se realizó en dos etapas siendo las técnicas de Biorremediación por Biopilas, Inyección de Aire (*Air-Sparging*), Bioventeo y Extracción de Vapores.

En México existen una gran cantidad de sitios contaminados por hidrocarburos debido a las industrias petroquímicas y mineras. Este tipo de empresas son indispensables para el estilo de vida actual, y aunque se toman medidas para evitar el impacto ambiental, se tiene presente que es imposible, porque en la mayoría de los casos la contaminación es por causas que van más allá de las medidas preventivas de dichas empresas.

Como el problema es inevitable, los organismos tienen que acudir a instancias que puedan solucionar este tipo de incidentes. La medida que ellos adoptan es una remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, pero este tipo de procedimientos son largos y costosos. Se busca encontrar la mejor opción en cuanto a remediaciones de suelos contaminados por hidrocarburos, esto con el fin de ahorrar tiempo y recursos, encontrando la manera más efectiva y amigable con el medio ambiente.

A partir de lo anteriormente descrito, este capítulo tiene como objetivo comparar tres técnicas de remediación de suelos impactados con hidrocarburos, con la finalidad de identificar la técnica más efectiva en cuanto a procedimiento, costo y confiablidad ambiental. A fin de ahorrar el tiempo en la selección de la mejor manera de tratar el suelo contaminado por hidrocarburos y a la vez reducir costos, el beneficio se dirige a los trabajadores tanto de campo como los analistas en los laboratorios. Esta investigación se entrelaza con la ingeniería industrial debido a que se llevan a cabo procesos con una metodología estructurada que necesita supervisión, análisis de tiempos y de procesos.

Revisión de literatura

Comenzamos con la definición de tres términos importantes:

> […] *Hidrocarburo*: Se conoce como hidrocarburo al compuesto de tipo orgánico que surge al combinar átomos de hidrógeno con otros de carbono. Según los

> expertos en la materia, en este compuesto la forma molecular se basa en átomos de carbono enlazados con átomos de hidrógeno. Estas cadenas de átomos de carbono pueden ser abiertas o cerradas y lineales o ramificadas. Cuando un hidrocarburo es extraído en estado líquido de una formación geológica, recibe el nombre de petróleo. En cambio, el hidrocarburo que se halla naturalmente en estado gaseoso se denomina gas natural (Diccionario en línea, s.f.).
>
> *Suelo contaminado por hidrocarburos*: Un suelo contaminado es aquel en el cual se encuentran presentes hidrocarburos que por sus cantidades y características afecten la naturaleza del suelo (NOM, 2003).
>
> *Remediación de suelos*: Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos (SEMARNAT, s.f.).

El equipo necesario para remediar el suelo varía según el tipo y el grado de contaminación. También varían las temperaturas necesarias de procesamiento. Los contaminantes más comunes son productos derivados del petróleo tal como gasolina, diésel, combustible de avión, aceites lubricantes, gasóleos, alquitrán de carbón y derivados del petróleo.

Los tipos de contaminantes más comunes de suelos son:

> […] *Petróleo crudo*: El petróleo es un líquido oleoso bituminoso de origen natural, inflamable, cuyo color varía de incoloro a negro, y consiste en una mezcla completa de hidrocarburos con pequeñas cantidades de otros compuestos (Ambientum, s.f.).
>
> *Gasolina*: La gasolina es un derivado del petróleo, que está constituido por la suma de varios hidrocarburos (moléculas de hidrógeno y carbono) (EcuRed, s.f.).
>
> *Diésel*: El Diésel es un combustible hidrocarburo, derivado de la destilación atmosférica del petróleo crudo. Se consume principalmente en máquinas de combustión interna de alto aprovechamiento de energía, con elevado rendimiento y eficiencia mecánica (SENER, 2017).

> […] La actividad del transporte de hidrocarburos por ductos es un servicio que tiene carácter de utilidad pública sujeta a las normas de la Ley de Hidrocarburos No. 1689 del 30 de abril de 1996 la Ley SIRESE No. 1600 de 20 de octubre de 1994, el presente reglamento y otras normas legales aplicables. Para fines del presente reglamento, el transporte de hidrocarburos por ductos se divide: i) Sistema de Gasoductos, ii) Sistema de Oleoductos y, iii) Sistema de Poliductos (*Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos*, s.f.).

> […] *Gasoductos:* El gasoducto está formado por tubos de acero muy elástico y unido entre sí por medio de soldaduras. Discurre por una zanja que permite que la parte superior del conducto permanezca enterrada al menos a un metro del suelo. Se evita el contacto directo con el terreno por medio de un recubrimiento de polietileno. El diámetro de la canalización se decide en función de la cantidad de gas que vaya a fluir por él. La principal ventaja del gasoducto sobre transportes alternativos es su economía y su seguridad. Su impacto ambiental es mínimo, puesto que la zona por la que discurre se restaura y, al cabo de pocas semanas, salvo por la señalización correspondiente, no se distingue su trazado. Antes de tenderlo, se realiza un estudio medioambiental y otro arqueológico (*El gas natural licuado*, s.f.).
>
> *Oleoducto:* Mucho más que un sistema de transporte de hidrocarburos, el oleoducto es la pieza maestra de la industria petrolera y constituye la forma más rápida, rentable y segura de transportar crudo a través de grandes distancias. Los oleoductos son un ensamblaje de tubos de acero con diámetros internos que suelen oscilar entre los 30 y los 120 centímetros. Pueden ser construidos sobre la superficie o enterrados bajo tierra (Bicentenario, s.f.).
>
> *Poliducto:* Los poliductos son redes de tuberías destinados al transporte de hidrocarburos o productos terminados. A diferencia de los oleoductos convencionales, que transportan sólo petróleo crudo, los poliductos transportan una gran variedad de combustibles procesados en las refinerías: keroseno, naftas, gas oíl etc. El transporte se realiza en paquetes sucesivos denominados baches. Un poliducto puede contener cuatro o cinco productos diferentes en distintos puntos de su recorrido, que son entregados en las terminales de recepción o en estaciones intermedias ubicadas a lo largo de la ruta (Scarpellini, Aranda y Zabalza, 2008).

Algunos de los impactos al medio ambiente de los medios de transporte terrestre de hidrocarburos (gasoductos, oleoductos, poliductos) son:

> […] Puede causar erosión en el área de la tubería, en las áreas montañosas, esto puede causar inestabilidad de los suelos y causar derrumbes.
>
> […] El escurrimiento y la sedimentación pueden bajar la calidad del agua de los ríos y arroyos durante la construcción.
>
> […] Puede alterar los modelos de drenaje, bloquear el agua, levantar el nivel freático en el lado ascendente del oleoducto y esto puede causar la muerte o reducción de la vegetación como árboles.
>
> […] Se puede alterar el suministro de agua a los humedales.

[…] La rotura de los oleoductos que cruzan los ríos u otras extensiones de agua pueden causar importantes daños ambientales.

Algunos tipos de actividades agrícolas pueden ser afectadas, solamente a corto plazo, durante el periodo de la construcción y a largo plazo en caso de derrames. Los oleoductos que se colocan sobre la tierra pueden crear barreras para los seres humanos y la fauna migratoria.

La instalación de la tubería puede fragmentar el hábitat de las áreas naturales (por ejemplo, tierras silvestres), y provocar la pérdida de especies y reducir la biodiversidad.

Las roturas y fugas, así como los desechos generados en las estaciones de bombeo y transferencia, pueden causar, potencialmente, la contaminación de los suelos, aguas superficiales y el agua freática (Banco Mundial, 2009).

Biopilas

[La Biopila] es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en materia orgánica estable (composta madura), gracias a la acción de diversos microorganismos. Es necesario optimizar cinco parámetros: la aireación, la temperatura, el contenido de humedad, la relación carbono/nitrógeno (C/N) y el pH (Eweis et al. 1998, citado en Velasco, y Volke, 2003).

[…] Debido a que los contaminantes orgánicos comúnmente no se encuentran en concentraciones suficientes para soportar un proceso de Biopilas, el material contaminado debe mezclarse con sustancias orgánicas sólidas biodegradables como aserrín, paja, bagazo, estiércol, composta madura y desechos agrícolas. Estos materiales son conocidos como agentes de volumen y se utilizan en el proceso de Biopilas con tres finalidades básicas: a) Asegurar la generación del calor necesario para el proceso. b) Mejorar el balance y disponibilidad de nutrientes (C/N) para la actividad microbiana. c) Aumentar la porosidad de la composta y con esto la aireación y capacidad de retención de agua" (Alexander 1994; Eweis et al., 1998; Semple et al., 2001).

[…] Las estrategias de biorremediación por Biopilas, se basan en la adición y mezclado de los componentes primarios de una composta (agentes de volumen) con el suelo contaminado, de manera que conforme la composta madura, los contaminantes son degradados por la microflora activa dentro de la mezcla. Los sistemas de Biopilas incluyen fosas en el suelo, reactores cerrados (tambores rotatorios, tanques circulares), recipientes abiertos, silos, Biopilas alargadas y Biopilas estáticas (Semple et al., 2001, citado en Velasco, y Volke, 2003).

[…] La elección del tipo de sistema de biopilas depende principalmente de las condiciones climáticas y de la estructura de los compuestos en el suelo contaminado. Generalmente las biopilas se diseñan como sistemas cerrados, ya que éstas permiten mantener la temperatura y evitan la saturación de agua debido a lluvias.

[…] El sistema de biopilas alargadas es el proceso de Biopilas más económico y sencillo. En éstas, el material a compostar se apila sobre una plataforma en montones alargados en este tipo de biopila, la aireación se realiza mediante el mezclado manual o mecánico de la composta, proceso que a su vez permite homogeneizar la temperatura. El mezclado de la composta proporciona una mayor distribución y facilita la biodegradación de los contaminantes, ya que permita la homogeneización de los nutrientes, agua, aire, contaminantes y microorganismos. La frecuencia del mezclado de la pila depende de la actividad microbiana, que generalmente puede determinarse por el perfil de la temperatura en la composta, que puede realizarse una vez al día (EPA, 1995, citado en Velasco, y Volke, 2003) o bien una vez al mes (Sellers et al., 1993, citado en Velasco, y Volke, 2003).

Figura 1. Adición de la bacteria PPS-2100 a la técnica de Biopilas

Ventajas de la técnica de Biopilas

[…] Algunas de las principales ventajas que presentan los sistemas de Biopilas y en general las tecnologías de biorremediación, se resumen a continuación (Alexander, 1981; Eweis et al., 1998; Semple et al., 2001; Iturbe-Argüelles et al., 2002; citados en Velasco, y Volke, 2003).

• Son sistemas económicamente factibles, comparados con las tecnologías térmicas y fisicoquímicas tradicionales.
• Son tecnologías relativamente simples, comparadas con la mayoría de las tecnologías tradicionales. El diseño y construcción de las biopilas son relativamente sencillos.
• Pueden considerarse estrategias efectivas y ambientalmente "amigables", ya que biotransforman parcial o totalmente los contaminantes en biomasa y productos estables e inocuos.
• El objetivo de las Biopilas es la biodegradación (destrucción) y detoxificación de contaminantes, mientras que otras tecnologías, como la adsorción en carbón activado, el lavado, el confinamiento y solidificación/estabilización, únicamente transfieren los contaminantes de un medio a otro. Una consecuencia común de la actividad microbiana es la detoxificación de químicos tóxicos.
• El suelo biorremediado con el uso de sistemas de Biopilas, no necesita ser confinado posteriormente.

Desventajas y delimitaciones

[…] Algunas de las limitaciones que presenta el uso del sistema de Biopilas (Van Deuren et al., 1997 Eweis et al., 1998, citados en Velasco, y Volke, 2003) son:
• Está limitado a contaminantes orgánicos.
• Concentraciones muy altas de contaminantes pueden resultar tóxicas e inhibir la biodegradación. En el caso de hidrocarburos (HTP), es recomendable que la concentración no exceda 50 000 ppm. Por otra parte, concentraciones de metales pesados mayores a 2500 ppm pueden inhibir el crecimiento microbiano.
• Una disminución en la actividad microbiana provoca una disminución en la degradación y aumenta el periodo del tratamiento. Por ello, el éxito del proceso depende de la capacidad para crear y mantener las condiciones ambientales necesarias para el crecimiento microbiano.
• Existe el riesgo de que ciertos compuestos originalmente inocuos, puedan ser convertidos en productos tóxicos para una u otra especie.
• Es necesario contar con un espacio adecuado para montar los sistemas.
• El arrastre de vapores durante el proceso de aireación requiere de tratamiento antes de descargar a la atmósfera.
• Existe un incremento volumétrico del material a tratar por la adición de los agentes de volumen. Sin embargo, este problema queda solucionado con el tiempo de tratamiento.

Costos y tiempos de remediación

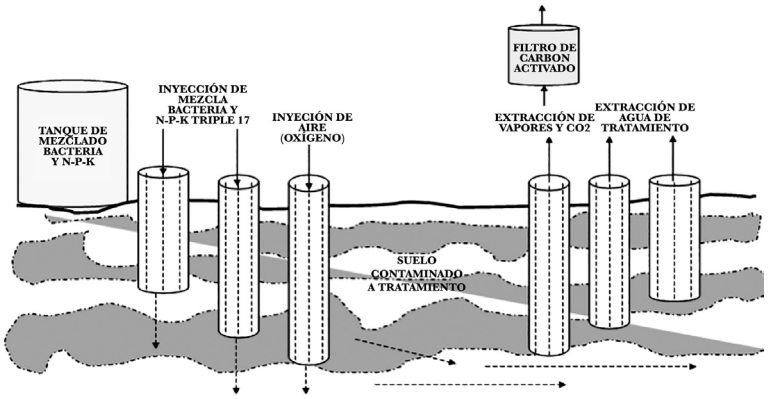
Es una tecnología en la que los tiempos de limpieza pueden variar desde 3 a 8 meses y dependiendo del volumen y la concentración, y sus costos de operación son bajos con respecto a la oxidación química y al Bioventeo. Esta tecnología requiere de equipo y maquinaria para lograr la remediación del suelo contaminado. Los costos típicos se encuentran entre 130 y 260 USD/m^3 (Riser-Roberts, 1998).

Bioventeo

El Bioventeo es una tecnología relativamente nueva, cuyo objetivo es "estimular la biodegradación" natural de cualquier compuesto biodegradable en condiciones aerobias. Es un proceso *in situ* de inyección de aire en los suelos contaminados en cantidades lo suficientemente bajas para aumentar sus niveles de concentración de oxígeno y estimular la actividad microbiológica original. Esta tecnología se aplica con buenos resultados en sitios donde la contaminación abarca sustancias volátiles y semi-volátiles como lo es el caso de los hidrocarburos (Van Deuren y col., 1997).

Figura 2. Toma de muestra para realizar análisis mediante prueba de Bioventeo

Figura 3. Proceso de Bioventeo



Ventajas de la técnica de Bioventeo

- Elimina la necesidad de transportar los desechos contaminados originales.
- Es una de las técnicas más económicas de rehabilitación biológica.
- Desde el punto de vista ecológico es práctico y efectivo en la remediación.

Desventajas y delimitaciones

- Se requiere sólo en aquellos sitios de rehabilitación biológica donde el oxígeno adicional ayudaría a la propagación de los microorganismos.
- Preferentemente se usa en las zonas no saturadas de los suelos porosos.
- Necesita una buena caracterización hidrogeológica del lugar.
- Los periódicos de incubación van de meses a años.

Algunos factores que pueden limitar la efectividad del Bioventeo son:

- El tipo y la concentración del contaminante.
- Falta de nutrientes.
- Bajo contenido de humedad.
- Dificultad para alcanzar el flujo de aire necesario.

Costos y tiempos de remediación

Es una tecnología en la que los tiempos de limpieza pueden variar desde algunos meses hasta varios años, y sus costos de operación pueden variar desde algunos meses hasta varios años, y sus costos de operación varían entre 10 y 70 USD/m^3. Esta tecnología no requiere de equipo caro, pero los costos pueden variar en función

de la permeabilidad del suelo, espacio disponible, número de pozos y velocidad de bombeo (Van Deuren et al., 1997).

Tabla 1. Relación de materiales a utilizar Biventeo

No	Descripción	Unidad
1	Película de polietileno para la barricada en color amarillo	M.
2	Pegamento para PVC	LTO.
3	Tubería hidráulica en PVC 4" d.n. ced 40	M.
4	Esmalte alkidalico brillante esp pemex ra-20, en espray	LTO.
5	Alambre de puas de 4 cabezas de acero galvanizado de dos hilos calibre 12.5	M.
6	Biosurfactante libre de fosfatos biodegradable para desprender partículas de hidrocarburo adheridas a las partículas de suelo (quantum clean)	LTO.
7	Carbón activado	M^3
8	Grapas de acero galvanizado para sujeción de alambre de puas de 5/8" a 3/4"	KG.
9	Madera de pino áspera de 2a	PT.
10	Poste de madera Rolliza de 89 mm (3 1/2") de diámetro x 2.50 m de alto promedio	PZA.
11	Cemento gris	KG.
12	Bentonita	KG.
13	Suplemento de oxígeno con nutrientes nutrox	LTO.
14	Válvula de globo PVC 4"	

Oxidación química

El proceso de oxidación química es un proceso que requiere la presencia de suelo contaminado Intemperizado y semi-intemperizado y/o de derrames recientes de crudo. Con un oxidante adecuado la mayoría de los compuestos orgánicos se oxidan a CO_2, Agua y otros productos mineralizables. La oxidación química es capaz de destruir muchos tipos de sustancias químicas, combustibles, solventes y plaguicidas. El uso de catalizadores, como los que se basan en el hierro, permiten acelerar el proceso y por lo tanto conseguir una descomposición más rápida del suelo y subsuelo contaminado. El catalizador actúa sobre el oxidante descomponiéndolo en radicales libres, que actúan sobre las moléculas a oxidar.

Ventajas de la técnica de oxidación química

- Generalmente se consigue la mineralización completa (destrucción) del contaminante.
- Oxida completamente la materia orgánica.
- No se forman subproductos de reacción o se forman en baja concentración.

Desventajas de la técnica de oxidación química

- Deja el suelo estéril para cualquier uso.
- Manejo delicado de sus reactivos.
- Alta concentración de emisiones.
- Requiere de equipo de seguridad profesional para su aplicación.

Costos y tiempos de remediación

Es una tecnología de corto a mediano plazo, cuyos costos oscilan entre 190 y 600 USD/m^3 (Van Deuren et al., 1997, citado por SEMARNAT, s.f.).

Análisis de la eficiencia técnico-económica
Eficiencia económica

De acuerdo con SEMARNAT (s.f.), la eficiencia económica de los métodos de remediación son los siguientes: "Biopilas: Los costos típicos se encuentran entre 130 y 260 USD/m^3. Bioventeo: Sus costos de operación varían entre 10 y 70 USD/m^3. Oxidación Química: Los costos oscilan entre 190 y 600 USD/m^3".

Tabla 2. Eficiencia técnica (procedimiento)

Biopilas (Ex-situ)	Bioventeo (In-situ)	Oxidación Química (Ex-situ)
Este tiene un menor tiempo de tratamiento ya que el material se extrae del lugar por lo cual también es más fácil identificar y degradar con mayor precisión el hidrocarburo	Permite realizar el tratamiento sin necesidad de extraer y transportar el suelo	Este proceso es mucho más rápido que los anteriores ya que el material es extraído del suelo
Por lo general este procedimiento se lleva a cabo con la ayuda de maquinaria pesada (excavadoras y camiones de volteo), por lo cual el tiempo de preparación del material para llevar a cabo el tratamiento es menor	Tiene un mayor ahorro en cuanto el uso de maquinaria pesada, ya que esta solo necesita una perforadora	Los químicos que se agregan al suelo impactado degradan de manera directa el contaminante

Biopilas (Ex-situ)	Bioventeo (In-situ)	Oxidación Química (Ex-situ)
	Se puede ajustar el diseño de la distribución del ramaleo de acuerdo a las necesidades Una vez concluida la construcción y armado de los pozos y el sistema de extracción e inyección de aire el personal requerido para que funcione el sistema se reduce a unos cuantos	

Tabla 3. Eficiencia técnica (confiabilidad ambiental)

Biopilas (Ex-situ)	Bioventeo (In-situ)	Oxidación Química (Ex-situ)
El suelo saneado mediante esta técnica no requiere ser confinado después del tratamiento, por lo tanto, se puede usar de manera inmediata en los fines deseados	Los compuestos orgánicos volátiles (COV´s) no se liberan en ningún momento en la atmosfera	Elimina partículas muy grandes de hidrocarburo Intemperizado
La mezcla usada durante este proceso no contiene sustancias que afecten directamente las propiedades del suelo como es el caso de la oxidación química	Mediante el proceso solo se utilizan compresores de aire y extractores, por lo que el uso del combustible de operación es mínimo	Degrada de manera muy rápida el contaminante, evitando así otros tratamientos de tiempo prolongado (biopilas)
	Se evita al máximo la tala de árboles	El material resultante se puede utilizar como relleno o sub-base en construcciones

Conclusiones y recomendaciones

Se evaluaron diversas tecnologías de remediación para sanear el área afectada por el derrame de crudo mediante un análisis costo/efectividad, considerando la información obtenida durante la evaluación del sitio, con el propósito de establecer la alternativa de restauración más adecuada para devolverle al sitio las características que tenía antes del incidente.

Los resultados obtenidos indican que para este contaminante, dadas las características del suelo y condiciones ambientales, la técnica ideal de tratamiento es la de Biorremediación por Biopilas.

Se propone que esta técnica de biorremediación se realice *ex situ*, ya que existen 2 ductos sobre el DDV de Pemex, tomando en cuenta que si se realiza

esta técnica será menor el tiempo de tratamiento ya que es posible homogenizar y muestrear periódicamente el material a tratar, por consiguiente se considera que mediante la técnica de biorremediación *ex situ*, el tiempo de tratamiento será menor a comparación de la técnica de bioventeo, pero si se compara el tiempo de remediación, la técnica de oxidación química tiene un tiempo mucho menor para tratar el material contaminado del sitio, pero no es la adecuada ya que el suelo se tornaría infértil para cualquier uso que se le pudiera dar en un futuro.

Las ventajas de la técnica propuesta en comparación con las otras técnicas de remediación son las siguientes:

- Es una técnica relativamente simple comparada con las otras dos técnicas propuestas (Bioventeo-Oxidación Química).
- Esta técnica es efectiva y sobre todo ambientalmente amigable con la naturaleza, comparada con las otras dos anteriormente mencionadas.
- El Bioventeo, emite compuestos volátiles a la atmósfera, que mediante filtros de carbón activado son atrapados, pero esto ya incluye otro gasto más. Esta técnica es tardada por el volumen de material a tratar, ya que llevaría de 4 a 8 meses de tratamiento (según el volumen de tratamiento).
- La Oxidación Química, en cuanto al tiempo es mucho más rápida que las biopilas, solo que esta técnica deja infértil el suelo por los productos oxidantes a utilizar, teniendo que adicionarle nutrientes al suelo, fertilizantes y otros productos que devuelvan al suelo sus características iniciales, y esto ya implicaría un gasto adicional.

Además, los productos que se adicionan directamente al suelo, se tendrían que aplicar con equipos profesionales de seguridad, ya que estos reactivos emiten altas concentraciones y reaccionan violentamente, por lo que el manejo de los mismos tiene que ser de manera delicada para no llegar a tener algún accidente. El objetivo de la técnica de Biopilas, es la destrucción total de los contaminantes en el menor tiempo posible y que esta técnica sea efectiva sin dañar el medio ambiente, además de que su costo no sea tan elevado. Es una tecnología en la que los tiempos de limpieza pueden variar desde 3 a 6 meses, dependiendo del volumen y la concentración, y sus costos de operación son bajos con respecto a la oxidación química y al Bioventeo. Esta tecnología requiere de equipo y maquinaria para lograr la remediación del suelo contaminado.

Lista de referencias

Ambientum. Enciclopedia ambiental. (s.f.). *El petróleo.* Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_petroleo.asp

Astec Industries, Inc. (2013). *Remediación del suelo contaminado, s/p.* Disponible en: http://es.astecinc.com/index.php?option=com_content&view=article&id=859&Itemid=601 [24 de febrero del 2013]

Banco Mundial. (2009). *Libro de consulta para evaluación ambiental* (*vol I, II y III). Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial.* Disponible en: http://documentos.bancomundial.org/curated/es/472401468161955207/Libro-de-consulta-para-evaluacion-ambiental-volumen-1-politicas-procedimientos-y-problemas-intersectoriales

Bicentenario. Petróleo por Colombia. (s.f.). *El oleoducto.* Disponible en: http://www.bicentenario.com.co/index.php/quienes-somos-2/el-oleoducto

Diccionario en línea. (s.f.). *Hidrocarburos.* Disponible en: https://definicion.de/hidrocarburos/

EcuRed. (s.f). *Gasolina.* Disponible en: https://www.ecured.cu/Gasolina

El gas natural licuado. (s.f.). Disponible en: http://registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/9222317231366707083documento_sobre_gas_natural_licuado.pdf

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (publicada en el DOF el 8 de octubre de 2003 y su última reforma publicada en el DOF el 30 de mayo de 2012)

Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

NOM. (2003). Disponible en: http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Normas/Oficiales/29032005(1).pdf

PEMEX (2012). *PEMEX refinación 2012, s/p*. Disponible en: http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionID=11&catid=23&contentID=68 [9 de abril del 2013]

Poliductos, s/p. Disponible en: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/oplosim/poliducto.htm [19 de abril del 2013]

PROFECO. (2013). *Historia de la gasolina en México, s/p*. Disponible en: http://www.dpcmx.net/portal/index.php?topic=19625.0 [21 de marzo del 2013]

¿Qué es un oleoducto?, Oleoducto bicentenario de Colombia S.A.S., s/p. Disponible en: http://www.bicentenario.com.co/single.php?id_int_single=17&idsingle=2 [19 de abril del 2013]

REGANOSA. *Energía de mayor rendimiento respetando el entorno, s/p*. Disponible en: http://www.reganosa.com/web/index.php?idioma=es&seccion=260&desglose=190 [19 de abril del 2013]

Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos. (s.f.). Disponible en: http://extwprlegs1.fao.org/docs/texts/bol45546.doc

Reglamento de Transporte de Hidrocarburo por Ductos s/p. (s.f.). Disponible en: http://www.buenastareas.com/ensayos/Reglamento-De-Transporte-De-Hidrocarburos-Por/3170939.html [19 de abril del 2013]

Scarpellini, Aranda y Zabalza. (2008). *Introducción a los mercados energéticos*. Zaragoza, España: Prensa Universitaria de Zaragoza.

SEMARNAT. (s.f.). *Tecnologías de remediación.* Disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html

SEMARNAT, s.f.). *Compendio de estadísticas ambientales 2010.* Disponible en: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServletb5a6.html

SENER. (2017). *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos.* Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284344/Prospectiva_de_Pret_leo_Crudo_y_Petrol_feros_2017.pdf

Vidal, F. (2013). *Derrames de petróleo por oleoductos*, p. 4. Disponible en: http://www.slideshare.net/two2/derrames-de-petroleo-por-oleoductos-13153597 [19 de abril del 2013]

Velasco, y Volke. (2003). *El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México.* Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/539/53906604.pdf

Capítulo 4. Mezcla sustentable de asfalto en caliente, utilizando RAP combinado con asfalto modificado con polímeros

Gabriel Hernández Zamora, Juana Treviño Trujillo[4]*, Rodolfo Barragán Ramírez y Raúl Alejandro Morales Rivera*

Resumen

Las emulsiones de asfalto modificado tienen una variedad de aplicaciones sustentables en pavimentos asfálticos y rehabilitación de carreteras. Los elastómeros de estireno-butadieno-estireno (SBS) han sido utilizados como modificadores del asfalto desde hace ya varias décadas. También, estos pueden ser emulsionados una vez que el asfalto ha sido modificado para generar sinergia de sus propiedades. Este trabajo presenta dos aplicaciones de asfalto modificado con polímeros de SBS utilizado en mezcla en caliente y mezcla en frío. En el caso de la primera aplicación, el asfalto modificado con polímero mejora el módulo a la fatiga comparado contra un asfalto convencional; la segunda aplicación muestra la posibilidad de combinar asfalto recuperado (RAP) en la formulación de mezcla asfáltica mediante una sustitución parcial del agregado pétreo utilizado en la mezcla, y manteniendo la estabilidad Marshall. Ambas prácticas muestran datos mecánicos con propiedades aceptables para construcción de carreteras.

Palabras clave: SBS, RAP, Fatiga.

Introducción

Países como Estados Unidos, Canadá, Alemania y Francia son líderes en el uso de RAP (Pavimentos Asfálticos Recuperados, por sus siglas en inglés) para su uso en el diseño de mezclas de asfalto en caliente (HMA).

En EE.UU. y Canadá, hasta el 80% del RAP producido durante los proyectos de ampliación o repavimentación se recicla para ser utilizado como material agregado en nuevas carreteras, sub-bases, acotamientos y terraplenes; y aproximadamente 90 millones de toneladas de pavimento asfáltico se recuperan anualmente. Europa produce actualmente alrededor del 25% del total mundial de asfalto (300 millones de toneladas de asfalto mezclado en caliente y 5 millones de toneladas de mezclas frías anualmente), y se estima que se generan más de 50 millones de toneladas de RAP cada año y de estos, el 70% son reutilizados.

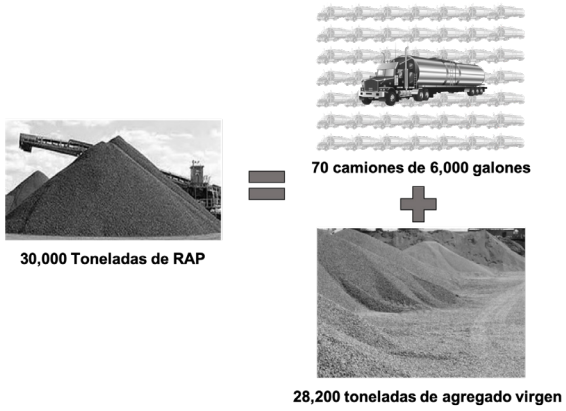
En América Latina hay poca información sobre el uso de RAP. La mayoría de las experiencias combina técnicas de *Hot Mix Asphalt* con RAP. Las compañías

[4] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Industrias DYNASOL. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: jmtrevino@docentes.uat.edu.mx

mineras y trituradoras estiman que alrededor de 7.7 millones de toneladas de RAP son generadas anualmente en México, pero menos del 25% de ellas se reciclan, el resto se desperdicia; situación similar ocurre en Brasil, Chile y Colombia.

Los cálculos económicos estiman un ahorro por el uso de RAP en HMA de un 20% en peso, lo que permite ahorrar alrededor del 17% comparado con el costo original de HMA sin RAP. Aproximadamente 30 000 toneladas de RAP equivalen a 70 camiones de 6000 galones de asfalto y alrededor de 28 000 toneladas de agregado virgen, como lo muestra la figura 1.

Figura 1. Equivalencia de RAP y composición de agregados asfálticos



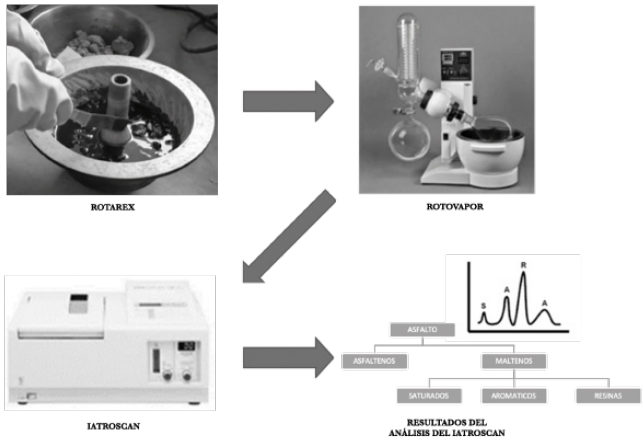
Además de las ganancias económicas, el uso de RAP representa un paso correcto en la dirección del desarrollo sustentable, ya que mediante el reciclaje se reduce la necesidad de usar y trasladar agregado virgen, que es muy escaso en algunas áreas de Estados Unidos y algunos países de Europa, así como el ahorro de energía durante la producción de HMA.

Este artículo presenta resultados mecánicos de una mezcla asfáltica con el uso de RAP en combinación con asfalto modificado con polímeros (PMA), usando un polímero SBS radial con 5% de di-bloque de estireno-butadieno frente a asfalto virgen. Los resultados indican una resistencia mecánica similar o incluso mejorada, con el uso del 30% en peso de RAP en comparación con el HMA de referencia. Además, los resultados de la composición de RAP indican un incremento significativo en la fracción de resina (compuestos polares), lo cual aumenta el módulo de corte reológico cuando se combina con el asfalto modificado con polímero. El mayor contenido de asfalto proveniente de RAP es el valor más alto en el módulo de corte reológico cuando se combina con PMA.

Materiales

El RAP fue muestreado de un banco de materiales ubicado en el área de la ciudad de Tampico, Tamaulipas, en el noreste de México. Para evaluar el estado de envejecimiento en la composición de asfalto, este RAP fue analizado utilizando un equipo Rotarex de acuerdo con la norma ASTM D2172 para extraer el aglutinante de asfalto (ver figura 2), posteriormente, el asfalto obtenido fue analizado por equipos Iatroscan.

Figura 2. Extracción de aglutinante de asfalto mediante el uso de Rotarex y análisis de su composición de asfalto por Iatroscan



El proceso de extracción de asfalto permite estimar los agregados adicionales en el aglutinante de asfalto modificado con polímeros para compensar un mejor contenido de aglutinante de asfalto.

El asfalto modificado con polímeros se preparó a partir del Asfalto EKBE PG 64-22 de México usando un polímero SBS radial con las propiedades descritas en la Tabla 1. Se preparó un asfalto modificado con polímero usando 2,5% en peso de polímero SBS para obtener un PMA con PG 76-22 como lo indica la tabla 2.

Tabla 1. Polímetro de SBS utilizando para preparar el asfalto modificado con polímetro para la combinación con asfalto extraído de RAP

Propiedades de Polimero	Valor
Contenido total de estireno, % por peso	30
Bloque de poliestireno, % por peso	30
SBS configuración	Radial SBS
Viscosidad Brookfield en Toluene de 25% sólidos, mPa.s	19 000
Índice de flujo de fusión de 200ºC y 5 Kg, g/10 min	Menor que 0.5
Hardness Shore A	82

Tabla 2. Propiedades comparativas de PMA usando SBS radial contra asfalto puro

Propiedades	Método de prueba	Asfalto virgen	Pma
Punto de ablandamiento (Ring & Ball), ºC	ASTM D36	51	59
Penetración al 25ºC (77ºF) at 100g, 5s, dmm	ATSM D5	70	46
Viscosidad Brookfield at 135ºC, cP	ASTM D4402	445	1 101
Recuperación elástica por ductilidad 25ºC (77ºF) después RTFO	ASTM D6084	0	65
Prpiedades reológicas			
Resultados reológicos en aglutinante original			
G*/sin δ at 64ºC, κPa		1.79	
G*/sin δ at 70ºC, κPa	AASHTO TP5	0.85	
G*/sin δ at 76ºC, κPa			1.44
G*/sin δ at 82ºC, κPa			0.74
Phase angle at 64ºC, grade		81.7	
Phase angle at 70ºC, grade	AASHTO TP5	83	
Phase angle at 76ºC, grade			76.2
Phase angle at 82ºC, grade			80

Tabla 2. Propiedades comparativas de PMA usando SBS radial versus asfalto puro (continuación)

Propiedades	Método de prueba	Asfalto virgen	Pma
Resultados reológicos en aglutinante RTFO (envegecimiento en horno de película delgada rodante)			
G*/sin δ at 70°C, κPa	AASHTO TP5	3.96	
G*/sin δ at 76°C, κPa		1.91	
G*/sin δ at 82°C, κPa			2.72
G*/sin δ at 88°C, κPa			1.48
Ángulo de fase a 70°C, grade	AASHTO TP5	75	
Ángulo de fase a 76°C, grade		77.7	
Ángulo de fase a 82°C, grade			71.3
Ángulo de fase a 88°C, grade			74.3
Resultados reológicos en PAV (Recipiente de Envejecimiento de Pavimentación)			
G*x sin δ at 28°C, κPa	AASHTO TP5		5 287
G*x sin δ at 31°C, κPa			4 139
Parámetro "m" en BBR a -24°C	AASHTO TP1	0.257	0.201
Parámetro "m" en BBR a -18°C		0.291	0.262
Parámetro "m" en BBR a -12°C		0.343	0.302
Parámetro "s" en BBR a -24°C	AASHTO TP1	153	178
Parámetro "s" en BBR a -18°C		144	159
Parámetro "s" en BBR a -12°C		72	132
Grado PG		64-22	76-22

El RAP (pavimento de asfalto recuperado) del banco de materiales de reserva de Tampico, Tamaulipas, México, se graduó bajo la distribución de tamaño de partícula definida en la tabla 3, siguiendo la normativa 4 AMAAC REA 15/12.

La Tabla 4 muestra la distribución del tamaño de partícula del agregado de piedra caliza utilizado en esta investigación. Los agregados provienen de las reservas de AVRA del noreste de México. Esta distribución del tamaño de partícula sigue el diseño Superpave 5, 7, 8.

Tabla 3. Control del tamaño de partículas en partículas RAP

Número de tamiz (mm)	Porciento de partículas que pasan (%)
31.25 mm (1.25 in)	100
25 mm (1 in)	85 - 95
19 mm (3/4 in)	75 - 85
4.75 mm (#4)	30 - 40
0.6 mm (#30)	1 - 5

Tabla 4. Control del tamaño de partículas en el agregado de piedra caliza

Número de tamiz (mm)	Porciento de partículas que pasan (%)
31.25 mm (1.25 in)	100
25 mm (1 in)	85 - 95
19 mm (3/4 in)	75 - 85
4.75 mm (#4)	30 - 40
0.6 mm (#30)	1 - 5

Se usó un SBS lineal con propiedades descritas en la Tabla 5 para preparar un asfalto modificado con polímeros para estudios que usan RAP para preparar muestras de asfalto mezcladas en caliente moldeadas por prensa Marshall en combinación con agregado.

Tabla 5. SBS lineal utilizado en muestras de mezcla de asfalto caliente con RAP

Propiedades del polímero	Valor
Contenido total de estireno, % en peso	33
Bloque de poliestireno, % en peso	31
Configuración de SBS	SBS Lineal

Propiedades del polímero	Valor
Viscosidad Brookfield en tolueno a 25% de sólidos, mPa.s	700
Índice de flujo de fusión a 200ºC y 5 kg, g/10 min	8
Dureza Shore A	69

Diseño experimental

La primera parte de esta investigación se centró en comprender el efecto de la combinación de asfalto extraído de RAP por Rotarex al cual se realizaron combinaciones con asfalto virgen y asfalto modificado con polímero con SBS radial para conocer la influencia sobre el módulo de corte reológico. Las mezclas de asfalto se hicieron en diferentes proporciones de asfalto procedentes de RAP y asfalto puro.

La segunda parte estudiada, fue el diseño HMA; se realizó en combinaciones de RAP con HMA, obteniendo un equilibrio entre los agregados vírgenes, el agregado de RAP, el asfalto de RAP y el asfalto modificado con polímero utilizando un SBS lineal. El objetivo principal fue estudiar el efecto sobre el módulo de resiliencia con muestras moldeadas por compactador giratorio y la estabilidad de Marshall utilizando muestras moldeadas con prensa Marshall.

Resultados

Después de la extracción de asfalto mediante el método de prueba Rotarex (ASTM D2172), se analizó la composición mediante el método de prueba Iatroscan para determinar la composición de compuestos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, considerando el promedio de diez resultados de composición y comparado con el asfalto virgen típico EKBE PG 64-22 como lo indica la figura 3.

Figura 3. Laoscan SARA de asfalto recuperado de RAP versus EKBE PG 64-22

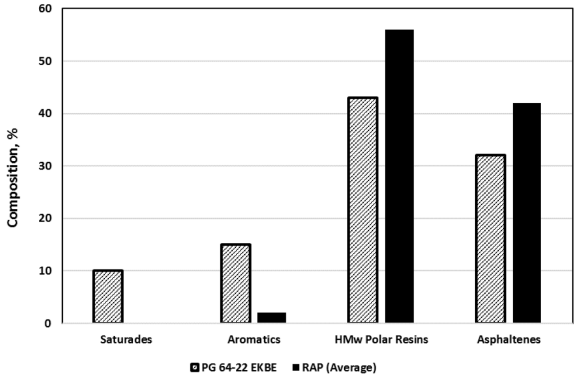
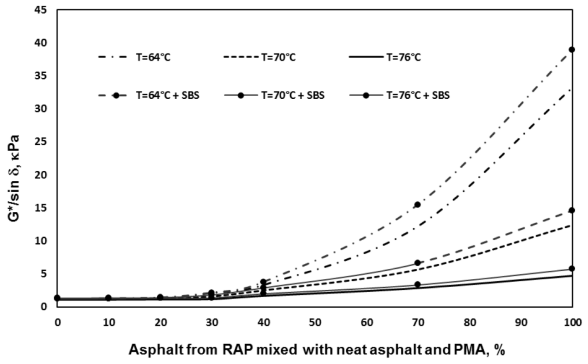


Figura 4. Muestra el efecto sobre el módulo de corte reológico de la combinación de asfalto obtenido de RAP con asfalto puro EKBE PG 64-22



Las curvas para el módulo de corte reológico para asfalto virgen combinado con asfalto de RAP y asfalto modificado con polímero combinado con asfalto de RAP de la figura 4, siguen las funciones exponenciales definidas para:

$$\phi = A1 * \exp(B1) * v \ldots \text{Eq (1)}$$

$$\phi = A2 * \exp(B2) * v \ldots \text{Eq (2)}$$

Donde:

ϕ = Módulo de corte reológico.

A1, A2, B1 y B2 son constantes dependiendo de la temperatura de prueba

v = Asfalto de RAP mezclado con asfalto limpio o asfalto modificado con polímero.

La ecuación 1 es para el asfalto virgen y la ecuación 2 para el asfalto modificado con polímeros. En estos datos experimentales A2 = 1.17 A1 y B1 y B2 son valores casi similares por cada temperatura evaluada.

Estudio de la combinación de RAP con HMA

Se realizaron diferentes combinaciones de RAP con HMA, variando la relación de RAP / HMA de 0/100, pasando por 20/80, 30/70 y 40/70. Se prepararon muestras para la estabilidad de Marshall y el girador de compactación. En el caso de la estabilidad de Marshall, se prepararon muestras de laboratorio usando agregado de la pila AVRA en México, graduación controlada descrita en la tabla 4.

En esta investigación, se consideró RAP como agregado especial para combinar con agregado de AVRA, luego un asfalto modificado con polímero utilizando un SBS lineal descrito en la tabla 5, se utilizó como aglutinante de asfalto

en diferentes proporciones dependiendo del contenido de RAP, debido a que el RAP contiene asfalto.

Se prepararon muestras de Marshall calentando el agregado y RAP a 130°C y el asfalto modificado con polímero a 180°C, una vez que se hizo la mezcla, se compactó mediante la prensa Marshall con 75 golpes por cada lado, las muestras se controlaron con una altura de 6,5 cm. Una vez que se compacta la muestra, se enfría a temperatura ambiente durante 24 horas, antes de realizar mediciones.

Cada una de las diferentes muestras con variaciones de RAP / HMA se prepararon individualmente con diferentes asfaltos modificados con polímeros en diferentes proporciones para obtener el mejor valor en estabilidad Marshall y contenido de vacíos. Las Figuras 5 a 8 muestran las curvas con valores de estabilidad Marshall.

Figura 5. Curva de estabilidad de Marshall para HMA sin contenido de RAP

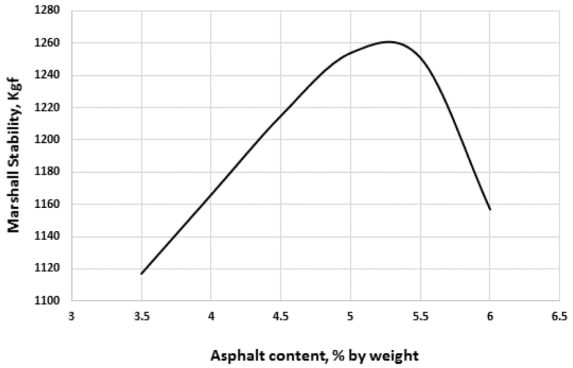


Figura 6. Curva de estabilidad de Marshall para HMA con 20% en peso de contenido de RAP

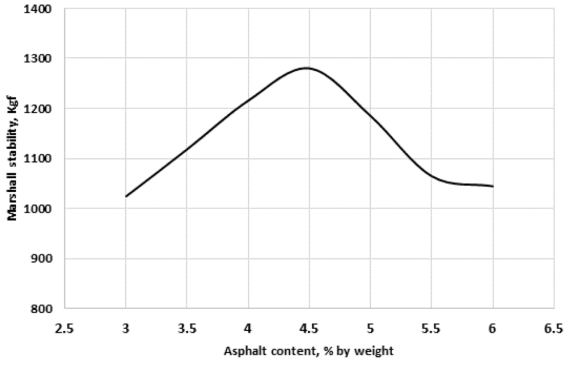


Figura 7. Curva de estabilidad de Marshall para HMA con 30% en peso de contenido de RAP

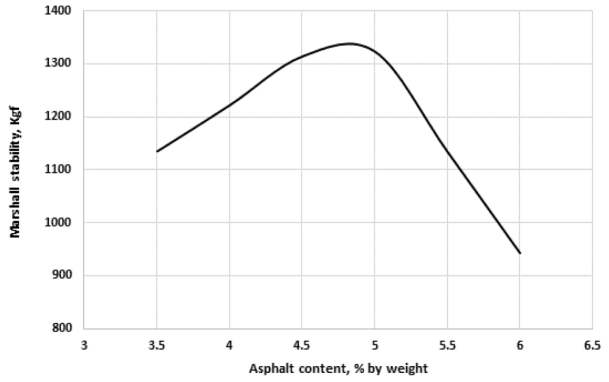
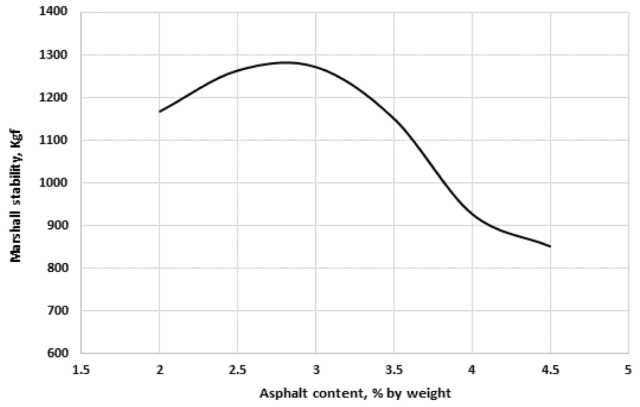


Figura 8. Curva de estabilidad de Marshall para HMA con 40% en peso de contenido de RAP



La Tabla 6 muestra el resumen de los principales parámetros obtenidos de los datos de estabilidad de Marshall comparados con la especificación mexicana N-CMT-4-05-003/08. Esta tabla consideró los mejores valores de acuerdo con las especificaciones.

Tabla 6. Datos de estabilidad prueba Marshall

Parámetro PRUEBA #1	Especificación N-CMT-4-05-003/08	HMA sin RAP	HMA con 20% RAP	HMA con 30% RAP	HMA con 40% RAP
Estabilidad Marshall, Kgf	817 mínimo	1 254	1 280	1 322	1 272
Flujo. mm	2 a 3.5	3.24	3.93	4.19	4.4
Vacíos, %	3 a 5	3.68	2.97	1.62	5.5
Vacíos llenos con asfaltos (VFA), %	65 a 75	74.8	76.5	87	54.3
Parámetro PRUEBA #2	Especificación N-CMT-4-05-003/08	HMA sin RAP	HMA con 20% RAP	HMA con 30% RAP	HMA con 40% RAP
Estabilidad Marshall, Kgf	817 mínimo	1 215	1 216	1 221	928
Flujo. mm	2 a 3.5	3.2	4.2	3.5	4.6
Vacíos, %	3 a 5	4.9	4.3	4.2	3.9
Vacíos llenos con asfaltos (VFA), %	65 a 75	67	66.9	67.5	69

Figura 9. Valores de estabilidad Marshall contra contenido de RAP

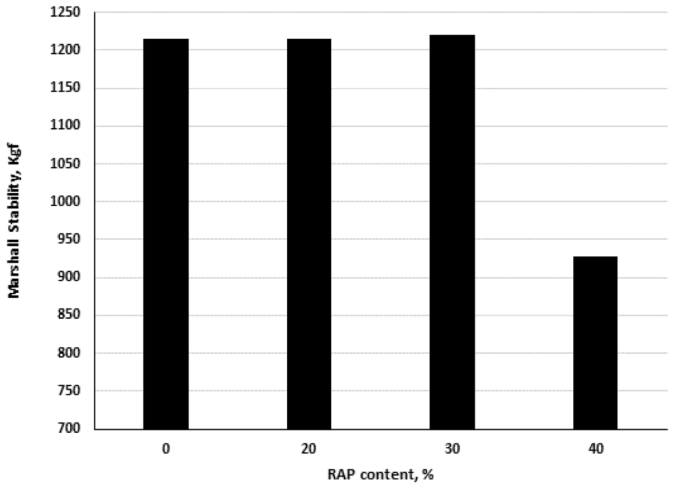
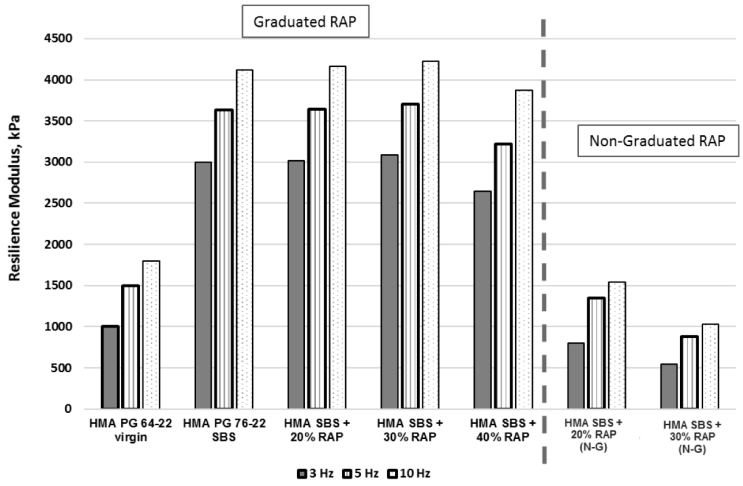


Tabla 6. Datos de estabilidad prueba Marshall

Parámetro PRUEBA #1	Especificación N-CMT-4-05-003/08	HMA sin RAP	HMA con 20% RAP	HMA con 30% RAP	HMA con 40% RAP
Estabilidad Marshall, Kgf	817 mínimo	1 254	1 280	1 322	1 272
Flujo, mm	2 a 3.5	3.24	3.93	4.19	4.4
Vacíos, %	3 a 5	3.68	2.97	1.62	5.5
Vacíos llenos con asfaltos (VFA), %	65 a 75	74.8	76.6	87	54.3
Parámetro PRUEBA #2	Especificación N-CMT-4-05-003/08	HMA sin RAP	HMA con 20% RAP	HMA con 30% RAP	HMA con 40% RAP
Estabilidad Marshall, Kgf	817 mínimo	1 215	1 216	1 221	928
Flujo, mm	2 a 3.5	3.2	4.2	3.5	4.6
Vacíos, %	3 a 5	4.9	4.3	4.2	3.9
Vacíos llenos con asfaltos (VFA), %	65 a 75	67	66.9	67.5	69

Otro estudio con el mismo diseño de HMA / RAP fue hecho por el compactador giratorio, moldeando muestras de 10 pulgadas de diámetro y usando 100 ciclos de giro, 1.25 grados de ángulo y 600 kPa de presión de compactación. La Figura 10 muestra el módulo de resiliencia obtenido a diferentes frecuencias con diferente contenido de RAP en el asfalto de mezcla en caliente. Además, se incluyeron dos datos comparativos. Por un lado, la comparación del asfalto virgen sin RAP en el asfalto de mezcla caliente frente al asfalto modificado con polímero sin RAP en el asfalto de mezcla en caliente. Por otro lado, en la tabla 3 se muestra la influencia de la graduación de RAP. Parece que el RAP sin graduación pierde resistencia mecánica.

Figura 10. Módulo de resiliencia de diferentes mezclas HMA/RAP



Análisis de resultados

Como se muestra en la figura 3, el asfalto contenido en RAP pierde fracciones aromáticas y saturadas; sin embargo, se incrementan mucho las resinas polares y contenido de asfalteno. Este hecho permite explicar el incremento en la rigidez medida a través del módulo de corte reológico como se indica en la figura 4. Este incremento se observa en combinación con asfalto virgen o asfalto modificado con polímero. El refuerzo es mayor en combinación de asfalto de RAP y asfalto modificado con polímero.

Durante todos los mezcladores HMA, se realizaron diferentes curvas para obtener un mejor contenido de aglutinante asfáltico de acuerdo con la combinación de RAP. Cuanto mayor sea el contenido de RAP, menor será el contenido de aglutinante de asfalto.

Los mejores diseños de mezclador HMA / RAP fueron moldeados por la prensa Marshall para determinar la estabilidad de cada combinación y otros parámetros como flujo, huecos y AGV, como lo indica la tabla 6. La estabilidad de Marshall mantiene el mismo valor y es superior al límite de especificación hasta el 30% de RAP, porque al 40% este parámetro disminuye.

Finalmente, el estudio en compactador giratorio mostró una respuesta similar a la estabilidad Marshall debido a la combinación de HMA / RAP hasta que 30% de RAP mantiene buenos niveles de módulo de resiliencia, pero al 40% de RAP este módulo disminuye, como se muestra en la figura 10.

Es interesante observar la gran diferencia en el módulo de resiliencia cuando se compara el asfalto virgen con el asfalto modificado con polímeros.

Sin embargo, un parámetro crítico es el control de la graduación de RAP debido a la pérdida de módulo de resiliencia cuando RAP se utiliza sin control en esta graduación. Los valores observados son inferiores al valor obtenido con el asfalto virgen.

Conclusión

El asfalto extraído de RAP es rígido debido a la pérdida de saturados y fracción aromática. El asfalto residual presenta un alto contenido de asfalteno y resinas polares. Esta última fracción podría formarse durante la oxidación del asfalto con el tiempo.

Cuando este asfalto rígido se combina con asfalto virgen aumenta la rigidez de la mezcla de asfalto, en una proporción directa como el asfalto del contenido de RAP. La misma respuesta se obtiene de la combinación del mismo asfalto extraído de RAP con asfalto modificado con polímero, sin embargo, los valores del módulo de cizallamiento reológico son más altos en comparación con las mezclas con asfalto virgen.

Los estudios de muestras de asfalto mezcladas en caliente moldeadas con prensa Marshall indican un contenido máximo de RAP de 30% en peso antes de comenzar a perder la estabilidad de Marshall, y se observó la misma respuesta usando la compactación del girador y las mediciones del módulo de resiliencia.

La graduación de RAP es un parámetro crítico para el control, así como la graduación agregada utilizada durante el moldeo de muestras de asfalto en caliente por compactación del girador. Este estudio indica el módulo de resiliencia de pérdida si RAP no se gradúa, independientemente de la graduación del agregado o el uso de asfalto modificado con polímeros.

RAP utilizado en una proporción adecuada de 10 a 30% aumenta la estabilidad de Marshall del módulo de resiliencia.

RAP es un producto reciclado que podría usarse en mezclas asfálticas en caliente para reemplazar parcialmente el agregado y ahorrar dinero debido a la disminución del asfalto, lo que mejora el módulo de cizalladura reológica y el módulo de resiliencia.

Lista de referencias

ASTM D2172M-17. *Standard test method for quantitative extraction of asphalt binder from asphalt mixtures*.

Cooper, S. J., (2011). *Asphalt Pavement Recycling with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, NWP-MA, 18th. Annual Fall Pavement Conference, FHWA, Portland OR, USA, October 2011

Ellis, R., Agdas, D., and Frost, K. (2014). "Developing improved opportunities for the recycling and reuse of materials in road, bridge and construction projects", Final Report, University of Florida, Dec. 2014.

Federal Highway Administration. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*, publication no. FHWA-HRT-11-021, April 2011

Kennedy, T. W., Tam, W. O. and Solaimainan, M. (1998). *Effect of reclaimed asphalt pavement of binder properties using the superpave system*, Research report 1250-1, University of Texas at Austin, USA 1998.

Mexican Asphalt Association Recommendation (AMAAC REA 15/2012), Technical bulletin.

Mexican Asphalt Association and NAPA, *Diseño de mezclas asfálticas en caliente (HMA) Con alto contenido de reciclado de pavimento asfáltico (RAP). Technical report.*

NCHRP Report 752, *Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management Practices for Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content*, Transportation Research Board, 2013.

NCHRP Report 452, *Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method: technician's manual*, Washington, 2001.

West, R. (2010). *Reclaimed asphalt pavement management: best practices*, NCAT (National center for asphalt technology), Auburn USA, 2010.

Capítulo 5. Monóxido y dióxido de carbono en áreas verdes urbanas

Kevin Eduardo Ríos Aceves, Bárbara Azucena Macías Hernández[5] *y Elizabeth del Carmen Andrade Limas*

Resumen

La mala calidad del aire tiene como consecuencias diversos problemas de salud para la población y afectaciones al medio ambiente. En Tamaulipas, el inventario de emisiones reporta como los principales a los óxidos de nitrógeno (NOX), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y bióxido de azufre (SO_2). Es por ello, que se ha planteado como una medida de mitigación la implementación de áreas verdes urbanas, debido a su capacidad de asimilar y almacenar grandes cantidades de contaminantes en sus recursos naturales. Por tal motivo, el objetivo de la investigación fue estimar la concentración de monóxido de carbono en áreas verdes urbanas de la zona centro y en los remantes de vegetación natural de Ciudad Victoria, Tamaulipas. El estudio se llevó a cabo en las plazas Abasolo, Juárez, Higaldo y Méndez de la zona centro de la ciudad y en el Área Natural Protegida Parque Estatal "El Refugio" (Bosque Urbano), durante cuatro semanas, muestreando el punto central de cada área de forma aleatoria durante cinco días de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes) en tres jornadas diarias (mañana 08:00-10:00, medio día 12:00-14:00 y tarde 16:00-18:00), utilizando los sensores de CO y CO^2 del Kit Vertical IoT Libelium Smart Environment PRO. El análisis estadístico consistió en correlaciones con prueba de Pearson y análisis de varianza con el *software* SPSS. Las áreas muestreadas para el CO superan el límite que establece la NOM-021-SSA1-1993, reportándose las concentraciones más elevadas durante la mañana, mientras que el CO_2 no supera el límite de la normatividad. No se encontró diferencia estadística entre las áreas para el CO_2, sin embargo para el CO, se agruparon en tres de acuerdo con las concentraciones: altas (Hidalgo), medias (Abasolo, Juárez y Méndez) y bajas (Bosque Urbano). Lo anterior es debido al gran parque vehicular, a las emisiones generadas por la industria textil y al factor topográfico de la ciudad.

Palabras clave: Calidad del aire, contaminación, plazas.

[5] Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: bmaciash@docentes.uat.edu.mx

Introducción

La contaminación del aire es reconocida por contribuir a los riesgos a la salud pública (Fishbain et al., 2017), y también se asocia con una variedad de enfermedades, síntomas y condiciones que afectan la calidad de vida (Castell et al., 2017). Hans Bruynincks considera a la contaminación del aire como un asesino invisible, dado que todavía representa un peligro para la salud humana y el medio ambiente (EEA, 2018).

El calentamiento global es una de las principales consecuencias que ha afectado el desarrollo normal de la sociedad (Caballero, Lozano y Ortega, 2007), esto se debe principalmente al aumento descontrolado de los gases contaminantes como el ozono (O_3), dióxido y monóxido de carbono (CO y CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), entre otros, siendo los más emitidos por actividades antropogénicas a nivel mundial (Saynes et al., 2016). El CO_2 es el gas más emitido y que se encuentra en grandes cantidades en la atmósfera generando serios daños en diferentes escenarios a nivel ambiental (Laguna et al., 2006), y el CO que produce serios problemas a la salud humana, generando problemas respiratorios, tales como cáncer pulmonar, hipoxia, por mencionar algunos, donde este último desplaza el O_2 de la hemoglobina, hasta causar la muerte (Oyarzún, 2010).

México, se ubica en el puesto 15 entre las economías más fuertes del mundo, por segundo año consecutivo (FMI, 2018), su desarrollo económico ha sido estable los últimos años debido a los diferentes procesos de explotación de recursos naturales (Pérez y Castañeda, 2012), razón por la cual, la calidad del aire dentro de las ciudades capitales se encuentra muy comprometida (Corona y Rojas, 2009). La preocupación que genera esta problemática ambiental, ha impulsado las acciones de los gobiernos por mitigar la generación de los gases de efecto invernadero, empleando estrategias como la promoción e instalación de sumideros naturales, entre los remantes de vegetación natural, zonas verdes en áreas urbanas, paredes verticales, techos verdes, cultivos de microalgas, en las zonas más afectadas por los efectos de la contaminación atmosférica (Saavedra, 2010).

En Ciudad Victoria Tamaulipas, se contemplan dos principales causas del deterioro de la calidad del aire: parque vehicular e industrialización, esta última en auge en el sector textil. El parque automotor es considerado el principal responsable dentro de la contaminación atmosférica, según la percepción social y además de la gran cantidad y variedad de vehículos circulantes, los cuales, en una gran proporción no cuentan con controles de emisiones (SEDUMA, 2018). Esto afecta a la población, debido a la alta probabilidad de contraer enfermedades respiratorias, problemas de salud pública, perturbar los cultivos aledaños, entre otras consecuencias (Romero, Diego y Álvarez, 2006).

De acuerdo con el inventario de emisiones para el estado de Tamaulipas, las emisiones de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono se debieron en su mayoría a fuentes móviles (SEDUMA, 2018). Para contrarrestar este problema ambiental, el gobierno elaboró el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire 2018-2027 que plantea medidas dentro de las cuales destaca el control de emisiones de contaminantes a la atmósfera en el sector industrial y energético, así como la implementación del programa de verificación vehicular y la mejora del transporte público. Sin embargo, olvida el cuidado y preservación de las áreas verdes urbanas y naturales, ya que estas tienen la capacidad de asimilar y almacenar grandes cantidades de carbono dentro de su organismo (Rodríguez et al., 2008).

La implementación de las áreas verdes en las ciudades es una medida de uso frecuente en los últimos años, ya que además de brindar beneficios sociales como el embellecimiento urbano, mejora la circulación del agua, regula los recursos del suelo, tiene la capacidad de depurar el aire, a partir de la reducción de los contaminantes como el monóxido y dióxido de carbono, genera una mejora en el microclima y amortiguan las temperaturas reduciendo el efecto de la isla de calor urbano (BID, 1998), que juegan un papel indispensable e importante, tanto para la calidad de vida social como ambiental.

La Organización Mundial de la Salud menciona que la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, ya que cuanto más bajos sean los niveles de contaminación mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de los habitantes (OMS, 2018). Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue estimar las concentraciones de carbono (CO y CO_2) en áreas verdes urbanas de la zona centro y en un remanente de vegetación natural en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

Metodología

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en Ciudad Victoria Tamaulipas del 25 de marzo al 19 de abril del 2019. Los sitios de muestreo fueron áreas verdes urbanas (plazas) localizadas en el centro de la ciudad: Plaza Abasolo -1- (Latitud 2.373.582 Longitud -9.914.498), Plaza Hidalgo -2- (Latitud 2.373.184 Longitud -9.914.473), Plaza Juárez -3- (Latitud 2.373.151 Longitud -9.915.139) y Paseo Méndez -4- (Latitud 2.372.515 Longitud -9.915.310) y en un remanente de bosque urbano (Latitud 2.372.850 Longitud -9.912.329) (Bosque Urbano en Área Natural Protegida Parque Estatal "El Refugio") ubicado en las afueras de la ciudad.

Muestreo

Durante el periodo de 4 semanas se monitorearon cuatro plazas ubicadas en el centro de la ciudad en áreas con un flujo vehicular alto y un bosque urbano en donde la influencia del tráfico es menor. Los muestreos se realizaron de lunes a viernes, en tres jornadas diarias de dos horas cada una; 8:00 - 10:00 am (mañana), 12:00 - 2:00 pm (medio día) y 4:00 - 6:00 pm (tarde). Cada plaza se muestreó en diferente día de la semana durante las 4 semanas, como se observa en el Cuadro 1.

Tabla 1. Cronograma de muestreo

Semana	P. Hidalgo	P. Abasolo	P. Juárez	P. Méndez	Bosque Urbano
1	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
2	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes
3	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Martes
4	Jueves	Viernes	Lunes	Martes	Miércoles

Fuente: Elaboración propia.

En cada plaza se seleccionó el punto central para la instalación de los equipos de medición y la toma de muestras. Sin embargo, en el bosque urbano se tomaron muestras en el punto central de cada zona (amortiguamiento, recuperación y núcleo), además de un área de uso público.

El equipo de muestreo Los recursos para las tomas de las muestras fueron el Kit Vertical IoT Libelium Smart Environment PRO (Figura 6), un sensor calibrado con capacidad de medir diferentes gases, entre ellos el monóxido de carbono, dióxido de carbono, así como temperatura, humedad relativa, que se miden a través de sensores de gas calibrados en fábrica, según la Guía Técnica Smart Gases PRO.

El programa informático Comsen almacena los datos recolectados, y al finalizar cada jornada de medición crea automáticamente una bitácora de datos con la información recolectada.

Análisis de datos

El análisis estadístico de los datos se realizó a través del *software* Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) de IBM, versión 25. Previo a esto se realizó la limpieza y depuración de los datos a través de Microsoft Excel, con el cual también se obtuvieron las medias de las concentraciones para poder ser comparadas con la normatividad mexicana vigente. En análisis descriptivo se analizó mediante correlaciones con Prueba de Pearson (Tabla 1) entre concentraciones y variables de

tiempo por zonas de estudio, también se realizó y analizó la información a través de regresiones lineales y gráficas de dispersión entre las variables.

Tabla 2. Muestreo de plazas y bosques

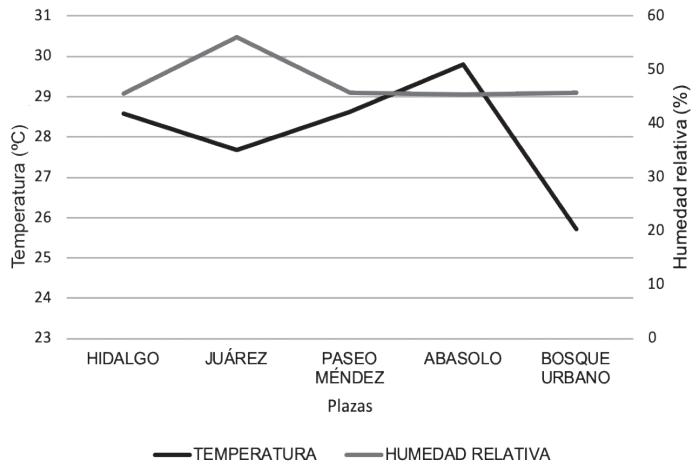
Semana	P. Hidalgo	P. Abasolo	P. Juárez	P. Méndez	Bosque urbano
1	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
2	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes
3	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Martes
4	Jueves	Viernes	Lunes	Martes	Miércoles

Adicional a esto, a través del software SPSS se realizó una ANOVA tipo III con prueba Tukey para conocer la significancia estadística de los datos, se promedió también las concentraciones de las áreas de estudio según las jornadas de muestreo, días y plazas.

Resultados y discusión

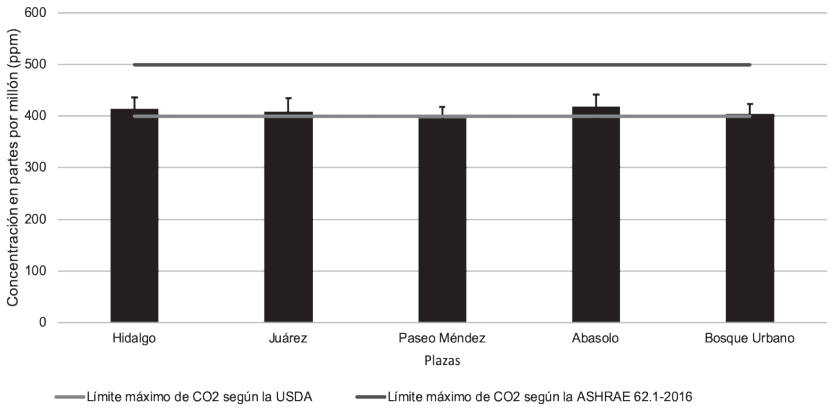
Muestras de CO, CO_2, junto con temperatura y humedad fueron colectadas en área verdes urbanas y bosque urbano en Ciudad Victoria, Tamaulipas. El principal objetivo fue comparar los niveles de CO_2 colectados entre plazas y con un área natural protegida ubicada en la zona urbana. Se colectaron un total de 2 700 datos de CO_2 con un intervalo de colecta de 3 minutos. Como se puede observar en la Figura 1, las temperaturas en las plazas fueron mayores que la registrada en el bosque urbano, con 26°C, mientras que la humedad relativa permaneció constante con un promedio de 29% para todos los sitios de muestreo, excepto para la plaza Juárez que registró mayor humedad, con 31%.

Figura 1. Relación de temperatura y humedad relativa de las plazas y bosque urbano



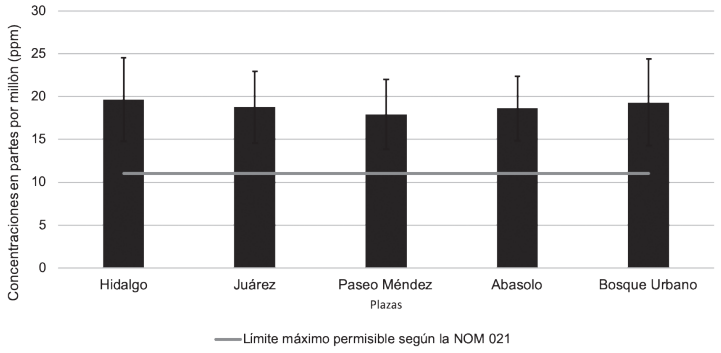
En la Figura 2 se observan las concentraciones obtenidas de dióxido de carbono (CO_2). Los valores se encuentran al límite del rango (300 a 400 ppm) de los niveles de CO_2 establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Por otra parte, la norma ASHRAE 62.1-2016 menciona que las concentraciones de CO_2 en el aire exterior oscilan entre 300 y 500 ppm, lo cual indica que los valores registrados se encuentran por debajo del límite.

Figura 2. Media de las concentraciones de CO_2 por plazas



Respecto a las concentraciones obtenidas de monóxido de carbono (CO), las concentraciones promedio sobrepasan el valor permisible que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993 que corresponde a 11 ppm (Figura 3).

Figura 3. Media de las concentraciones de CO por plazas



El análisis de las concentraciones promedio por plaza muestra que existe diferencia significativa de CO_2 entre cada una de ellas (Tabla 2) (ANOVA, $p=0.05$). Sin embargo, los promedios más altos de CO_2 se observaron en la plaza Abasolo con un valor de 419.24 ppm, seguida por la plaza Hidalgo con concentraciones promedio de 414.27 ppm y finalmente la plaza Juárez con valores de 409.08 ppm. Las tres plazas se caracterizan por tener una baja cubierta arbórea (33%) aproximadamente. Por otro lado, los promedios más bajos se registraron en la plaza Paseo Méndez (396.29 ppm) y Bosque urbano (404.63 ppm).

Tabla 2. Análisis de varianza de las concentraciones de CO_2 por plazas de muestreo

Plaza	Media	Desviación estándar	N	Mínimo	Máximo	P>F
Hidalgo[a]	4 142 780	2 259 223	465	374.74	522.30	1 000
Juárez[b]	4 090 884	2 535 903	486	350.16	571.88	1 000
Paseo Méndez[c]	3 862 899	2 122 032	483	339.50	448.28	1 000
Abasolo[d]	4192439	2338675	477	373,29	497.14	1 000
Bosque Urbano[e]	4046354	1874037	363	374,20	447.80	1 000

a, b, c, d, e: Subconjuntos de agrupación según el valor P>F tras la prueba Anova tipo III prueba Tukey, dado que no existe significancia estadística entre las plazas se genera un subconjunto para cada una de ellas. El valor P>F al ser superior a p=0.05 determina la inexistencia estadística entre los grupos.

El Paseo Méndez, una plaza con un alto flujo vehicular constante durante el día y la más importante de la ciudad, obtuvo menores concentraciones que el bosque urbano donde se esperaba encontrar la concentración más baja, esto se puede atribuir a que la vegetación del bosque urbano está caracterizada por el matorral espinoso tamaulipeco, donde se encuentran familias como *Euphorbiaceae*, *Turneraceae*, *Verbenaceae*, entre otras (Domínguez et al., 2013), mientras que la vegetación del Paseo Méndez está caracterizada por las familias *Arecaceae*, *Rubiaceae* y *Fabaceae* principalmente, consideradas "plantas verdes" que absorben mayor carbono para el proceso de la fotosíntesis. Dada la diferencia de superficie foliar entre un área y otra (Nájera, 1999), el tipo de vegetación del Paseo Méndez puede capturar más carbono.

A las *familias* del Paseo Méndez se les atribuye una gran capacidad de captura de carbono dado que este fenómeno depende de la especie y familia de los individuos (Lima y Liniers, 2017). Estas *familias* no se encuentran presentes en el bosque urbano, el cual también presenta una vegetación poco madura, debido a los incendios forestales que se presentan allí, lo que denota una vegetación inmadura, característica importante para la captura de carbono (Lima y Liniers, 2017). Los ecosistemas de ambas áreas son diferentes en cobertura y tipo de vegetación, lo cual influye considerablemente en la captura de carbono (Figueroa et al., 2005)

En 2011 las concentraciones para el CO_2 eran de 391 ppm para el estado de Tamaulipas (Gobierno constitucional del Estado de Tamaulipas, 2016), similares a las registradas en Ciudad Victoria, que sobrepasan los niveles preindustriales establecidos por la IPCC en un rango de 30-40 % (IPCC, 2013). Se toma este registro de la última publicación del gobierno del estado sobre este tema.

El monóxido de carbono (CO) mostró diferencia estadística entre cada una de las plazas (Tabla 3) (ANOVA, p=0.05). Las concentraciones se agruparon en altas (a), medias (b) y bajas (c). Los valores más altos se obtuvieron para la plaza Hidalgo[a] con concentraciones de 19.66 ppm mientras que en el siguiente nivel (medio) se agruparon la plaza Abasolo[b], Juárez[b] y Paseo Méndez[b] con concentraciones promedio de 18.63 ppm, 18.76 ppm y 17.92 ppm respectivamente, por último, el Bosque Urbano[c] con un promedio de 19.31 ppm. En la plaza Paseo Méndez, a pesar de ser un área con alto tráfico, se puede observar el efecto e importancia de las áreas verdes, que permite retener la contaminación evitando la exposición de la población. Cabe destacar que se esperaba el mismo efecto del bosque urbano, sin embargo, el Paseo Méndez cuenta con especies arbóreas con gran capacidad de captación de carbono (*Sargentia greggii, Tilia houghii, Brosimum alicastrum, Mirandaceltis monoica,* entre otras) (Rodríguez et al., 2008), que no se encuentran en el bosque urbano y podrían justificar este fenómeno.

El Índice Metropolitano de Calidad del Aire -IMECA- establece el nivel de riesgo de la calidad del aire respecto a un contaminante, para el CO, el IMECA

establece para la categoría de MUY MALO (alerta roja) concentraciones entre 151-200 puntos. En este rango se encuentran todas las áreas de estudio, denotando el deterioro de la calidad del aire respecto al monóxido de carbono (Tabla 3), siendo las principales causas el alto tráfico vehicular y las cadenas montañosas que se encuentran al suroccidente de la ciudad, que bloquean los vientos que podrían ventilarla y causan un efecto de barrera sobre estas corrientes (Bedoya y Martínez, 2009).

Tabla 3. Análisis de varianza de las concentraciones de CO por plazas de muestreo

Plaza	Media	DS	N	Mínimo	Máximo	Imeca	P>F
Hidalgo$_a$	196 604	486 247	471	10.30	44.59	179.11	0.107
Juárez$_b$	187 675	417 422	486	9.24	29.03	171.16	0.137
Paseo Méndez$_b$	179 243	405 693	483	6.50	27.12	163.58	0.137
Abasolo$_b$	186 331	375 193	477	9.24	30.72	169.91	0.137
Bosque urbano$_c$	193 112	507 676	362	9.99	30.57	175.98	0.753

D.S.: Desviación estándar. - a, b, c: Subconjuntos de agrupación según el valor P>F tras la prueba Anova tipo III prueba Tukey, existe relación de datos entre las plazas b. El valor P>F al ser superior a p=0.05 determina la inexistencia estadística entre los grupos.

En el Tabla 4 se observan las concentraciones promedio de CO_2 por plazas en los diferentes horarios de estudio, donde los valores registrados en la mañana en cada área estudio (exceptuando la plaza Juárez) son los más elevados, debido a que durante esta jornada el flujo vehicular es el más denso del día. El caso Juárez se debe a que el flujo vehicular de la tarde es igual de denso al que el de la mañana, debido a la ubicación de la plaza, por tal motivo, esta jornada presenta mayor promedio, seguida de la jornada de la mañana.

Tabla 4. Análisis descriptivo de CO_2 por plazas respecto a horarios diferentes

	Hidalgo		Juárez		Paseo Méndez		Abasolo		Bosque urbano	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
Mañana	426.37	26.63	417.11	20.58	408.7	19.98	439.7	15.65	419.41	12.6
Medio día	410.19	15.1	389.31	14.06	380.76	19.46	410.05	17.17	390.88	14.08
Tarde	406.72	19.79	420.83	26.8	399.39	13.06	407.96	21.75	403.6	17.03

D.S.: Desviación estándar

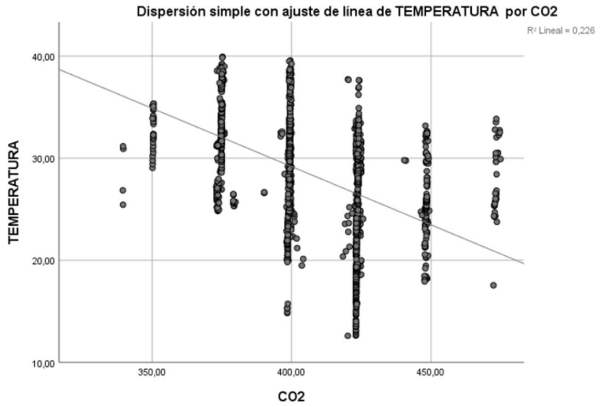
Con respecto al monóxido de carbono, se puede observar en el Tabla 5, que las más altas concentraciones se obtuvieron durante el periodo de la mañana (8:00 a 10:00 am), en donde las concentraciones están casi al doble de lo establecido por la Normatividad Oficial Mexicana (11 ppm). Sin embargo, a pesar de que a medio día y por la tarde las concentraciones son menores, estas también rebasan los límites máximos permisibles para una exposición de 8 horas de acuerdo con la normatividad. Las concentraciones de CO y CO_2 están ligadas principalmente a la gran cantidad de vehículos que existen en la ciudad (Ciudad Victoria es la que tiene mayor número de vehículos registrados del Estado de Tamaulipas) (INEGI, 2018) y al relieve que rodea una parte de la ciudad, dado que los vientos que podrían ventilarla vienen del norte y dicha cadena montañosa se encuentra en el suroccidente, bloqueándola y evitando una recirculación óptima del aire.

Tabla 5. Análisis descriptivo de CO por plazas respecto a horarios diferentes

	Hidalgo		Juárez		Paseo Méndez		Abasolo		Bosque urbano	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
Mañana	23.48	4.32	22.96	3.01	20.91	3.4	22.58	2.09	22.76	3.83
Medio día	18.01	3.84	15.51	3.19	15.19	4.38	17.49	2	17.4	3.94
Tarde	17.48	3.94	17.81	1.96	17.66	1.48	15.82	3.01	17.75	5.4

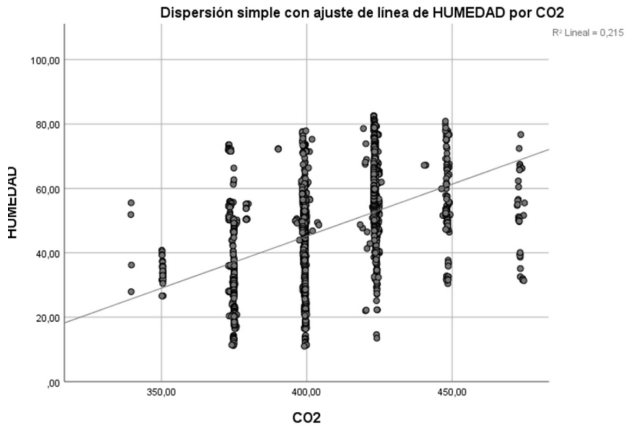
Si se correlacionan las concentraciones de los contaminantes (CO y CO_2), con los valores de temperatura y humedad relativa, no existe una respuesta directa del efecto de la temperatura sobre las concentraciones de CO_2, observando una R cuadrada de 0.22. La correlación de Pearson registro un valor de -0.475, denotando una correlación negativa entre las variables, es decir, que se correlacionan en un sentido inverso (Figura 4), con esto, se demuestra que el comportamiento del gas (CO_2) no se ve afectado ni modificado por esta variable higrotérmica, lo cual no influye en las concentraciones presentes en el aire de las áreas de estudio.

Figura 4. Correlación entre las variables de CO_2 (ppm) y temperatura (°C)



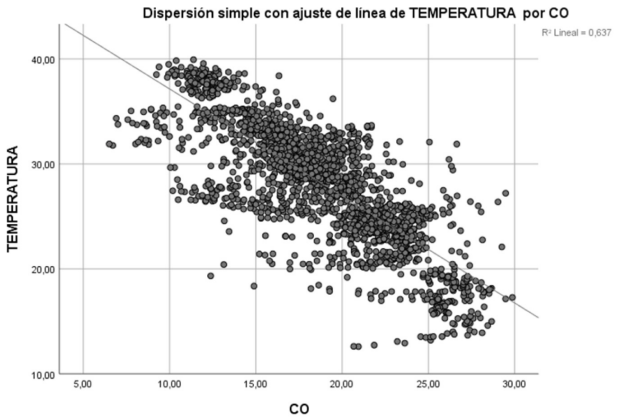
La Figura 5 correlaciona el dióxido de carbono (CO_2) y la humedad relativa obteniendo una R cuadrada de 0.21 indicando una nula correlación entre estas dos variables. La correlación de Pearson registró 0.463, una correlación positiva, es decir, se correlacionan en sentido directo, a valores altos de una le corresponden valores altos de otra, pero sigue siendo un valor lejano de 1 (el cual demuestra una correlación perfecta entre las variables, es decir, que existe una determinación absoluta entre las variables). Las correlaciones del CO_2 no demostraron algún comportamiento que lograra determinar su influencia sobre las concentraciones de este gas, por ende, su comportamiento está sujeto a otros factores ajenos a los estudiados.

Figura 5. Correlación entre las variables de CO_2 (ppm) y humedad relativa (%)



Un mejor ajuste de los datos se puede observar al relacionar la variable temperatura con CO (Figura 6), en donde se obtiene una R cuadrada de 0.63, mientras que la correlación de Pearson marca un ajuste negativo de casi el 0.80, por lo que existe una relación entre estas dos variables de entre 60 y 80%.

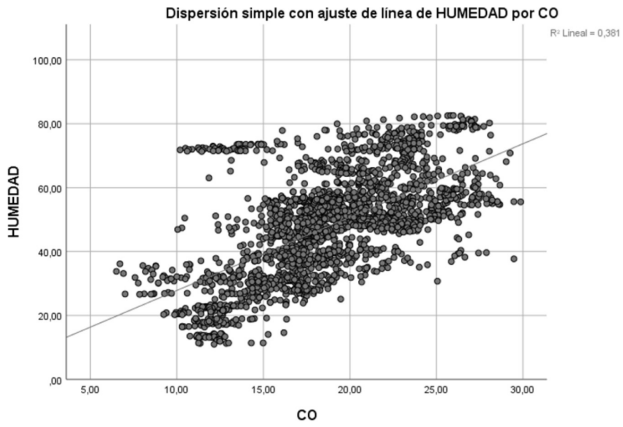
Figura 6. Correlación entre las variables de CO (ppm) y temperatura (ºC)



Dicha correlación establece que la temperatura puede influenciar en las concentraciones del contaminante (Arrieta, 2016), donde los valores de CO aumentan a la vez con la temperatura, lo cual afecta el comportamiento del gas, demostrando así que la temperatura influye en las concentraciones de CO, caso contrario a lo observado con el CO_2.

Sin embargo, la relación humedad relativa-CO, fue menos favorecedora obteniendo una R cuadrada de 0.40 y una correlación Pearson positiva de 0.617, valor que está por debajo de lo aceptable 0.08 (Figura 7). No se encuentra correlación en ninguna usando la variable de la humedad realtiva, denotando que este factor higrotérmico no influye en las concentraciones de CO y CO_2 presentes en cada zona, por ende, esta variable no determina el comportamiento ni modifica la dispersión de los gases en las áreas de estudio.

Figura 7. Correlación entre las variables de CO (ppm) y humedad relativa (%)



Conclusiones

Las concentraciones de CO_2 en las áreas estudiadas están sobre los niveles establecidos según los organismos consultados (USDA, ASHRAE), lo cual denota que la calidad del aire en estas zonas es correcta, caso contrario a los resultados encontrados para el CO, que supera ampliamente el límite máximo permisible establecido por la normatividad ambiental mexicana, que establece un rango de 11 ppm, y el área con concentración más baja es la plaza Paseo Méndez, con 17.92 ppm, siendo la calidad del aire MUY MALA, según la clasificación que establece el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire IMECA, resultado que genera una gran preocupación respecto a los niveles de monóxido de carbono (CO) a los que se encuentran expuestos los habitantes de la ciudad.

Estas altas concentraciones pueden estar sujetas al gran parque automovilístico que tiene la ciudad (INEGI, 2009) y al factor topográfico en la que esta se encuentra, debido a que, además de las emisiones generadas por los automóviles, las corrientes de viento que ventilan la ciudad y podrían depurar el aire sufren un efecto de barrera por la cadena montañosa que se encuentra en el suroccidente de la ciudad, evitando la dispersión de los gases.

El tipo de vegetación en las áreas verdes urbanas y en un remanente del bosque urbano influye en la captura de carbono, rasgo que se evidenció entre las diferencias de las concentraciones registradas entre la plaza Paseo Méndez y el Bosque Urbano, en el cual se esperaba las concentraciones más bajas para CO y CO_2. Paseo Méndez, la principal área verde urbana de la ciudad registró los valores más bajos de ambos contaminantes, mientras que el Bosque Urbano, con una vegetación diferente a la del Paseo Méndez, registró la segunda concentración más alta de CO y la cuarta de

CO_2. Así se demuestra que es importante establecer áreas verdes urbanas con una vegetación característica para el control de la calidad del aire.

Los parámetros higrotérmicos no presentan correlación con las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2), en ninguno de los dos casos estudiados se obtuvo una R cuadrada idónea para determinar dicha correlación, esto podría estar sujeto a que la dispersión y comportamiento de este gas está sujeto a otras variables ambientales y abióticas. El monóxido de carbono (CO) presentó la correlación más significativa con la temperatura, demostrando así que, en este caso, este gas se ve afectado por esta variable climática. Con relación a la humedad relativa, esta correlación no fue lo suficientemente alta para ser considerada como un factor que influye en el comportamiento del gas. Por ende, solo se logró observar un comportamiento entre el CO y la temperatura.

Lista de referencias

BID. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas.* Disponible en: https://publications.iadb.org/es/publicacion/15940/manejo-de-las-areas-verdes-urbanas [19 de julio de 2019]

Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). "Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra". *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 1-12.

Castell, N., Dauge, F., Schneider, P., Voght, M., Lerner, U., Fishbain, B., Broday, D. y Bartonova, A. (2017). "Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?" *Environment international journal*, 99, 293-302.

Corona, E., y Rojas, R. (2009). "Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana: Mexicali, Baja California, México". *Revista Estudios Fronterizos*, 10(20), 79-102.

EEA. (2018). *Air pollution still too high across Europe*. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/highlights/air-pollution-still-too-high [18 de julio de 2019]

Fishbain, B., Lerner, U., Castell, N., Cole-Hunter, T., Popoola, O., Broday, D. M., Iñiguez, T. M., Nieuwenhuijsen, M., Jovasevic-Stojanovic, M., Topalovic, D., Jones, R. L., Galea, K. S., Etzion, Y., Kizel, F., Golumbic, Y., Baram-Tsabari, A., Yacobi, T., Drahler, D., Robinson, J. A., Kocman, D., Horvat, M., Svecova, V., Arpaci, A. y Bartonova, A. (2017). "An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units". *Science of the total environment*, 575, 639-648.

FMI. (2018). *Informe de perspectivas de la economía mundial*. Disponible en: https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2019/03/28/world-economic-outlook-april-2019 [18 de julio de 2019]

Laguna, R., Pérez, J., Aguirre, O., y Treviño, E. (2006). "Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México". *Revista Ciencia UANL*, 9(2), 179-188.

OMS. (2018). *Calidad del aire y salud*. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health [19 de julio de 2019]

Oyarzún, M. (2010). "Contaminación aérea y sus efectos en la salud". *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25.

Pérez, S., y López, I. (2015). "Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana". *Revista Economía, sociedad y territorio*, 15(47), 01-33.

Rodríguez, R., Jiménez, J., Meza, J., Aguirre, O., y Razo, R. (2008). "Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México". *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), 215-222.

Romero, M., Diego, F., y Álvarez, M. (2006). "Contaminación del aire: su repercusión como problema de salud". *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 1-14.

Saynes, V., Etchevers, J., Paz, F., y Alvarado, L. (2016). "Emisiones de gases efecto invernadero en sistemas agrícolas de México". *Revista Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96.

SEDUMA. (2018). *Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Tamaulipas 2018-2027*. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399257/28_ProAire_Tamaulipas.pdf [19 de julio de 2019]

Capítulo 6. Evaluación potencial de riesgo genotóxico de compuestos xenobióticos

Juan Carlos Gaytán Oyarzún[6], *Marco Antonio Sánchez Olivares*[7] *y René Bernardo Elías Cabrera Cruz*[8]

Resumen

La presente propuesta denominada técnica de Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPOR-G) es una metodología para estimar por compuestos xenobióticos presentes en aguas contaminadas; entendiéndose a la evaluación del potencial de riesgo como un proceso que tiene por objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación en la biota ante una situación espacio-temporal específica, ya que no se pueden eliminar los riesgos biológicos y ecológicos generados por utilizar reactivos químicos asociados a nuestro estilo de vida actual, pero sí se puede intentar conocerlos, limitarlos y controlarlos; aunado a que los estudios de química analítica que se utilizan para identificar y cuantificar a estos compuestos, son caros y no contemplan la evaluación de efectos biológicos. El presente método es una propuesta para la toma de decisiones rápidas al identificar situaciones de potencial de riesgo biológico y ambiental, basada en el análisis sistemático de reportes bibliográficos, estudios previos y observaciones simples para determinar cualitativamente el impacto de variables ambientales, biológicas y situacionales de una manera clara, rápida y resumida. La técnica de Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPOR-G), permite jerarquizar el potencial de riesgo de contaminantes xenobióticos de los que se conozca su distribución en aire, agua, suelo o en una combinación de esos medios, diferenciando entre categorías de contaminantes tales como metales pesados, compuestos orgánicos persistentes, hidrocarburos o bien entre compuestos o especies químicas dentro de una categoría de contaminantes xenobióticos.

Palabras claves: eia, modelo riesgo genotóxico, xenobiótico.

Introducción

Históricamente, el hombre en su afán de procurar y aumentar tanto su comodidad como bienestar, ha provocado cambios al ambiente y lo ha contaminado. Conocer, evaluar y minimizar los efectos de la contaminación es una tarea principal de la ecotoxicología y

[6] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. "Área Académica de Biología". Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: jcgaytan@uaeh.edu.mx

[7] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. "Área Académica de Química".

[8] Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller".

es de primordial importancia para minimizar su efectos. La contaminación ambiental se posiciona como uno de los problemas más importantes que afectan a la sociedad y la contaminación del agua en específico es una de las más importantes por su interrelación con la biota y con el ser humano. Una de las responsabilidades de los científicos, políticos y ciudadanos es brindar servicio e información a los diferentes grupos de la sociedad, en todos sus niveles. Esta responsabilidad se demuestra en la asesoría de grupos no gubernamentales y gubernamentales en la toma de decisiones sobre la protección, el uso y explotación de los recursos naturales. Sin embargo, los procesos para la obtención de los datos necesarios para tomar decisiones debidamente sustentadas, frecuentemente son extensivos, complicados y consumen mucho tiempo. La situación se complica en la toma de decisiones porque con frecuencia son de manera apresurada, debido a las presiones políticas, operativas y financieras que constituyen los procesos, las licitaciones y periodos fiscales de cada gobierno.

Hoy en día existen alternativas académicas para la toma de decisiones en las ciencias biológicas y ambientales, por ejemplo, la Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental (en aire, agua y suelos), ERFCA por sus siglas en español [1, 2]; el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) [3] y la de Evaluación Rápida de Biodiversidad para Estimar Prioridad Biológica (ERBio) [4], métodos que sustentan la toma de decisiones y estrategia de acción sin posturas personales, de forma académica y rápida, con base en datos publicados, metodologías que caen en un conjunto de métodos llamados de "Evaluación rápida". Los métodos de "Evaluación rápida" han adquirido relevancia como primera aproximación en la valoración de problemas muy diversos, con miras a sustentar tomas de decisiones, en función de información reportada, de tiempos mínimos y con recursos escasos. Se trata de un método cuyo principal interés es hacer estimaciones sobre la magnitud, extensión y características de un problema en forma confiable y oportuna para complementar información proveniente de otras fuentes. Su importancia estriba en que son capaces de brindar información contextual, aspecto que los métodos cuantitativos no pueden brindar. Su finalidad y objetivos tienen que ver con las necesidades del entorno, pero su utilidad mayor es la de permitir disponer, de forma sencilla, rápida y flexible, de conocimiento de las variables a evaluar de un fenómeno y su múltiple variación que sustenten toma de decisiones [5]. El presente método, tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación para sustentar la toma de decisiones; consiste en una revisión bibliográfica exhaustiva y sistemática a partir de la premisa o evidencia de la existencia del o los compuestos a evaluar en el sitio de estudio y de un análisis dirigido de factores de causa y efecto principalmente enfocados al riesgo, daño y probabilidad de exposición.

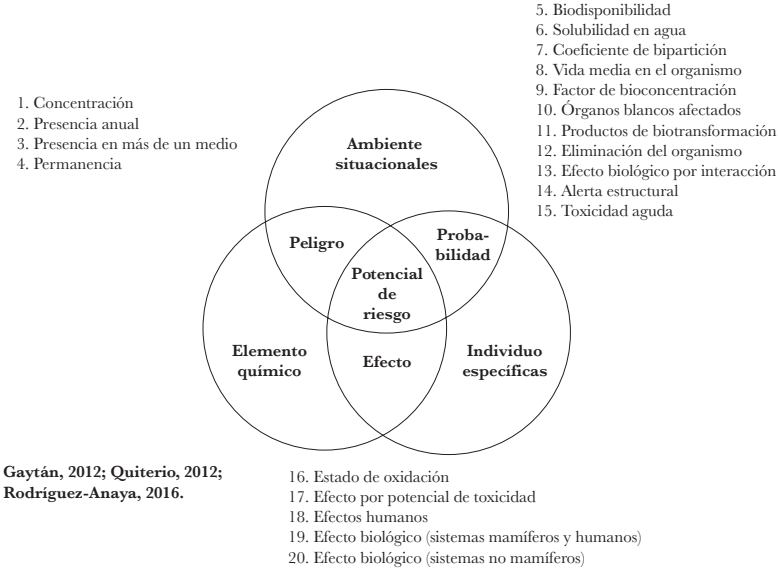
Metodología

La técnica de Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPOR-G), que se propone en el presente trabajo tiene por objetivo permitir la toma de decisiones respecto de qué compuestos xenobióticos de un conjunto determinado (metales pesados, compuestos orgánicos persistentes (COP), hidrocarburos, etcétera) son prioritarios para su evaluación, monitoreo y regulación de uso, manejo, almacenamiento y/o disposición final. Este modelo se basa en tres variables o criterios independientes que pueden afectar la posibilidad de que un agente xenobiótico tenga mayor o menor capacidad y probabilidad de manifestar un efecto negativo en una población:

1. Variables ambientales y/o situacionales
2. Variables del o los sectores expuestos
3. Variables del compuesto químico

Se centra en el análisis de las interrelaciones de estas variables, que permiten valorar e identificar ambientes peligrosos, posibles sectores expuestos de mayor riesgo y efectos potenciales (Figura 1) abarcándose en este universo un análisis integral las principales variables que puedan incrementar el "Potencial de riesgo" de una población o sector expuesto a un tipo de compuestos en un lugar o situación particular [4] [6] [7] [8].

Figura 1. Diagrama de Venn de Potencial de Riesgo genotóxico con indicadores imperativos



Gaytán, 2012; Quiterio, 2012; Rodríguez-Anaya, 2016.

Establecimiento de la presencia de un xenobiótico

El primer requisito del que parte esta técnica para determinar el potencial de riesgo de un compuesto xenobiótico, es que debe estar presente el compuesto a evaluar en el sitio de estudio; por lo que se requiere de evidenciar su presencia de manera directa por estudios de química analítica o de manera indirecta a través de datos estadísticos, encuestas o algún otro instrumento que evidencie su presencia, a través de información de su fabricación, origen en el ambiente, liberación, fuente de emisión, uso y/o almacenaje.

Recopilación de datos

Esta fase depende de datos reportados y/o de campo y se recomienda conocer la siguiente información como mínimo y ordenarla en una tabla para su análisis:

1. Ambiente y situacional (Temperatura, pH, tipo de afluente, asentamientos humanos y fuentes posibles de contaminación).
2. Compuestos xenobióticos (Origen en el ambiente, frecuencia de su liberación, concentración promedio, efectos tóxicos y secundarios reportados en diferentes sistemas biológicos; si se acumula, distribuye o fija en el ambiente (agua, suelo o aire) o en sistemas biológicos; propiedades físicas y químicas, como solubilidad, punto de ebullición, tamaño y forma de la partícula o alguna otra variable que pudiera afectar en la permanencia, cinética ambiental, contacto, biodisponibilidad y efecto biológico relacionados a la exposición del o los compuestos a evaluar).
3. Organismos potencialmente expuestos (Sector poblacional posiblemente expuestos, sexo, edad, estado nutricional o alguna otra variable fisiológica que pudiera afectar en la manifestación de un efecto biológico relacionado a la exposición de compuesto xenobiótico).
4. Cuestiones situacionales o temporales (Concentración del compuesto en el ambiente, frecuencia de exposición, vías de contacto, etcétera).

La recopilación de datos es a partir de fuentes bibliográficas ya reportadas de nivel técnico a profesional con mayor actualidad posible, de manera exhaustiva, sistemática y dirigida, donde no se requiera de una fase experimental para obtener información; identificándose similitudes y diferencias entre los compuestos xenobióticos a evaluar y un análisis dirigido que permita identificar las principales variables que pudieran potenciar el potencial de riesgo.

Método de análisis

Para evaluar la información vertida en la tabla de análisis (Tabla 1), los aspectos anteriores se designan (N) número de cuestionamientos, con un formato uniforme

(opción múltiple), con 3 o 4 variables a contemplar con valores de 1 a 5, donde el valor más alto es de mayor peligro, con valores asignados para su fácil interpretación, si los criterios establecidos están asociados a un cálculo matemático o clasificación previa son preferentes debido a que evitan ambigüedades en su interpretación y tienen mayor sustento; en el caso de no existir un dato o referencia bibliográfica se le asignará un valor mínimo asociado a su probabilidad de existencia (1).

Tabla 1. Ejemplo de tabla para recopilación de variables

Propiedades o Variables	Compuesto 1	Compuesto ...	Compuesto n	Referencia
Variable 1				
Variable ...				
Variable n				

Matriz comparativa

La suma total de los valores asignados se analizará a través de una matriz de dos vías con las tres variables (riesgo, daño y probabilidad de exposición) con (n) variables identificadas que permite a partir de un análisis cuantitativo y colorimétrico, identificar de manera impersonal y de carácter técnico y científico, cuál o cuáles compuestos tiene mayor potencial de riesgo, además permite un análisis por cada una de la dimensiones evaluadas para identificar las variables de cada compuesto que lo hacen más o menos peligroso (Figura 2), por ejemplo en la Tabla 2, que está rellenada con valores hipotéticos, en la sumatoria se puede ver que el compuesto 5 (C_{n5}) es el que tiene mayor potencial de riesgo y compuesto 4 (C_{n4}) el de menor valor, así mismo se puede analizar por rubro, por ejemplo en el indicador de efecto, su estado de oxidación y sus efectos reportados en humanos son un factor común en todos los compuestos analizados que los hacen potencialmente peligrosos; entre otro tipo de análisis que se pudieran hacer.

Figura 2. Valoración colorimétrica propuesta por sumatoria general e indicador

Categoría **Puntuación**

Potencial de riesgo alto 100-75 puntos
Potencial de riesgo intermedio 74-50 puntos
Potencial de riesgo bajo 49-25 puntos
Potencial de riesgo nulo <24

ValorR **iesgo**

5 Alto
4
3 Medio
2
1 Bajo

Tabla 2. Ejemplo de una matriz

Indicador		Clase contaminante				
		C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	C_{n4}	C_{n5}
Peligrosidad	1. Concentración	5	5	5	4	4
	2. Presencia anual	4	4	4	3	4
	3. Presencia en más de un medio	5	5	5	5	5
	4. Permanencia en el ambiente	2	5	5	3	5
	5. Biodisponibilidad	5	5	4	4	5
	6. Solubilidad en agua	5	5	4	3	5
Probabilidad	7. Coeficiente de bipartición	3	3	3	3	3
	8. Vida media en el organismo	3	5	5	3	5
	9. Factor de bioconcentración (BCF)	3	3	3	3	5
	10. Órganos blancos afectados	5	5	5	5	5
	11. Productos de biotransformación	4	1	1	4	4
	12. Eliminación del organismo	3	3	5	3	5
	13. Efecto biológico por interacción química	3	3	4	3	5
	14. Alerta estructural	4	3	3	4	4
	15. Toxicidad aguda	4	3	3	4	3
Efecto	16. Estado de oxidación	5	5	5	5	5
	17. Efecto por potencial de toxicidad	3	3	3	3	3
	18. Efectos humanos	5	5	5	5	5

Indicador		Clase contaminante				
		C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	C_{n4}	C_{n5}
Efecto	19. Efecto biológico (sistemas mamíferos y humanos)	5	5	5	4	5
	20. Efecto biológico (sistemas no mamíferos)	5	3	3	5	5
	Total					

Cn: Compuestos 1.n

Resultados y discusión

La versatilidad de la presente metodología se centra en que el diseño de las preguntas está alineado para rellenar la matriz de análisis, y por lo tanto se pueden modificar de acuerdo al o los compuestos a evaluar, al lugar o sitios de estudios y/o al o los sectores expuestos, como los reportados por Gaytán et al. en 2012 [4], Quiterio-Pérez en 2012 [6] y Rodríguez-Anaya et al. en 2014 [8] en donde se ha aplicado la metodología a diferentes contextos y variables.

Uno. Peligrosidad con base a su concentración: Este rubro, se refiere a la concentración de metales pesados y metaloides establecida como límite permisible por la NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos [a la] que debe someterse el agua para su potabilización"; de acuerdo al cociente de peligro establecido por González -Mille et al. en 2010 [9], en donde si el valor obtenido es menor a 1 es aceptable; y si el valor es mayor a 1 existe una mayor peligrosidad basa en su concentración; y se calcula mediante la ecuación (1):

$$CP = \frac{Ce}{Cr} \quad (1)$$

Donde:
CP = Cociente de peligro;
Ce = Concentración de exposición (reportada);
Cr = Concentración de referencia

a) Coeficiente de peligro ≥3. Peligrosidad alta. = 5
b) Coeficiente de peligro 1 - 3. Peligrosidad media-alta = 4
c) Coeficiente de peligro 1. Peligrosidad media = 3
d) Coeficiente de peligro menor a 1. Peligrosidad baja. = 2
e) Desconocido = 1

Dos. Peligrosidad con base en su presencia anual: Este rubro se refiere al periodo de tiempo en el que se encuentran presentes los metales pesados y metaloides en el ambiente al año en el sitio de estudio.

a) Permanente (se encuentran presentes de 6 meses a 12 meses) = 5
b) Alta frecuencia (se encuentran de 6 a 11 meses) = 4
c) Baja frecuencia (se encuentran de 1 a 5 meses) = 3
d) Desconocido = 1

Tres. Probabilidad por presencia en más de un medio: Este rubro permite determinar la peligrosidad de los compuestos xenobióticos a través de una relación lineal al incremento de ambientes, donde se puede distribuir un contaminante.

a) En diferentes medios abióticos (Agua, aire, suelo) y bióticos = 5
b) En dos o más medios abióticos (Agua, aire, suelo) = 4
c) Un medio abiótico (Agua, aire, suelo) = 3
d) Desconocido = 1

Cuatro. Peligrosidad con base a su permanencia en el ambiente: Se refiere al tiempo o permanencia de los contaminantes a evaluar en el ambiente, basándose en su vida media, ya que a mayor persistencia mayor peligrosidad ambiental, de acuerdo a la clasificación de Ramírez y Lacasaña de (2001) [10] (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de metales pesados y metaloides basada en su vida media

Persistencia	Vida media	Ejemplos
Permanentes	Indefinidamente	Cadmio, Plomo
Persistentes	de 19 meses a 20 años	Cromo
Moderadamente persistentes	de 1 a 18 meses	Mercurio
No persistentes	de días hasta 12 semanas	Arsénico

Fuente: Modificada de Ramírez y Lacasaña (2001) [10]

a) Permanentes (Indefinidamente) = 5
b) Persistentes (De varios meses a 50 años) = 4
c) Moderadamente persistentes (de 1 a 18 meses) = 3
d) No persistentes (de días hasta 12 semanas) = 2
e) Desconocido = 1

Cinco. Probabilidad basada en su biodisponibilidad: Se refiere a la posibilidad que ejercen los factores ambientales (pH y temperatura) para favorecer la biodisponibilidad (entendiéndose esta, como la capacidad que tienen los compuestos xenobióticos de ingresar a sistemas biológicos).

a) Probabilidad alta (pH por debajo de 7 y temperaturas por encima de los 25°C) = 5

b) Probabilidad media alta (pH debajo de 7 y temperaturas debajo de los 25°C) = 4

c) Probabilidad media baja (pH encima de 7 y temperaturas encima de los 25°C) = 3

d) Probabilidad baja (pH por encima de 7 y temperaturas por encima de los 25°C) = 2

e) Desconocida = 1

Seis. Probabilidad basada en su solubilidad en agua: Este rubro se refiere a la capacidad de un compuesto xenobiótico de disolverse en otra, debido a que sustancias con alta solubilidad entran rápido al organismo y del mismo modo se excreta, en cambio sustancias con baja solubilidad permanecen más tiempo. Basado en la clasificación de Badii-Zabeh et al. en 2005 [11], sustancias con solubilidad acuosa menor a 25 ppm tienden a concentrarse en los organismos vivos, sustancias con una solubilidad acuosa de 25 ppm a 500 ppm, se concentran de una manera media en los organismos. Las sustancias con solubilidad acuosa mayor de 500 ppm, son de persistencia baja en organismos.

a) Solubilidad baja menor a 25 ppm = 5

b) Solubilidad acuosa mayor a 25 ppm = 4

c) Solubilidad mayor a 500 ppm = 3

d) Desconocido = 1

Siete. Probabilidad con base en su coeficiente de bipartición lípido/agua ($\log_{kow}$): El valor de este coeficiente permite estimar la lipofília o hidrofilia de un compuesto; información indirecta sobre la solubilización y distribución en un organismo vivo. De acuerdo con el valor de este coeficiente, un valor de $\log_{kow}$ alto, representa una alta afinidad por lípidos (lipofílico), mientras que un $\log_{kow}$ bajo, presenta una baja afinidad por lípidos (hidrofilico) (Badii-Zabeh et al., 2005). De acuerdo a los criterios de bioacumulación de la NOM-165-SEMARNAT-2013 [12] que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, donde menciona que si el $\log_{kow}$ es ≥ 4 es bioacumulable.

Tabla 4. Escala de afinidad de las sustancias químicas con lípidos

$\log_{kow}$	>5	5-3.5	3.5-3	03-ene	<1
Afinidad	Alta	Media alta	Media	Media baja	Baja

Fuente: Tomada de Badii-Zabeh et al., (2005) [11]

a) Altamente bioacumulable (>5) = 5
b) Medianamente bioacumulable (2-4) = 4
c) Baja bioacumulación (0-2) = 3
d) Desconocido = 1

Ocho. Probabilidad basada en su vida media en el organismo: Se refiere al tiempo requerido para que la cantidad del compuesto a evaluar dentro de un sistema biológico sea reducido a la mitad de su valor, a través de procesos biológicos.

a) De 10 a 30 años = 5
b) De 1 a 10 años = 4
c) 1 a 6 meses = 3
d) Desconocido = 1

Nueve. Probabilidad con base a su factor de bioconcentración (BCF): Este rubro se refiere a la posibilidad de que un compuesto ingrese y persista dentro de un sistema biológico, con base en el equilibrio entre sus propiedades fisicoquímicas y la vía de exposición. De acuerdo a los criterios establecidos por la NOM-165-SEMARNAT-2013 [12], un compuesto con una BCF≥500 es altamente bioacumulable.

a) Altamente bioacumulativo (BCF>500) = 5
b) Medianamente bioacumulativo (BCF>100) = 4
c) Bajamente bioacumulativo (BCF>1.0) = 3
d) Desconocido = 1

Diez. Probabilidad por números de órganos blanco afectados: Se refiere al sitio en el organismo donde el tóxico ejerce un efecto dañino. Entendiéndose que debido a las características fisicoquímicas que presentan los compuestos xenobióticos, estos pueden ocasionar efectos en órganos como hígado, riñón, cerebro, piel, pulmones y sistema nervioso central.

a) Alta peligrosidad (más de un órgano o sistema) = 5
b) Media peligrosidad (al menos un órgano o sistema) = 4
c) Baja peligrosidad (presente en órgano pero no ejerce efecto dañino) = 3
d) Desconocido = 1

Once. Probabilidad de daño por productos de biotransformación: Establece si los compuestos a evaluar forman metabolitos primarios o secundarios que puedan ser detectados a través de la excreción, este hecho aumenta su peligrosidad en el ambiente, debido a que el compuesto y sus metabolitos, pueden ejercer efectos secundarios, catalogados como peligrosos.

a) Alta peligrosidad (5 o más metabolitos) = 5
b) Media peligrosidad (de 2 a 4 metabolitos) = 4
c) Baja peligrosidad (1 metabolito) = 3
d) Desconocido = 1

Doce. Probabilidad de eliminación del organismo: Este rubro se refiere a la eliminación de tóxicos que se producen por vía urinaria, bilis y heces.

a) Se elimina por 1 vías = 5
b) Se elimina por 2 vías = 4
c) Se elimina por 3 vías = 3
d) Desconocido = 1

Trece. Probabilidad de efecto biológico por interacción química con otros compuestos: Este rubro, trata de establecer la relación entre la exposición del organismo a compuestos xenobióticos de manera simultánea, generando diferentes efectos a los que tendría una exposición independiente a los mismos, identificando estos efectos como aditivos (suma del efecto de dos o más agentes químicos), sinérgicos (suma del efecto de dos o más agentes es mayor), antagónicos (interferencia entre la exposición simultánea a compuestos) y potenciación (el efecto combinado de la exposición a varios agentes se intensifica).

a) Peligrosidad alta (efecto de potenciación) = 5
b) Peligrosidad media-alta (efecto sinérgico) = 4
c) Peligrosidad media (efecto aditivo) = 3
d) Peligrosidad baja (efecto antagónico) = 2
e) Desconocido = 1

Catorce. Probabilidad basada en toxicidad aguda: Este rubro se refiere a la posibilidad que un compuesto manifieste un efecto adverso tras la administración vía oral o cutánea de una dosis. De acuerdo al criterio de clasificación de Lindner en 1978 [13], clasifica la toxicidad aguda de una sustancia con base en su dosis letal media en ratas. Entendiéndose que una sustancia con una DL_{50} menor presenta una mayor toxicidad con referencia a otra que tenga un valor mayor en DL_{50}.

a) Extremadamente tóxico. <1 mg/kg = 5
b) Altamente tóxico. 1-50 mg/kg =4
c) Moderadamente tóxico. <50 mg/kg = 3
d) Desconocido = 1

Quince. Probabilidad basada en el estado de oxidación: Este rubro se refiere a la posibilidad que presentan los elementos de presentar una toxicidad basada en su estado de oxidación. Ya que el estado de oxidación permite la formación de compuestos y aumenta su toxicidad de acuerdo a Ferrer en 2003 [14].

a) Probabilidad alta de formación de compuestos con potencial tóxico = 5
b) Probabilidad media de formación de compuestos con potencial tóxico = 4
c) Probabilidad baja de formación de compuestos con potencial tóxico = 3
d) Desconocido = 1

Dieciséis. Efecto biológico: Este rubro se refiere a la posibilidad de que una sustancia o compuesto ocasione un efecto biológico basado en el potencial de toxicidad y el peso molecular de la misma. El cual se determina mediante pT = -logT (T = Dosis tóxica molar referida en humanos). De acuerdo al criterio de Degrossi en 2013 [15], compuestos con un potencial de toxicidad (pT) alto pueden ocasionar efectos adversos en los organismos.

a) Potencial de toxicidad alta (>10) = 5
b) Potencial de toxicidad media (5 – 10) = 4
c) Potencial de toxicidad baja (1 – 5) = 3
d) Desconocido = 1

Diecisiete. Efecto biológico: Este rubro se refiere a la posibilidad que un compuesto xenobiótico manifieste un efecto biológico con base en datos reportados de toxicidad y efectos secundarios (cancerígeno, mutágeno y teratógeno) en diferentes bioensayos e incluso en humanos.

a) Alta peligrosidad. (3 efectos secundarios y tóxicos) = 5
b) Media-alta peligrosidad (2 efectos secundarios y tóxicos) = 4
c) Mediana peligrosidad (al menos 1 efecto secundario y tóxicos) = 3
d) Baja peligrosidad (Efectos tóxicos) = 1
e) Desconocido = 1

Dieciocho. Efecto biológico: Se refiere a la capacidad que tienen los compuestos de ocasionar daños biológicos en humanos u otros sistemas mamíferos, *in vivo* o *in vitro*; de acuerdo con sus efectos tóxicos, genéticos, carcinogénicos y/o reproductivos.

a) Alta peligrosidad (Humanos in vivo) = 5
b) Media peligrosidad (Sistemas mamíferos y humanos *in vitro*) = 4
c) Baja peligrosidad (Sistemas mamíferos) = 3
d) Desconocido = 1

Diecinueve. Efecto biológico: Se refiere a la capacidad que tienen los compuestos de ocasionar daños biológicos en sistemas no mamíferos, *in vivo* o *in vitro*; basado en efectos tóxicos, genéticos, carcinogénicos y/o reproductivos.

a) Alta peligrosidad (En dos o más sistemas en diferente escala evolutiva) = 5
b) Media peligrosidad (Solo en sistemas animales) = 4
c) Baja peligrosidad (Solo en sistemas vegetales) = 3
d) Poca peligrosidad (Solo en sistemas procariontes) = 2
e) Desconocido = 1

La evaluación generada por la información arrojada por el análisis de indicadores propuestos deberá permitir discernir entre compuestos presentes en una situación especial cual tiene mayor potencial de riesgo genotóxico en la población evaluada.

Conclusiones

La técnica de Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPOR-G), permite jerarquizar el potencial de riesgo de contaminantes xenobióticos de los que se conozca su distribución en aire, agua, suelo o en una combinación de esos medios, lo permitirá diferenciando entre categorías de contaminantes tales como Metales Pesados, Compuestos Orgánicos Persistentes, HidroCarburos o bien entre compuestos o especies químicas dentro de una categoría de contaminantes xenobióticos. Se podrá jerarquizar entre medios aire, agua o suelo pudiendo estimar el peligro de exposición al o a los compuestos xenobióticos analizados; la probabilidad de verse expuesto al o los compuestos xenobióticos y permite determinar el efecto reportado sobre sistemas biológicos mamíferos, humanos y no mamíferos. Puede aplicarse por equipos de trabajo no especializados en función de información previamente reportada; requiere un tiempo mínimo, con recursos escasos y fácil de utilizar sin necesidad de un entrenamiento específico en toxicología ambiental y generar resultados rápidos que permitan identificar y conocer a los tomadores de decisiones ante qué tipo de riesgos se enfrentan ante una contingencia ambiental o ante eventos de exposición crónica por parte de la población a nivel local. Este trabajo aporta la integración de un sistema de criterio e indicadores basados en estudios empíricos sobre diversos tipos de contaminantes xenobióticos, normas oficiales sobre la materia y el criterio de personal especializado en temas

de toxicología y genética ambiental. Lo anterior brinda confiabilidad en el análisis de potencial de riesgo de xenobióticos en aire, agua o suelo y permite indicar la estrategia para realizar estudios detallados o el manejo de los contaminantes en función a dicho potencial. En esta etapa, se propone el modelo conceptualmente, estando en marcha su validación en distintos casos de estudio como en la contaminación por metales en cuerpos lénticos, constituyéndose su validación en otros medios como aire y suelo y por otras categorías de xenobióticos, como un área de oportunidad para este tipo de trabajos. Además, debe considerarse la supervisión de los resultados generados por ERPOR-G, por parte de especialistas capacitados debido a que ante la falta de información sobre un grupo de xenobióticos o sobre un tipo de contaminante en específico, el modelo podría otorgar un menor puntaje a xenobióticos con información desconocida en varios de los indicadores (lo que se considera como un factor de incertidumbre). Dentro de las perspectivas de trabajo futuro, además de la ya mencionada validación en casos de trabajo de campo, es necesaria la ponderación de la importancia de cada criterio y cada indicador de acuerdo a la categoría de xenobiótico a evaluar.

Lista de referencias

Baddi-Zabeth, M., Garza, R., y Garza-Almanza, V. (2005). *Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados*, Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica (CUICyT) 6: 4-20.

CPPS, Comisión Permanente del Pacífico Sur. (1986). *Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelos.* Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA), Lima, Perú.

Degrossi, M. C. (2013). *Toxicología de Alimentos Universidad de Belgrano*. Ed. Facultad de Ciencias de la Salud, Argentina.

Ferrer, A. (2003). "Intoxicación por metales pesados". *Anales Sis San Navarro. 26*(1):141-153.

Gaytán-Oyarzun, J., López-Escamilla, A., López-Herrera, M. Pulido-Flores, G., Scott-Moks, W., Pérez-Escandón, B. y Villavicencio-Nieto. (2012). *Evaluación rápida de biodiversidad para estimar prioridad biológica (ERPBIO)*. Centro de Investigaciones Biológicas. UAEH. Pachuca, Hidalgo.

Gonzalez-Mille, D. J., Ilizaliturri-Hernandez, C. A., Espinosa-Reyes, G., Costilla-Salazar, R., Diaz-Barriga, F., Ize-Lema, I., y Mejia-Saavedra, J. (2010). "Exposure to persistent organic pollutants (POPs) and DNA damage as an indicator of environmental stress in fish or different feeding habits of Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico". *Ecotoxicology.* (2010) 19:1238-1248.

He, J., y Charlet, L. (2013). "A review of arsenic presence in China drinking water". *Journal of Hydrology*. 492, 79–88.

Lindner, E. (1978). *Toxicología de los Alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.

Llañes, J. (2018). *Métodos de evaluación rápida*. Disponible en: http://www.inepar.edu.mx/INEPAR/pdf/liberadictus/86_Metodos_de_evaluacion_rapida.pdf [septiembre de 2018]

NOM-165-semarnat-2013. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330750&fecha=24/01/2014 [septiembre de 2018]

Quiterio, P. M. (2012). *Evaluación espacio temporal de pesticidas organoclorados (POs) en aguas y sedimentos de la laguna de Metztitlán, Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztitlán, Hidalgo*. Tesis para obtener el grado de Doctor en ciencias química ambiental, UAEH, México.

Ramírez, J. A., y Lacasaña, M. (2001). "Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición". *Arch Prev Riesgos Labor* 4, 67-75.

Rodríguez-Anaya, A., Gaytán-Oyarzun, J. C., Gordillo-Martínez, J. A., Prieto-García, Gordillo-Martínez, A., y F., Marmolejo-Santillán. (2014). "Model for estimating the envioronmental risk potential per presence of drugs nosteroidal antiinflamatory (NSAIDS) consumtion high". *Ciencia e Técnica Vitivinícola* 29, 51-76.

Tambutti, M., Aldama, Sánchez, A., Medellín, O., y Soberón, J. (2001). "La determinación del riesgo de extinción de especies silvestres en México". *Gaceta Ecológica*. 61, 11-21.

WHO, World Health Organization. (1982). *Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1982. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261063288_Rapid_assessment_of_Air_Water_Land_Pollution_Sources

Parte 2:
Educación y Gestión Ambiental

Capítulo 7. Desarrollo rural y sostenibilidad: estrategias de emprendimiento para el desarrollo de comunidades rurales en la Huasteca

Rosa María Hernández Rejón, José Luis Martínez Navarro y Raúl Treviño Hernández[9]

Resumen

El desarrollo sostenible de comunidades rurales busca, entre otras cosas, dar respuesta a las necesidades de bienestar (calidad de vida) de las personas que habitan en estas, con el fin de mejorar sus condiciones de vida y evitar su migración.

Las comunidades rurales de la región Huasteca de Veracruz y Tamaulipas son entornos con alto grado de marginación y exclusión social, pero con potencial de desarrollo, que requieren estrategias puntuales para impulsar emprendimientos que mejoren sus condiciones de vida.

Se presenta un análisis crítico sobre la sustentabilidad en las comunidades rurales de México, y a partir del estudio de comunidades rurales en la región Huasteca, se identifican los aspectos necesarios para la investigación de las estrategias de emprendimiento para el desarrollo de estas comunidades.

Palabras clave: Desarrollo rural, sostenibilidad, emprendimiento.

Introducción

Esta investigación pretende caracterizar las estrategias de emprendimiento rural como una práctica productiva y social de la vida económica de los productores rurales. A lo largo de ella se intenta responder a la necesidad de contar con una caracterización y herramientas conceptuales que permitan caracterizar y comprender el fenómeno del emprendimiento rural, como un fenómeno no sólo económico, sino principalmente sociocultural, inserto en un territorio determinado y que reviste características especiales, que lo alejan de las conceptualizaciones tradicionales del emprendimiento como un fenómeno regido por las normas del libre mercado y la lógica de maximización de utilidades y lucro, características de la acción económica según la teoría neoclásica.

La relevancia de contar con dichas herramientas conceptuales radica en la posibilidad de desarrollar políticas públicas de fomento al emprendimiento en el mundo rural que ha cambiado notablemente a partir del proceso de reforma agraria.

[9] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: raul922@hotmail.com

Estas transformaciones han ido asociadas a nuevas estrategias de subsistencia y desarrollo económico que han modificado las formas tradicionales de sociabilidad y comunidad, y también han impactado la vida económica de los campesinos. El emprendimiento como lógica de integración a los mercados se ha planteado como un camino interesante para mejorar las condiciones económicas de las familias de las comunidades rurales de la región Huasteca de Veracruz y Tamaulipas.

Lo que interesa estudiar entonces, es cómo podemos caracterizar el emprendimiento, en un marco de análisis adecuado para el diseño de intervenciones y programas de fomento al emprendimiento rural.

Objetivo

Caracterizar las estrategias de emprendimiento en el mundo rural para contar con un marco analítico que permita mejorar los programas de intervención que apuntan a fomentar y apoyar el emprendimiento rural.

Para ello se discuten una serie de teorías, definiciones y modelos acerca del emprendimiento y se propone un modelo que permite caracterizar el fenómeno del emprendimiento rural abarcando sus diversos aspectos, económicos, sociales, culturales, individuales e institucionales.

Se pondrá un especial énfasis en el rol de las instituciones encargadas de fomentar el emprendimiento rural, en particular el Instituto de Desarrollo Agropecuario. Este trabajo pretende aportar información relevante para mejorar los programas de intervención que apuntan al fomento y apoyo del emprendimiento rural.

Justificación

El crecimiento urbano descontrolado, aunado a la falta de planificación, ha generado en México y en toda América Latina, significativas inestabilidades territoriales, diferencias sociales, supresión de los grupos, además del aumento de dificultades de habitabilidad de los espacios urbanos.

Inconvenientes tales como: miseria, incertidumbre, congestión vial, habitacional, desempleo, diferencia ante el acceso a los bienes públicos, contaminación atmosférica, de la audición, paisajística y por residuos sólidos urbanos e industriales, ocupación anormal del suelo, inseguridad ante desastres, etcétera (Hernández, 2010).

La Organización de Naciones Unidas (ONU, 2000) advierte que en el siglo XX México, como muchos países latinoamericanos, ha sufrido un proceso de urbanización muy acelerado que ha provocado graves problemas de bienestar, seguridad y convivencia familiar y social.

En este contexto se han proyectado escenarios futuros para México, en uno de los cuales se prevé que para el año 2050 cuente con 132,2 millones de habitantes (68 personas/ km^2) (ONU, 2007).

El mundo rural ha pasado por un profundo proceso de transformación económica, social y cultural que ha ido asociado a la penetración de la lógica de mercados y el capitalismo industrial moderno en el campo.

Este proceso ha afectado la vida económica de los campesinos y ha incorporado elementos del capitalismo industrial en el territorio rural. El emprendimiento también ha tenido su espacio de desarrollo, aunque con características que lo distinguen de su conceptualización actual, y que se relacionan principalmente con la base sociocultural en la cual se inserta como actividad productiva en el mundo rural.

Sin embargo, hoy no se cuenta con estudios y conceptualizaciones que permitan comprender el emprendimiento en el mundo rural reconociéndolo como un fenómeno complejo y multidimensional. Esto afecta la posibilidad de generar acciones de fomento y apoyo del emprendimiento del mundo rural.

Cuando se gestiona correctamente, la migración puede tener un potencial de gran alcance para los migrantes y sus comunidades, regiones de origen y de destino. Se debe intentar aprovechar tales oportunidades en aras de la seguridad alimentaria y de reducir la pobreza rural.

Calidad de vida, sustentabilidad y migración

Para lograr el bienestar de las personas que viven en comunidades rurales debemos empezar por revisar el concepto de "desarrollo sustentable", que es definido como: "El desarrollo sustentable es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (Comisión Brundtland, 1987).

Sin embargo, este es un concepto abierto e impreciso cuando se quiere referenciar a ámbitos específicos, dadas las particulares necesidades de cada sector.

En 1798 Malthus, advirtió que el recurso de la tierra es infinito, lo que significa, que los recursos que hay en ella, también lo son. El surgimiento del concepto de desarrollo sustentable[10] significó un cambio en las diversas teorías sobre desarrollo y sobre la ecología.

[10] El desarrollo sustentable, también denominado sostenible, no obstante algunos autores como Quiroz y Tréllez (1992) han diferenciado los conceptos. En el presente trabajo se consideran las dos expresiones sinónimas, por lo cual se pueden emplear de manera indistinta, aunque prevalecerá el término sustentable por que en México, país en donde se encuentra el área de estudio, el marco legal lo emplea.

En este apartado se revisan brevemente las teorías más relevantes para el estudio del ambiente rural, y que aportaron bases para la construcción del concepto de desarrollo sostenible o sustentable.

En la práctica, los conceptos y teorías sobre el desarrollo sustentable han tenido implicaciones diversas, no solo a nivel geográfico, es decir, para un país, región, ciudad o localidad urbana o rural; si no también por los distintos desafíos correspondientes a las diversas áreas de aplicación de la misma.

El programa Agenda 21, indicó precisamente los requisitos prácticos para el desarrollo sustentable en áreas rurales, a nivel sectorial, por ejemplo, tratamiento de agua, aire limpio, gestión de residuos sólidos, transporte, entre otros.

El asunto de la sustentabilidad rural ha sido uno de los más urgentes en las agendas internacionales, principalmente, porque las comunidades rurales siguen decreciendo demográficamente y aumentando la migración rural.

Este fenómeno ha generado una serie de problemas en el territorio, problemáticas no sólo espaciales, sino también socio-económicas y ambientales, que desequilibran la capacidad del sistema rural.

La mayor parte de los migrantes del mundo, es decir unos 763 millones de personas, se desplazan dentro de sus propios países y no hacia el extranjero. Viajan de una zona rural a otra o desde zonas rurales a zonas urbanas.

Son muchas las razones que llevan a una persona a migrar. Sin embargo, con frecuencia la motivación mayor es escapar de situaciones de vulnerabilidad provocadas por la pobreza, la inseguridad alimentaria, la falta de trabajo, la mayor competencia por tierras, la escasez de recursos hídricos, entre otras.

En las próximas décadas, es probable que fuerzas demográficas, la globalización y el cambio climático aumenten las presiones migratorias tanto en el interior de los países como entre ellos.

Las consecuencias de la migración plantean desafíos y oportunidades para la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Por ejemplo, la pérdida de capital humano y de mano de obra agrícola puede tener efectos negativos en la producción agrícola y en la disponibilidad de alimentos.

Por otra parte, es posible que las personas que migran puedan dejar atrás condiciones de vida deficientes, reducir la presión sobre los recursos en los lugares que abandonan y agreguen recursos al enviar remesas a sus familias en su tierra natal.

Promover los vínculos económicos entre zonas rurales y urbanas, mejorar y diversificar las oportunidades de empleo rural, especialmente para las mujeres y los jóvenes, ayudar a los pobres a manejar los riesgos de mejor manera a través de protección social y aprovechar las remesas para realizar inversiones en el sector rural pueden ser estrategias eficaces para mejorar los medios de vida y reducir la migración producida por situaciones de vulnerabilidad.

Otro factor que influye en esta problemática es la exclusión social, que en términos generales se entiende como la falta de participación de segmentos de la población en la vida social, económica y cultural de sus respectivas sociedades debido a la carencia de derechos, recursos y capacidades básicas (acceso a la legalidad, al mercado laboral, a la educación, a las tecnologías de la información, a los sistemas de salud y protección social) factores que hacen posible una participación social plena.

La exclusión social es un concepto clave para abordar las situaciones de pobreza, desigualdad social, vulnerabilidad y marginación de partes de su población. El concepto también se ha difundido, aunque más limitadamente, fuera de Europa. La Unión Europea proclamó el 2010 como año europeo de lucha contra la pobreza y la exclusión social.

Basados en estos conceptos y teorías de la sustentabilidad, la migración y la exclusión social podemos sugerir algunas estrategias y acciones para que las comunidades rurales de la zona de la huasteca puedan intentar elaborar un plan de emprendedurismo para el desarrollo de su región.

Resultados

Como resultado del análisis de la información se detectaron algunos aspectos del modelo conceptual que requerían un ajuste, así como también algunas orientaciones para su modificación.

También se pudo establecer la influencia que tiene el marco institucional a través de sus agentes y programas sobre el inicio y desarrollo de los emprendimientos.

Se establecieron los principales mecanismos subjetivos que actúan como motivadores y que están involucrados en la valoración del emprendimiento por parte de los emprendedores.

Estos mecanismos basados en la investigación sugieren que el estímulo y la consolidación del emprendimiento rural es uno de los componentes del desarrollo territorial más importantes.

Esto sucede a la hora de abordar los problemas económicos de las comunidades rurales, y está ganando mucha atención como respuesta a la pobreza y desigualdad de los países de América Latina y el Caribe.

Uno de los resultados de mayor importancia por su impacto en el emprendedurismo rural es la necesidad de introducir:

- Innovaciones tecnológicas, organizativas y de gestión, destinadas a impulsar las potencialidades productivas y de empleo existentes.
- Además, se tiene que crear entornos favorables al fomento productivo y empresarial que aseguren, por ejemplo, el acceso a los servicios de desarrollo empresarial para los productores y emprendedores rurales.

La dimensión territorial es importante para el desarrollo del emprendimiento en las comunidades rurales, es por esto que se hace necesario incluir en su enfoque la integración de diferentes medidas como:

- La innovación en los sistemas productivos locales.
- La capacitación del capital humano (técnico-productiva, empresarial, organizacional, institucional, etcétera), según las necesidades de cada contexto local.
- La valorización de la biodiversidad y el patrimonio cultural local, como activos importantes de desarrollo local.
- Las preocupaciones sociales y ambientales en las operaciones productivas comerciales.

De esta manera, para impulsar el emprendimiento rural se proponen las siguientes medidas de políticas públicas:

- Medidas macroeconómicas, de diversificación de mercados.
- Fomento de economías de escala.
- Fomento de economía territorial que dé protagonismo a los gobiernos y agentes socioeconómicos locales, responsables últimos del desarrollo económico rural.

Conclusiones

En esta investigación se intenta responder a la necesidad de contar con herramientas conceptuales que nos permitan comprender adecuadamente el fenómeno del emprendimiento rural. Es decir, observarlo como un fenómeno no sólo económico, sino principalmente sociocultural, inserto en un territorio determinado.

Además, que reviste características especiales que lo alejan de las conceptualizaciones tradicionales del emprendimiento.

La relevancia de contar con estas herramientas conceptuales radica en la posibilidad de desarrollar políticas públicas de fomento al emprendimiento rural.

Esto en un contexto en que el mundo rural ha pasado por profundas transformaciones.

La presente investigación no pretende de ninguna manera ser la panacea del crecimiento regional de la región en cuestión. Más bien, se plantean algunas estrategias que contribuyan a obtener los resultados deseados. El trabajo de unir a los municipios con las comunidades en organizaciones funcionales requiere de gran habilidad y destreza profesional.

Por lo tanto, lo único que puede esperarse es que dicha aplicación se lleve a cabo de manera empírica para observar si los resultados son congruentes con el desarrollo teórico.

Lista de referencias

Barkin, D. (1998). *Riqueza, pobreza y desarrollo sostenible*. México: Editorial jus y Centro de Ecología.

BID. (2003). *Desarrollo de los gobiernos locales*. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible.

Cárdenas-Nersa. (2002). *El Desarrollo Local, su conceptualización y procesos*. Universidad de Zulia, Colombia.

Censo Económico 2010, INEGI. Consultado en www.inegi.org.mx

Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, INEGI. Disponible en: www.inegi.org.mx

Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. Nuestro Futuro Común. (1998). Madrid: Alianza Editorial.

FAO. (s.f.). *Emprendimientos rurales; Territorios Inteligentes; Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura*. Disponible en: http://www.fao.org/inaction/territoriosinteligentes/componentes/emprendimientos-rurales/introduccion/es/

FAO. (s.f.). *Migración rural; Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura*. Disponible en: http//www.fao.org/rural-employment/work-areas/migation/es/

Hernández, E. (2010). *El problema de la vivienda marginal en México. El caso de los asentamientos humanos periféricos en el Sur de Tamaulipas, México*. Tesis doctoral dirigida por Joseph Oliveras i Samitier. Universitat de Barcelona. España.

Malnate, A. S. (s.f.). *Gestión del Desarrollo Regional*. Universidad Nacional de Cuyo, versión electrónica. Disponible en: www.monografias.com/trabajos/desaregional.shtml

ONU, Centro de noticias ONU. Disponible en: http//www.un.org/spanish/news/story.asp?newsID=9007&criteria1=.wszgHVePfIM [18 de diciembre de 2016]

Richardson, H. W. (1977). *Teoría del Crecimiento Regional*. Madrid: Pirámide.

United Nations. (2000). *World urbanization prospects: the 1999, revision, data, tables and highlights.* United Nations, population división, ESA/P/WP.161, New York.

Weitz, R. (1981). *Desarrollo Rural Integrado. El enfoque de rejovot*. México: Conacyt.

Capítulo 8. Sustentabilidad ambiental en la industria de procesos y sus efectos en el cambio climático

Oscar Laureano Casanova[11], Julio Mar Ortiz y María Dolores Gracia

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar la sustentabilidad ambiental en la industria de procesos y sus efectos en el cambio climático, así como el impacto en la industria de procesos mediante las métricas de medición del desarrollo sostenible cubriendo los aspectos de responsabilidad medioambiental. Se recolectó información de las empresas N, Empresa NH y Empresa GP, mediante la herramienta metodológica, que consiste en la aplicación de indicadores, usados para medir la actuación en una unidad de operación. Los mecanismos de recolección de la información dan como resultado en los indicadores medioambientales; la Empresa GP es más eficiente en el uso de los recursos de las fuentes primarias, considerando que tiene una mayor de capacidad de producción que la Empresa NH, y mayor que la Empresa N. En los indicadores económicos; la Empresa GP tiene mayor valor agregado que la Empresa NH en la Empresa N. En los indicadores sociales, el porcentaje de beneficios percibidos por los empleados en la Empresa GP es de 14%, en la Empresa N es de 10% y en la empresa NH es del 8%, debido al mayor valor agregado de la unidad de operación.

Palabras Clave: Desarrollo Sustentable, Petroquímica, Indicadores Económicos, Indicadores sociales, Indicadores Medioambientales.

Introducción

Desarrollo Sustentable

El Desarrollo Sustentable, es considerado como "aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Capuz y Gómez, 2003). Los tres pilares principales del desarrollo sostenible son el crecimiento económico, el desarrollo social y la protección del medioambiente, pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente (Cadrecha, 2001). En otro sentido:

> […] el desarrollo sustentable representa la demanda para una economía que existe en el equilibrio con los recursos de la tierra y sus ecosistemas naturales. El desarrollo sustentable trae la calidad medioambiental y el crecimiento

[11] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: olaurean@docentes.uat.edu.mx

> económico en la armonía, no en el conflicto. Es un concepto que reconoce que las actividades económicas y las consideraciones medioambientales necesitan estar integrados para el bienestar de la humanidad a largo plazo (Braden y Deanna, 1994).

La sostenibilidad ha surgido como un concepto integrador y demanda atención estratégica de cualquier negocio en el escenario actual. La implementación del concepto de sostenibilidad sigue siendo una tarea difícil para cualquier negocio, aunque parece fácil de entender (Deshmukh, 2012). La cadena sostenible de suministros tiene como objetivo integrar las dimensiones ambientales, económicas y sociales con los sistemas de gestión de la cadena de suministro (Bhanot, 2013). Las actividades básicas de la cadena de suministro se han ampliado para incluir el ciclo de vida completo de un producto, como:

> […] diseño del producto, subproductos de fabricación, subproductos producidos durante el uso del producto, extensión de la vida del producto, final del producto y recuperación en el final de la vida, así como dentro del dominio de la cadena de suministro sostenible (Linton et al., 2007).

La fabricación sostenible se considera como el aspecto más importante de la cadena de suministro sostenible y se ha definido como el desarrollo y la práctica de tecnologías para transformar materiales en productos terminados con reducción en cada uno de consumo de energía, emisión de gases de efecto invernadero, renovables o tóxicos (Madu, 2001). La mayoría de las organizaciones manufactureras consume grandes cantidades de recursos no renovables junto con la generación simultánea de desechos y contaminación. Sin embargo, con la creciente preocupación por la sostenibilidad, las organizaciones han comenzado preocuparse por la sostenibilidad, adoptando varias medidas adecuadas (Amrina y Yusof, 2011). Por lo tanto, las organizaciones manufactureras requieren desarrollar actividades que minimicen los impactos ambientales y mantengan los beneficios sociales y económicos (Joung et al., 2013).

Gestión sostenible de la cadena de suministro en la fabricación

Linton et al. (2007) consideró la convergencia de las cadenas de suministro y la sostenibilidad en la gestión ambiental de las operaciones. En otro estudio se presentaron las opiniones de empresas españolas sobre diversos aspectos de la fabricación sostenible y el desarrollo sostenible (Koho et al., 2011). El estudio destacó la incorporación de valores de sostenibilidad con la empresa, la estrategia empresarial y el apoyo de la alta dirección como facilitadores; se reconoce la falta

de *benchmarks* de rendimiento, la demanda de los clientes y las ideas específicas como barreras para el desarrollo sostenible y la fabricación.

Veleva y Ellenbecker (2001) propusieron un nuevo marco para promover la sostenibilidad empresarial en forma de indicadores de producción sostenible. El marco propuesto empleaba una combinación de indicadores básicos y suplementarios basados en los indicadores de Lowell para evaluar el progreso de las organizaciones en la dirección de sistemas de producción sostenibles. El estudio identificó un conjunto de veintidós indicadores básicos y un modelo para la implementación de los indicadores en el contexto discutido.

Por otra parte, el concepto de desarrollo sostenible de productos también (Kaebernick et al., 2003) puso de relieve los requisitos ambientales para ser considerados simultáneamente a los requisitos tradicionales de costo y calidad. Amrina y Yusof (2011) también propuso un conjunto de indicadores clave de rendimiento para evaluar la fabricación sostenible en las compañías automotrices, integrando el desempeño de la manufactura con los principios de sostenibilidad. TARGET proporciona valiosos insumos para desarrollar el currículo de las instituciones de ingeniería siguiendo las necesidades de las industrias manufactureras (Dolinsek, 2011). Hutchins et al. (2013) definió la manufactura sostenible y amplió la definición para ilustrar los aspectos de impacto social asociados y su relación con la manufactura. El documento identificó características clave de los impactos sociales asociados con la fabricación utilizando el alcance de la actividad (SoA) para abordar la dimensión social de la sostenibilidad de los productos y procesos.

Muchas compañías han adoptado el concepto de sustentabilidad como el centro del valor de los negocios. Durante el desarrollo de un nuevo producto, proceso o tecnología, es necesario tomar muchas decisiones, lo que limita cada vez más la libertad de diseño (Ruiz-Mercado et al., 2012). Por lo tanto, es más efectivo considerar la sostenibilidad desde el principio, cuando todavía se pueden hacer cambios (Tufvesson et al., 2013). Aunque la sustentabilidad puede definirse de muchas maneras, su premisa es que el bienestar económico se une indisolublemente a la salud del ambiente y el éxito de las comunidades del mundo y sus ciudadanos. Para los negocios que han reconocido la necesidad de aprovechar el desarrollo sustentable, el próximo paso es entender cómo implementarlo. Poner este concepto en funcionamiento requiere identificar los indicadores prácticos de sustentabilidad, manteniendo y entendiendo cómo pueden ser medidos para determinar con el tiempo si el progreso es satisfactorio. Los indicadores de sustentabilidad se diseñaron para consolidar el aspecto medioambiental, económico y social de desarrollo. Una métrica es una medida cuantitativa de rendimiento obtenido en un criterio determinado. Un indicador es una medida no cuantitativa de un aspecto económico, medioambiental, social o institucional.

En esta primera etapa, las evaluaciones cualitativas que emplean herramientas internas, como las utilizadas por Tata Steel (2017) y Solvay (2017), permiten a los equipos de proyectos considerar procesos y opciones de productos más radicales. En etapas posteriores, organizaciones como Lafarge Holcim (2017) han monetizado los resultados de sus evaluaciones de sostenibilidad para permitir que la sostenibilidad se integre en la decisión financiera en la parte superior de la empresa.

El desarrollo de medidas que relacionan la actuación medioambiental y económica para los procesos de la producción es una manera excelente para muchas compañías empezar a incorporar la meta de sustentabilidad en la dirección de los procesos de decisión. Uniendo el concepto comercial de crear valor con la actuación medioambiental es el llamado "eco-eficacia". Una estrategia de dirección que incorpora la eco-eficacia, se esfuerza por crear más valor con menos impacto. Esto habilita los procesos de la producción más eficientes y la creación de mejores productos y servicios, mientras se reduce el uso de recursos, residuos y contaminantes a lo largo de la cadena de valor entera (WBCSD, 2001).

El proyecto MEASURE evaluó el uso del Análisis de Decisión Multi-Criterio (MCDA) en herramientas de evaluación de sostenibilidad (MEASURE, 2017) para proporcionar una metodología de toma de decisiones formal, estructurada y transparente; e identificó varios estudios publicados en los que las herramientas MCDA ya han sido incorporadas en evaluaciones de sostenibilidad (Azapagic y Perdan, 2005a, b; Benetto y Dujet, 2003; Cinelli et al., 2014).

Toda organización empresarial debe de saber si está alcanzando los objetivos fijados y compararse con sus competidores en un sector. Tradicionalmente esta herramienta ha sido el *benchmarking*, basado en indicadores económicos y de calidad.

La definición de indicadores a utilizar en los métodos de medida de la sostenibilidad de procesos y proyectos es muy importante para la evaluación del grado de progreso y desarrollo sostenible de los países desarrollados y en vías de desarrollo.

En definitiva, un indicador de sostenibilidad válido debe reunir las siguientes propiedades:

- Simplicidad: deben ser tan sencillos como sea posible, de aspecto intuitivo y entendible por el gran público.
- Alcance: deben agregar cuanta información sea posible, cubriendo todo el espectro de actividades humanas en lo que a economía, medioambiente, instituciones y sociedad se refiere, pero no debe solaparse unos con otros.
- Cuantitatividad: deben permitir una medida mediante un valor numérico.
- Evaluabilidad: deben permitir su evaluación y seguimiento, y estar sujetos a un sistema que permita su evolución armónica con el progreso.

• Sensibilidad: deben ser capaces de reflejar cambios en las características del medioambiente.
• Temporalidad: su frecuencia y duración debe permitir el establecimiento de tendencias tanto a medio como a largo plazo.
• Compromiso: deben guardar un compromiso, tanto con el sistema estudiado, como con la política global existente.

Además, se conocen cuatro dimensiones clave de un indicador de sustentabilidad:

• Unidad de medida: métrica empleada en el cálculo del indicador.
• Tipo de medida, absoluta o normalizada: un indicador puede computar un valor absoluto o normalizado (por unidad de producto, ventas en €, por habitante, etcétera)
• Periodo de medida: (un año fiscal, un trimestre, un mes, etcétera)
• Límites: determina hasta dónde pretende llegar la organización (línea de producto, planta, proveedores, distribuidores o ciclo de vida completo) (ASMA, 2004).

Industria petroquímica

La petroquímica es la industria que se encarga de transformar químicamente fracciones del petróleo (hidrocarburos) y del gas natural en materiales artificiales, ya sea intermedios o productos finales de mayor valor agregado.

Cualquier clasificación química del petróleo presupone que se ha establecido de antemano el tipo de compuestos que lo forman. Para esto se clasifican los hidrocarburos del petróleo en tres grandes series.

La primera serie está formada por los hidrocarburos acíclicos saturados, llamados también parafínicos. Su fórmula general es CnH_2n+2 (n es un número entero positivo). Los cuatro primeros hidrocarburos de esta serie son el metano (CH_4), el etano (C_2H_6) y el butano (C_4H_{10}) y son los principales componentes de los gases del petróleo.

A la segunda serie pertenecen los hidrocarburos cíclicos saturados o nafténicos de fórmula general CnH_2n, tales como el ciclopentano (C_5H_{10}) y el ciclohexano (C_6H_{12}).

La tercera serie la forman los hidrocarburos cíclicos no saturados, más conocidos como hidrocarburos aromáticos, cuya fórmula general es (CnH_2n-6). El compuesto más simple de esta serie es el benceno (C_6H_6), que tiene seis átomos de carbono unidos por dobles ligaduras alternadas formando un anillo.

Los hidrocarburos de esta última serie, que se encuentran en el petróleo crudo, por lo general están constituidos por los llamados poliaromáticos, que son varios anillos bencénicos unidos entre sí y que se encuentran principalmente en las fracciones pesadas.

Sin embargo, aparte de las tres series antes mencionadas, existen en pequeñas cantidades otros hidrocarburos como los acíclicos no saturados, llamados también etilénicos u olefinas, de fórmula general (CnH_2n), las diolefinas (CnH_2n-2), los acetilénicos (CnH_2n-2), además de otros hidrocarburos formados por la combinación de anillos y cadenas que pueden semejarse a varias de las series precedentes (Chow, 1998).

En México los productos químicos se clasifican en tres categorías: básicos, secundarios y desregulados. Los productos básicos son: etano, propano, butano, pentano, hexano, heptano, negro de humo y nafta. Los productos petroquímicos secundarios son: acetileno, metanol, n-parafina, propileno, tolueno, y xilenos (orto, meta y para). El resto de los productos se consideran desregulados.

Según la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (artículos 25, 26, 27 y 28) (CPEUM, 1917), los petroquímicos básicos solo pueden ser producidos y comercializados por Petróleos Mexicanos (PEMEX), mientras que los petroquímicos secundarios pueden ser producidos por el sector privado, si mantienen un 60% de la inversión nacional (PIDTSP, 2001).

Industria petroquímica de Altamira, Tamaulipas, México

El corredor petroquímico de Altamira, Tamaulipas en México orienta su producción principalmente al mercado nacional e internacional. La presencia de fuertes grupos industriales nacionales como CYDSA y ALFA, además de otros grupos industriales extranjeros como SHELL y DUPONT han detectado en Altamira las ventajas que ofrece el clúster petroquímico instalado, bajo el concepto de agrupamientos industriales.

El corredor se ha consolidado como el productor del 30% del total de químicos y petroquímicos del país, de resinas termoplásticas, líder en la producción de negro de humo y dióxido de titanio y productor del 80% del total de resinas producidas en México.

Se estima que la capacidad instalada de las empresas participantes de la industria química y petroquímica del país con base en Altamira, alcanzan los 2.6 millones de toneladas anuales. Más del 80% de los productos elaborados se destina para la exportación, entre los cuales destacan el ácido tereftálico, el dimetíl tereftalato, el dióxido de titanio, el PET y el policloruro de vinilo (PVC).

Las principales empresas que integran el corredor petroquímico Industrial en Altamira, Tamaulipas son las siguientes: Dupont, Negromex, Crompton Nhumo, PetroTemex, Policyd, Dynasol, Indelpro, M&G Polímeros, Dupont, Indelpro, Grupo Primex, GE Plastics, Polioles, PPG Industries, Basf Mexicana y Biofilm.

Método

La presente investigación se aplicó a las empresas que denominaremos Empresa N, Empresa NH y Empresa GP. La metodología para seleccionar la muestra de la población total es no aleatoria. Se utilizó como herramienta metodológica la guía IChemE (2001) para medir el desarrollo sustentable de procesos industriales.

Las métricas que son presentadas en los tres grupos reflejan los tres componentes de desarrollo sustentable: indicadores medioambientales, indicadores económicos, indicadores sociales. Algunas métricas sugeridas no serán aplicables a cada unidad de operación. Para algunas unidades de operación u organizaciones, otras métricas serán más relevantes y deben prepararse las respuestas para inventar e informar sus propias métricas halladas. Sin embargo, una vista equilibrada de desarrollo sustentable incluye indicadores importantes en cada una de las tres áreas mencionadas.

La mayoría de los productos -por los cuales las industrias de procesos se preocupan- atravesará muchas manos en la cadena de recursos (de extracción-transporte-manufactura-distribución-venta-utilización-disposición-reciclado-disposiciónfinal). Los proveedores, clientes y contratistas, todos contribuyen a esta cadena.

Como con todos los ejercicios del *benchmarking*, una compañía recibirá más beneficio de estos datos, si son reunidos para varias unidades de operación. Esto dará una indicación de las tendencias, y el efecto de las políticas implementadas.

Las métricas de progreso son calculadas en forma de relaciones apropiadas. Puede escogerse los indicadores y medirse el impacto independiente de la escala de operación, o para considerar el costo contra el beneficio, y en algunos casos permiten la comparación entre unidades de operación diferentes. Por ejemplo, en el área medioambiental, la unidad de impacto medioambiental por la unidad de producto o valor de servicio es una buena medida de eco-eficacia. La unidad preferida de producto o valor de servicio es el valor agregado, y éste generalmente es el factor de escalar usado en este informe. Sin embargo, el valor agregado a veces puede ser difícil estimar con precisión, para que el substituto mida cómo las ventas netas, ganen, o incluso la masa de producto pueda ser usada. Alternativamente, una medida de valor podría merecer el valor de servicio mejorado, salud o confort.

Indicadores medioambientales

Estas métricas deben dar una vista equilibrada del impacto medioambiental de las entradas -recursos usados, y rendimientos- las emisiones, efluentes y residuos, los productos y servicios producidos.

Recursos usados

a) Energía: En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos del total de energía utilizada por la unidad de operación. Los recursos energéticos utilizados se representan en la gráfica.

Tabla 1. Recursos energéticos

ID	N	NH	GP
TEP	392385 GJ/A	274200GJ/A	270000 GJ/A
PTER	0%	0%	0%
ETUK	2.9 GJ/t	2.3 GJ/t	0.8 GJ/t
ETU	0.03 GJ/$	0.01 GJ/$	0.0068 GJ/$

TEP=Energía primaria utilizada, PTER=Total de energías renovables, ETUK=Energía total usada, ETU=Energía total usada por unidad de valor agregado.

b) Materiales: La cantidad total de materiales, reciclados o que representan riesgo medioambiental o a la salud, utilizados por la unidad de operación (Véase tabla 2).

Tabla 2. Total de materiales

ID	N	NH	GP
CTMUK	1.1 t/t	1.0 t/t	1.1 t/t
CTMUP	9.3 E-08	1.2 E-07	0
FMRC	0.1 t/t	0.1 t/t	0.2 t/t
FMRU	0.6 t/t	0.6 t/t	0.6 t/t
MCRMS	0 t/t	0 t/t	0 t/t

CTMUK=Cantidad de materiales usados (incluido embalaje) por tonelada, CTMUP=Cantidad de materiales usados por unidad de valor añadido, FMRC=Fracción de materiales reciclados por la compañía, FMRU=Fracción de materiales reciclados por el usuario, MCRMS=Fracción de materiales reciclados por el usuario.

c) Agua: En la tabla 3 se muestra la cantidad total de agua utilizada por la unidad de operación.

Tabla 3. Agua consumida

ID	N	NH	GP
CNA	18.6 t/t	11.3 t/t	4.3 t/t
CAC	1.6 t/$	0.15 t/$	1.1 t/$

CNA=Cantidad neta de agua utilizada por unidad de masa, CAC=Cantidad de agua consumida por unidad de valor añadido; t/t=toneladas/ toneladas, t/$=toneladas/dólares.

d) Suelo: En esta categoría se muestra la cantidad total de terreno ocupado, otras tierras afectadas y tierras restauradas a su condición original por la unidad de operación (Véase tabla 4).

Tabla 4. Terreno ocupado

ID	N	NH	GP
TT	0.0012 m^2/($/A)	0.0016 m^2/($/A)	0.0003m^2/($/A)
TR	0(M^2/A)/m^2	0(M^2/A)/m^2	0(m^2/A)/m^2

TT=Total de terreno ocupado por unidad de valor añadido, TR=Tasa de restauración de terreno.

Emisiones, efluentes y residuos

Las categorías de impacto medioambiental escogidas son usadas internacionalmente en la dirección medioambiental para enfocar áreas donde las actividades de la industria del proceso son muy significativas utilizando solamente las cantidades de material descargadas. La carga medioambiental (EB) causada por la emisión de un rango de sustancias, es calculada sumando la emisión pesada de cada sustancia. El factor de peso es conocido como "el factor de potencia".

$$EBi=\sum WN \times PFi,N$$

Donde; EBi=iésima carga ambiental, WN=peso de la sustancia N emitida incluyendo las accidentales y no intencionales, PFi,N = es el factor de potencia de sustancia N por iésima carga ambiental.

a) Impactos atmosféricos

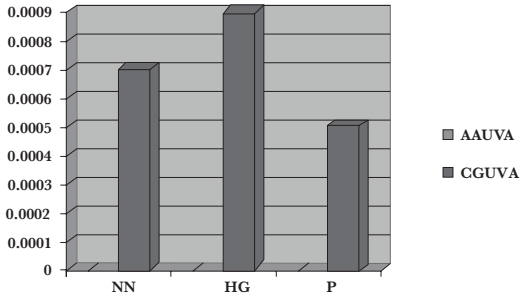
En la tabla 5 se muestra la cantidad total cubriendo el aspecto de acidificación atmosférica y al calentamiento global por la unidad de operación (Gráfica 6).

Tabla 5. Acidificación y calentamiento

ID	N	NH	GP
AA	0 t/$	0 t/$	0 t/$
CG	0.0007 t/$	0.0009 t/$	0.0005 t/$

AA=Acidificación atmosférica por unidad de valor añadido, CG=Calentamiento global por unidad de valor añadido. t/$= toneladas/dólares.

Gráfica 1. Acidificación y Calentamiento



Fuente: Elaboración propia.

b) Impactos acuáticos

La estequiometría de Demanda de Oxígeno (StOD) ha sido escogido como el factor de potencia. Representa el máximo potencial de emisiones al agua para remover al oxígeno disuelto que apoyaría a los peces y a otras vidas acuáticas. StOD es expresado como toneladas de oxígeno requerido por tonelada de sustancia. La unidad de carga medioambiental es t/A de oxígeno (toneladas/año de oxígeno).

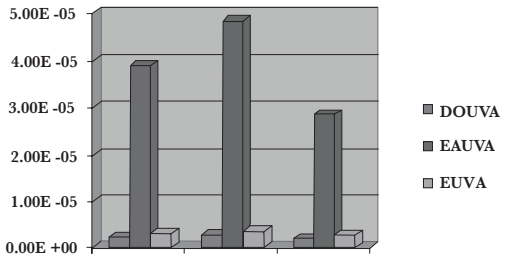
En la tabla 6 se muestran los totales en cuanto a las emisiones, efluentes y residuos en cada unidad de operación. Y se representan en la Gráfica 2.

Tabla 6. Emisiones, efluentes y residuos

ID	N	NH	GP
DO	2.2 E-06 t/$	2.8 E-06 t/$	1.6 E-06 t/$
EA	3.9 E-05 t/$	4.8 E-05 t/$	2.8 E-05 t/$
EU	3.0 E-06 t/$	3.7 E-06 t/$	2.9 E-06 t/$

DO=Demanda de oxígeno por unidad de valor añadido, EA=Ecotoxicidad al agua por unidad de valor añadido, E=eutrofización por unidad de valor añadido. t/$=toneladas/dólares.

Gráfica 2. Emisiones, Efluentes y Residuos



Fuente: Elaboración propia.

c) Impactos al suelo

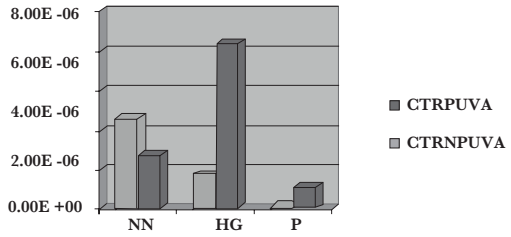
En esta categoría se cuantifica la cantidad de deshechos (residuos) peligrosos o no peligrosos al suelo expresado en t/A (toneladas/año). Por otra parte, en la tabla 7 se representa los residuos peligrosos y no peligrosos por cada unidad de operación. En la gráfica 3 se puede visualizar el comportamiento.

Tabla 7. Total de residuos

ID	N	NH	GP
CTP	3.7 E-06 t/A	1.3 E-06 t/A	0.0 E-06 t/A
CTN	2.1 E-06 t/A	6.6 E-06 t/A	8.4 E-06 t/A

CTP=Cantidad total de residuos peligros por unidad de valor añadido, CTN=Cantidad de residuos no peligrosos por unidad de valor agregado, t/A=Toneladas/Año.

Gráfica 3. Residuos por Unidad de Valor Agregado



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

En el análisis de los resultados del estudio, se expresan únicamente los valores más importantes para el estudio. En los indicadores medioambientales se tienen los resultados siguientes:

Uso de las fuentes

(a) Energía: El consumo energético por tonelada de producto es mayor para la empresa N con 2.98 GJ/t, que para las empresas NH con 2.29 GJ/t y en la empresa GP es de 0.8307 GJ/t.

(b) Materiales: En este aspecto la capacidad de producción para la empresa N es 131735 t/A y en la empresa NH es 119616 t/A, en estas empresas la capacidad de producción es muy similar, ya que son subsidiarias entre sí, y pertenecen al mismo corporativo empresarial.

En cuanto a la empresa GP la capacidad de Producción es de 325 000 t/A en comparación con las otras empresas.

La cantidad total de material usado por tonelada en la empresa N es 1.09 t/t, en la empresa NH es 1.01 t/t y en la empresa GP es 1.11 t/t.

(c) Agua: El consumo de agua neta utilizada por unidad de masa en la empresa N 18.62t/t, en la empresa NH 11.32 t/t y en la empresa GP es de 4.3077 t/t.

(d) Suelo: El terreno ocupado es muy similar en las tres empresas con N (15 000 m^2), NH (14 000 m^2) y GP (15 200 m^2), debido a que se encuentra distribuido en un parque industrial.

Emisiones, efluentes y residuos

(a) Impactos atmosféricos: La acidificación es nula ya que no se genera SO^2. El calentamiento global por unidad de valor añadido en la empresa N es 0.0007 t/$, en la empresa NH es 0.0009 t/$ y en la empresa GP es 0.0005 t/$. Como se puede apreciar esta dentro de los límites permisibles.

(b) Impactos acuáticos: La demanda de oxígeno por unidad de valor añadido en la empresa N es 2.2 E-06 t/$, en la empresa NH es 2.8 E-06 t/$ y en la empresa GP es 1.7 E-06 t/$. Para la ecotoxicidad al agua por unidad de valor añadido en la empresa N es 3.9 E-05 t/$, en la empresa NH es 4.8 E-05 t/$ y en la empresa GP es 2.8 E-05 t/$. En cuanto a la eutrofización por unidad de valor añadido para la empresa N es 3 E-06 t/$, en la empresa NH es 3.7 E-06 y en la empresa GP es 2.8 E-06.

(c) Impactos al suelo: La cantidad total de residuos peligrosos por unidad de valor añadido para la empresa N es 3.7 E-06 t/A, en la empresa NH es 1.28 E-06 t/A y la empresa GP genera residuos con valores prácticamente despreciables. Para los residuos no peligrosos por unidad de valor añadido para la empresa N es 2.1 E-06 t/A, en la empresa NH es 6.65 E-06 t/A y para la empresa GP 8.4 E-07 t/A.

En los indicadores económicos se presentan los resultados siguientes:

(a) Beneficio, valor e impuesto: El valor añadido por unidad de operación para la empresa N es 8 759 190.21$/A, en la empresa NH es 6 888 431$/A y para la empresa GP es 32 083 473$/A. El valor añadido por unidad de sueldo para la empresa N es 3.94$/$, para la empresa NH es 5.1$/$ y para la empresa GP es 5.5$/$. El valor añadido por empleado directo para la empresa N es 45 850$/A, para la empresa NH es 59 895$/A y en la empresa GP es 57 664$/A. El *margen bruto* por empleado en las empresas es: N (45 742$/A), NH (59 791$/A) y GP (57 172$/A).

El impuesto pagado como media del Producto Interno Bruto (PIB), no fue proporcionado por considerarse un dato confidencial.

b) Inversiones: El porcentaje de incremento en capital empleado es de 0.23%/A para las tres empresas. El porcentaje de empleados con formación universitaria en la empresa N es del 21%, en la empresa NH es 21% y en la empresa GP es del 46%. En el aspecto de porcentaje de empleados nuevos es para la empresa N es del 4%/A, en la empresa NH es 4%/A y para la empresa GP es 5%/A.

En los indicadores sociales se tienen los siguientes resultados:

(a) Lugar de trabajo: El beneficio como porcentaje respecto a la nómina para la empresa N es 10%, en la empresa NH es 8% y la empresa GP es 14%. El porcentaje de empleados insatisfechos en la empresa NH es del 5% y la empresa GP tiene el 1%. La tasa de ascensos por promoción en la empresa N es del 4%, en la empresa NH es de 7% y la empresa GP presenta un 1%. Porcentaje de horas perdidas con respecto al total es: en la empresa N (9%), en la empresa NH (6%) y la empresa GP (3%).

(b) Seguridad y salud en el trabajo: Los porcentajes arrojados son valores muy bajos para las empresas analizadas. En el caso de gastos de accidentes es: en la empresa N (3%), en la empresa NH (2%) y en la empresa GP (2%).

(c) Sociedad: El número de reuniones con gente externa a la empresa por unidad de valor añadido es: en la empresa N (1.6 E-06/A) y en la empresa GP es de

3.4 E-06/A. El número de quejas por unidad de valor añadido es: empresa N es (3.4 E-07 $/A) y empresa GP es (1.5 E-07 $/A). El número de acciones legales por unidad de valor añadido es: empresa N (1.1 E-07 $/A) y la empresa GP es (3.1 E-08 $/A).

Conclusiones

Se concluye que en el apartado medioambiental la empresa Petroquímica GP resulta ser más eficiente en el uso de las fuentes: en el aspecto de energía (gas y electricidad), materiales, agua y suelo, ya que tiene un (272%) mayor de capacidad que la empresa NH, y un (247%) mayor que la empresa N, con un menor consumo de recursos primarios. En cuanto los impactos atmosféricos se dan cumplimiento a la normatividad vigente de las normas mexicanas. De igual manera, en los impactos al suelo, las empresas establecidas cumplen en cuanto a los manejos de residuos peligrosos y no peligrosos, y no se tienen datos específicos sobre remediación al suelo contaminado.

Por otra parte, la medición del impacto ambiental mediante la utilización de indicadores de progreso de desarrollo sostenible es de suma importancia en los procesos industriales, debido a que permite ir verificando el impacto al ambiente o nivel de mitigación en cuanto a calentamiento global, agotamiento de los recursos, toxicidad en una unidad de operación.

Referencias

Allenby y Richards (1994). *The Greening of Industrial Ecosystems*, National Academy of Engineering.

Amrina, E., y Yusof, S. M. (2011). *Principales indicadores de rendimiento para la evaluación de la fabricación sostenible en empresas de automoción*. IEEE Conferencia Internacional de Ingeniería Industrial y Gestión de Ingeniería (2011), pp. 1093-1097, 10.1109 / IEEM.2011.6118084.

Automating the Sustainability Metrics Approach [ASMA] (2004). Papers presented at the American Institute of Chemical Engineers Spring Orleans.

Azapagic A., y Perdan S. (2005a). "Un marco integrado de apoyo a la toma de decisiones sobre sostenibilidad Parte II: Análisis de problemas". *Int. J. Sustain. Dev. Mundo Ecol.*, 12 (2) (2005), pp. 112-131.

Benetto, E., y Dujet, C. (2003). *Análisis de incertidumbre y MCDA: un estudio de caso de la práctica de evaluación del ciclo de vida (LCA)*. En: 57ª Reunión del Grupo de Trabajo Europeo sobre Asistencia para la Decisión Multicriterios, Viterbo, 27-29, marzo.

Bhanot. (2013). Gestión sostenible de la cadena de suministro: un resultado preliminar por análisis bibliométrico. Actas de la 7ª ISDSI y 5ª Conferencia Internacional OSCM, IMI-Nueva Delhi (2013), p. 56.

Cadrecha, J. (2001). *Medio Ambiente para Todos*. España: SEPTEM Ediciones.

Capuz-Rizo, y Gómez-Navarro. (2003). *Ecodiseño: Ingeniería del ciclo de vida para el*

desarrollo de productos sostenibles. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312549138_Ecodiseno_Ingenieria_del_ciclo_de_vida_para_el_desarrollo_de_productos_sostenibles

Cerinsek, G. y Dolinsek, S. (2011). *En la búsqueda de ingenieros competentes... Marco de competencia en el campo de la fabricación sostenible.* Conferencia Mundial de Educación en Ingeniería (EDUCON), IEEE (2011), pp. 865 - 870, 10.1109 / EDUCON.2011.5773246.

Chow-Pangtay. (1998). *Petroquímica y sociedad*. México: Fondo de Cultura Económica.

Cinelli, M., Coles, S., Kirwan, K. (2014). "Análisis de los potenciales de los métodos de análisis de decisión multicriterio para llevar a cabo la evaluación de sostenibilidad". *Ecol. Indic.*, 46 (2014), pp. 138-148.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (1917). Legislación Federal Vigente al 5 de agosto de 2005.

Hutchins, M. J., Robinson, S. L., Dornfeld, D. (2013). "Comprensión de los impactos sociales del ciclo de vida en la manufactura: un enfoque basado en procesos". *J. Manuf. Sist.*, 32 (2013), pp. 536-542, 10.1016 / j. jmsy.2013.05.008.

Institution of Chemical Engineers [IChemE]. (2001). *The Sustainability Metrics: Sustainable Development Metrics*; 1-29.

Instituto Mexicano del Petróleo [IMP] (2001). *Prospectiva de la investigación y el desarrollo tecnológico del sector petrolero al año 2025*. pp- 97-98.

Joung, C. B., Carrell, J., Sarkar, P., y Feng, S. C. (2013). "Categorización de indicadores para la fabricación sostenible". *Ecol. Indic.*, 24 (2013), pp. 148-157, 10.1016 / j. ecolind.2012.05.030.

Kaebernick, H., Kara, S., y Sun, M. (2003). "Desarrollo y fabricación de productos sostenibles considerando requisitos ambientales". *Robot Comp. Integ. Manuf.*, 19 (2003), pp. 461 - 468, 10.1016 / S0736 - 5845 (03) 00056-5.

Koho, M., Torvinen, S., y Romiguer, A. T. (2011). *Objetivos, facilitadores y desafíos del desarrollo sostenible y la fabricación sostenible: puntos de vista y opiniones de las empresas españolas*. IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM) (2011), págs. 1 - 6, 10.1109 / ISAM.2011.5942343.

Lafarge Holcim. (2017). *Integrado de Pérdidas y Ganancias 2015*. Disponible en: http://www.lafargeholcim.com/sites/lafargeholcim.com/files/atoms/files/06132016-press-lafargeholcim_integrated_profit_loss_statement_2015.pdf [mayo de 2017].

Linton, J., Klassen, R., y Jayaraman, V. (2007). "Cadenas de suministro sostenibles: una introducción". *J. Op. Manag.*, 25 (2007), pp. 1075-1082, 10.1016 / j.jom.2007.01.012

Madu, C. (2001). *Manual de Fabricación Consciente del Medio Ambiente*. Kluwer Publicaciones Académicas.

MEDIDA. (2017). *Módulo de formación sobre herramientas de análisis de decisiones multicriterio.* Disponible en: https://www.spire2030.eu/sites/default/files/project/measure/uploads/Modules/Mediaroom/measure-training-module-mcda.pptx [mayo de 2017].

Ruiz-Mercado, G. J., Smith, R. L., Gonzalez, M. A. (2012). "Indicadores de sostenibilidad para procesos químicos: I. Taxonomía". *Ing. Ind. Chem. Res.*, pp. 2309-2328.

Solvay. (2017). *Herramienta Solvay Sustainable Portfolio Management*. Disponible en: http://www.solvay.com/es/company/sustainability/sustainable-portfolio-management/index.html [mayo de 2017].

Tata Steel. (2017). *Tata Steel-Products Contribuing to Sustainability.* Disponible en: http://www.tatasteel.com/investors/annual-report201112/html/templates/pdf/principles/principle2.pdf [mayo de 2017].

Tufvesson, L. M., Tufvesson, P., Woodley, J. M., Borjesson, P. (2013). "Evaluación del ciclo de vida en la química verde: visión general de los parámetros e inquietudes metodológicas". *Int. J. Evaluación del ciclo de vida.*, 18 (2013), pp. 431-444.

Veleva, V., y Ellenbecker, M. (2001). "Indicadores de producción sostenible: marco y metodología". *J. Limpieza. Pinchar.*, 9 (2001), 10.1016 / S0959 - 6526 (01) 00010 - 5

World Business Council for Sustainable Development [WBCSD]. (2001). *The Business Case for Sustainable Development*. World Business Council for Sustainable Development; Geneva, Switzerland. Disponible en: www.wbcsd.org

Capítulo 9. Educación ambiental, retos y perspectivas en la formación profesional en la ingeniería

Luis Jonás González del Ángel[12]*, Blanca Patricia Rubio Lajas y Dionicio Morales Ramírez*

Resumen

Este escrito busca discutir e informar acerca de la importancia de la educación ambiental en la sociedad, los retos que como individuos tenemos lo que está pasando hoy en día en cuanto a medio ambiente en la ingeniera, cómo la educación ambiental puede contribuir en la la solución de problemas actuales y futuros desde el campo de la ingeniería.

Palabras clave: Educación Ambiental, Psicología-Ética y Moral (comportamiento), Sociología, Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable o Sostenible.

Introducción

Desde finales del siglo XX se empezaron a realizar cambios en cuanto a la investigación acerca del medio ambiente debido al aumento en el uso y escasez del petróleo, escasez de agua, contaminación de los océanos, la extinción de animales y plantas. A esto se suma la deforestación, el calentamiento global y el cambio climático; estos son indicadores de una problemática que está afectando a toda la humanidad. A los pobres y ricos, a los países desarrollados y a los que están en vía de desarrollo. La forma actual en la que se producen los bienes y servicios, los procesos contaminantes y a la falta de conciencia de la sociedad, contribuyen al deterioro del medio ambiente.

Este problema afecta a todos. Desde que inició el siglo XXI se empezaron a tomar medidas para ayudar a revertir efectos que son perjudiciales primeramente para el medio en que se habita y segundo para mantener o mejorar la calidad de vida que se tiene. Para esto se hicieron acuerdos como:

> […] La convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), [que es] el principal acuerdo internacional sobre acción por el clima. Fue uno de los tres convenios adoptados en la Cumbre de la Tierra celebrada en Río en 1992. Hasta la fecha ha sido ratificada por 195 países. Se inició como medio de colaboración de los países para limitar el aumento de la temperatura mundial y el cambio climático y hacer frente a sus consecuencias.

[12] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: ljonas@docentes.uat.edu.mx

También se realizan conferencias; ejemplo de esta es la Conferencia de París sobre el Cambio Climático (COP 21) y reuniones a nivel mundial en la cual destaca la Cumbre sobre la acción climática y el protocolo de Kioto.

Lo anterior, ha logrado que el tema de la sustentabilidad se involucre dentro de los planes educacionales, para fomentar una educación más consiente, desde los niveles escolares básicos en la generación de alumnos más recientes. La idea principal consiste en empoderar a los niños y jóvenes de la importancia del medio ambiente y de la explotación de los recursos naturales ya que de seguir actuando de manera irresponsable como actualmente se hace, el medio ambiente colapsará de manera más rápida. Lo que nos tendremos que preguntar o cuestionar es, si será suficiente lo que se ha empezado a hacer para comenzar un cambio hacia un mundo en donde el desarrollo sustentable sea parte de las sociedades como algo básico (Camarena, 2006).

Hábitos y desarrollo del ser humano

Los seres humanos, desde que nacemos, a lo largo de nuestro crecimiento y desarrollo, nos vemos afectados para descubrir, experimentar, fallar y encontrar parte de los que nos ayudará a elegir o hacer lo que queremos, para sentirnos realizados; esto puede variar desde un sentimiento, a algo material o estar en un lugar, entre otras cosas.

El ser humano en la mayoría de las veces va a actuar y desarrollarse conforme a las reglas o comportamientos de la sociedad en la que se encuentre; las personalidades, los pensamientos, las opiniones y las sociedades son diferentes, pero pueden tener similitudes.

> […] antes del incidente del 11 de septiembre el presidente de ese entonces de los Estados Unidos George W. Bush alegaba que el calentamiento global no existía por lo que abandonó un acuerdo internacional para su prevención mientras que en Inglaterra se tenían problemas en el campo debido a las consecuencias del calentamiento global (Mulberg, J., 2003).

Cuando a un pequeño se le explica algo, lo relaciona con las cosas que ve y escucha, por lo tanto, si desde temprana edad se le inculca el cuidado y responsabilidad de sus acciones sobre el medio ambiente, será más fácil que en su edad adulta, este lleve a cabo buenas prácticas para el cuidado de su entorno; por ejemplo, reciclar cosas, lavarse las manos y cerrar la llave de agua, apagar las luces de la casa cuando no sean necesarias, en otras palabras, actuar de manera pro-ecológica.

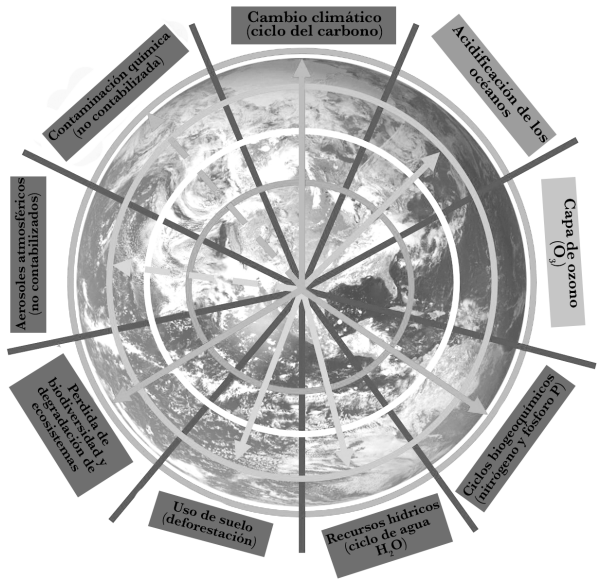
Por consiguiente, si se fomenta una conciencia pro-ecológica con las diferentes actividades que se realizan día con día, sin duda alguna, estas pueden hacer un cambio

a nivel individual, con la esperanza de que ese comportamiento vaya permeando hacia los demás integrantes de la familia y después a la sociedad. De esta forma, podríamos esperar que las decisiones que se tomen para resolver los problemas cotidianos y profesionales reflejaran determinada conciencia pro-ecológica (Pelton, 2016).

Situación actual

El crecimiento demográfico, los patrones de producción y consumo, la tecnología, el crecimiento económico, la urbanización y la globalización son fuerzas conductoras del cambio ambiental global, de acuerdo con la Prospectiva Ambiental 2030 de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (COPSUS, 2012). Dichas fuerzas conductoras ejercen presión sobre el medio ambiente y generan deterioro ambiental, por lo que los recursos naturales de la biosfera están llegando a su límite. Los seres humanos han roto los equilibrios dinámicos de los ciclos bio-geo-químicos del carbón, el nitrógeno, el fósforo y el agua; hemos vertido enormes cantidades de químicos y aerosoles a la atmósfera; los océanos se están acidificando; se ha destruido o perturbado más de la mitad de la cobertura vegetal terrestre original y, aunque la capa de ozono se recupera lentamente, hemos desatado la sexta gran extinción de biodiversidad en la historia de la tierra (COPSUS, 2012).

Imagen 1. Umbrales planetarios



Fuente: Extraído del trabajo de Rokstrom et al. (2009).

Los nueve indicadores presentados por Rokstrom et al. (2009) señalan que un exceso en cualquiera de ellos genera un desequilibro en el medio ambiente y pone en riesgo la sustentabilidad del planeta. En la Figura 1 se aprecian las transgresiones de todos los umbrales planetarios (primer círculo); cuatro de ellos se encuentran altamente excedidos -contaminación química, cambio climático, ciclos bio-geo-químicos y biodiversidad- y tres, medianamente -aerosoles, acidificación de océanos, uso de suelo y recursos hídricos-. La capa de ozono se encuentra en un nivel moderado. Por lo tanto, es necesario cambiar los patrones de conducta insustentables practicados hasta el día de hoy.

Lo anterior es alarmante, por lo cual, se debe actuar de manera inmediata para aminorar los daños que la producción y el consumo desmedido se encuentran provocando al medio ambiente. Chao-Neng (2012) señala que la forma de comportamiento de los individuos es un reflejo de la sociedad en la que se desarrollan y que dichos comportamientos tienen una base psicológica, por lo que algún cambio en alguna va a ocasionar un cambio en la otra, en un proceso de adaptación para poder coexistir.

Por ello, dentro de la formación educacional -en todos los niveles- de los individuos es importante estimular una conciencia en los alumnos con la implementación de materias que fomenten la búsqueda de soluciones, promover un cambio, crear conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y que, en la aplicación del conocimiento, mediante la implementación de proyectos, se busque siempre un desarrollo sustentable, entendiendo como sustentable, aquel desarrollo que cuida lo económico, lo social y lo ambiental, antes que otras cuestiones el interés monetario, cosa que en la actualidad nos rige (Galindo, 2009).

Cuando se tiene una escasez de algún elemento, como por ejemplo, el agua, se buscan maneras para gestionarla, cuidarla y preservarla, caso contrario que ocurre cuando se tiene abundancia de ella, ya que no existe una conciencia o idea de haber tomado medidas para preservarla, ya que comúnmente no se piensa a largo plazo sino a corto plazo, cosa que se puede ver en muchas situaciones del día a día.

El comportamiento actual

Debido a la globalización, con el desarrollo de nuevas tecnologías que facilitan la comunicación, existe un constante intercambio de información de todas partes del mundo, lo que facilita la realización de diversas investigaciones, y que la sociedades actuales se encuentren en una etapa de adaptación, donde los comportamientos que se empiezan a tener se conviertan en tendencia para después posicionarse como algo normal y básico (Prilleltensky, 2012).

La globalización, los fenómenos que ocurren por las actividades humanas, los diversos tratados y acuerdos para contrarrestar el daño ambiental, además del aumento por la investigación sobre desarrollo sostenible y sustentable en la que la calidad de vida mejore sin empeorarla o agraviarla. Para esto es muy importante la educación que se tiene, y la conciencia sobre el ambiente o espacio en el que nos encontramos, que si bien es algo difícil debido a las condiciones regidas por intereses políticos y monetarios basados muchas veces en las tendencias consumistas del capitalismo. Además, en muchas ocasiones para obtener una mayor ganancia se opta por lo más barato, en donde se piensa a corto plazo y no a largo plazo, lo que conlleva a consecuencias medio ambientales que se pagarán después (Sivapalan, 2017).

Ese comportamiento es el que se intenta cambiar y esto se puede lograr mediante la educación, y en especial la de carácter ambiental. Este tipo de materias que hacen que la persona desarrolle una tendencia a ver los problemas y el cómo solucionarlos o atacarlos de una manera integral, en la que se gestionen los recursos que se tienen, buscando formas para mitigar o en su caso evitar las externalidades negativas (Rocha, 2012). Estos cambios en los programas educacionales ya se empiezan a dar en la Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller" de la Universidad Autónoma de Tamaulipas dentro de las asignaturas como: Medioambiente y desarrollo sustentable, Profesión y Valores, Tamaulipas y sus retos.

Por consiguiente, el desarrollo de una buena ingeniería que ataque estos problemas requiere de profesionistas consientes, que conozcan las leyes que existen en su zona o país, además de temas de importancia global y locales que fomenten los conocimientos suficientes para promover cambios en la realización de un proyecto importante en el desarrollo tecnológico, industrial y civil para lograr un proceso de adaptación de la sociedad para un mejor crecimiento y cuidado de lo que nos rodea (Sivapalan, 2017).

Los retos en el progreso de la educación pro-ambiental

Se debe contar con una educación ambiental que genere o estimule una conciencia pro-ecológica o ambiental. Se espera que este tipo de cursos, ayuden a desarrollar dicha conciencia para que sea una de las cualidades que tengan los futuros ingenieros y profesionistas.

Se requiere de cambios trascendentales en la interdependencia ecológica, la justicia social para los pobres del mundo y los derechos humanos. Esto se logrará en la medida que las universidades dejen de ser instituciones de élite e inserten en su currículo el estudio de la naturaleza y el medio ambiente (Made, 2002), contribuyendo al desarrollo de habilidades interpersonales, a mejorar el desenvolvimiento al explicar alguna situación o problema, al pensar o plantear una

solución tanto de manera individual como en equipo. Es de vital importancia una capacidad para congeniar y adaptarse a las diversas maneras de pensar que existen, pero sin perder de vista los principios que el ingeniero debe tener a la hora de la resolución de problemas de manera sustentable y sostenible. Es muy importante incluir las cuestiones ambientales en la educación y en la sociedad, pues la tendencia marca que van a ser la base para la subsistencia y el desarrollo de las economías que se tienen actualmente y es allí donde radica la importancia de la educación ambiental en la ingeniería, así como en la formación como individuo. De esta forma, el ingeniero podrá generar proyectos multidisciplinarios donde contemple el entorno ambiental, económico y social del que estará rodeado (Galindo, J., 2009).

Conclusiones

Incluir la educación ambiental dentro de los programas educacionales, desde el nivel más básico hasta los estudios de posgrado, permite crear una conciencia dentro de los estudiantes, reforzar las ideas sobre ética y moral, que básicamente son los principios que tiene una persona al verse expuesta a diferentes influencias que la afectan en su crecimiento y desarrollo. Se espera que, a lo largo de toda su educación y al egresar de sus carreras profesionales, los futuros profesionistas tengan una sólida formación ambiental y una responsabilidad moral. Los estudiantes de ingeniería, se verán expuestos a situaciones en las que contemplen de manera integral, al planear o diseñar un proyecto o solución, lo económico, ambiental y social (Tonello, G. y Valladares, N., 2016).

Lista de referencias

Camarena, O. (2006). "La educación ambiental en el marco de los foros internacionales: Una alternativa de desarrollo". *Estudios Sociales*. 15.

Comités para la Sustentabilidad (COPSUS). (2012). *Día mundial del medio ambiente 2012*. México: Secretaría de Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

Galindo, J. (2009). "Ingeniería Social, Comunicología e Historia Oral. Contextos posibles para el desarrollo de un oficio emergente". *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas*. 15.

Made, N. (2002). *Educación superior, medio ambiente y reingeniería académica, Tomo II*. Santo Domingo, República Dominicana: Editora Aguiar, S.A.

Mulberg, J. (2003). "Book Review Essay: Environment and Sociology: The State of the Debate". *Global Environmental Politics - Glob Environ Polit*. 3. 125-142. 10.1162/152638003763336428.

Owens, S. (2016). *Science and environmental sustainability. Environmental Research Letters*. 11. 120203. 10.1088/1748-9326/11/12/120203.

Prilleltensky, I. (2012). "The What, Why, Who, and How of Globalization: What is Psychology to Do?" *Journal of Social Issues*. 68. 10.1111/j.1540-4560.2012.01766.x.

Rocha, E., Rodríguez, J., Martínez, E., y López, J. (2012). *Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza*. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 55, 56-61, 2012.

Rokstrom et al. (2009). "A safe operating space for humanity". *Nature*, 461, 471-475.

Sivapalan, S. (2017). "Sustainability, blended learning and the undergraduate communication skills classroom: negotiating engineering undergraduates' expectations and perceptions". *On the Horizon*. 25. 7-23. 10.1108/oth-08-2016-0045.

Tonello, G. y Valladares, N. (2016). *Environmental Studies: A Global Perspective.* Alemania: Beton- und Stahlbetonbau.

Capítulo 10. Vivienda tradicional sostenible en comunidades rurales de la zona Huasteca de Tamaulipas y Veracruz en México

Elda Margarita Hernández Rejón, Raúl Treviño Hernández y Teresa Sánchez Medrano

Resumen

En México, las comunidades rurales son áreas con riqueza ambiental, cultural y social; también son comunidades con alto grado de marginación, cuyos territorios y viviendas se han ido transformando. El sistema constructivo tradicional de las viviendas rurales de la región Huasteca ha sido a base del uso de materiales naturales locales como bambú, tierra, palma, entre otros; y del uso de técnicas tradicionales como el bahareque. Sin embargo, con el paso del tiempo se han ido perdiendo paulatinamente este tipo de técnicas constructivas, así como el uso de materiales regionales; siendo estos sustituidos por muros de block de concreto y techos cubiertos de lámina galvanizada.

El capítulo es producto del proyecto de Desarrollo Científico y Tecnológico para Atender Problemas Nacionales Conacyt denominado: "Tecnificación de los materiales regionales de la Zona Huasteca de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, para el mejoramiento de la vivienda rural. Análisis, diagnóstico y propuesta", en su primera fase.[13] El trabajo presenta la revisión del estado de la cuestión sobre la sostenibilidad en la vivienda tradicional y hábitat rural, y su vinculación con los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Finalmente se realiza una caracterización tipológica de la vivienda en la Huasteca Tamaulipeca y Veracruzana.
Palabras clave: Vivienda tradicional, sostenibilidad, región huasteca

Introducción

En México, el 22 por ciento de la población vive en zonas rurales (INEGI, 2010); muchas de estas comunidades están ubicadas en zonas de difícil acceso, lejos de vías de comunicación y de los centros urbanos, y con falta de servicios básicos de infraestructura. Son comunidades con algún grado de marginación, cuya población vive en condiciones mínimas de habitabilidad, principalmente por la precaria construcción de sus viviendas.

[13] Proyecto en el que participan dos Cuerpos Académicos de la UAT: CA-Diseño y Edificación Sustentable CA-UAT-75 y Planificación Territorial y Desarrollo Sustentable en áreas metropolitanas CA-UAT-89; y de la UASL: CA Hábitat sustentable CA_UATSLP-218. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: mrejon@docentes.uat.edu.mx

En 1996 la Declaración de Estambul de la ONU sobre asentamientos humanos planteaba que:

> […] el desarrollo rural y el desarrollo urbano son interdependientes. Además de mejorar el hábitat urbano, debemos tratar también de ampliar adecuadamente la infraestructura, los servicios públicos y las oportunidades de empleo en las zonas rurales, a fin de hacerlas más atractivas, de constituir una red integrada de asentamientos y de reducir al mínimo la migración de las zonas rurales a las urbanas. Es preciso prestar particular atención a los pueblos medianos y pequeños (Hábitat-ONU 1996).

Profundizar en el conocimiento vinculado al mejoramiento de la vivienda rural, el uso de materiales locales y la recuperación de técnicas tradicionales para la construcción de una vivienda sostenible, contribuirá no solo al incremento de la calidad de vida de los habitantes de las comunidades, sino también a la recuperación del patrimonio cultural edificado y la identidad rural de esta región, a la armonización con el entorno y en general al desarrollo y bienestar de las familias; como señala Hernández-Rejón (2017), las condiciones de habitabilidad influyen en la calidad de vida, bienestar y desarrollo de los individuos.

> La Huasteca, es una [amplia] región multicultural [que tuvo como antecedente el antiguo reino de Huastecapan, y] comprende la parte sur del estado de Tamaulipas, el norte de Veracruz, el oriente de San Luis Potosí, el norte del estado de Hidalgo, una porción norte de Querétaro y una pequeña porción del Norte de Puebla (INAH, 2008).

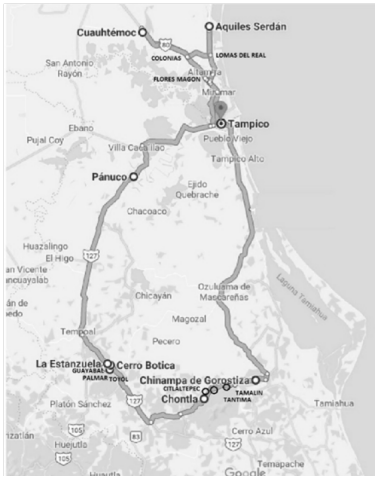
La vivienda rural tradicional de la región Huasteca corresponde a un sistema constructivo a base de muros de bambú y bahareque, piso de tierra o suelo-cemento, y techumbre de palma; sin embargo con el paso del tiempo, se han ido perdiendo paulatinamente este tipo de técnicas constructivas, así como el uso de materiales regionales; siendo estos sustituidos por muros de block de concreto y techos cubiertos de lámina galvanizada, lo que va en detrimento de la comodidad térmica, así como de la sostenibilidad en su construcción.

Aspectos metodológicos

El estudio se circunscribe al área que comprende la Huasteca Tamaulipeca y Veracruzana. Se pueden observar en la figura 1, las localidades seleccionadas para el estudio. En el área de Tamaulipas: Flores Magón, Lomas del Real, Aquiles Serdán, Villa Cuauhtémoc y Colonias en el municipio de Altamira. En la zona de la Huasteca de Veracruz las localidades son: Chontla, Las Sabinas-Citlaltepec-

El Naranjal, Tantima, Tamalín, Ceiba Ocampo, Toyolaquiche, Chinampa de Goroztiza, Llano de Bustos, Cerro Botica, El Toyol, Palmar Aquiche, Guayabal Aquiche, La Estanzuela y Pánuco.

Figura 1. Localidades rurales objeto de estudio



A partir de la conceptualización de vivienda rural y sostenibilidad, se identificaron los ODS vinculados a la construcción de una vivienda tradicional sostenible. Posteriormente, se realizó una revisión de la literatura sobre la vivienda tradicional en comunidades rurales de México, identificando aquellos casos de contextos similares a los de la región de estudio. Finalmente, con el objetivo de tener una panorámica organizada del conocimiento sobre la sostenibilidad de la vivienda tradicional y caracterizar su tipología, *se realizaron visitas de campo a las comunidades* seleccionadas en las que se observaron las viviendas y sus características constructivas.

La vivienda en el ámbito rural

En México, la vivienda enfrenta diversos retos, como la demanda actual, el acceso a vivienda asequible, segura, resiliente y sostenible para la población de escasos recursos, y en el ámbito rural los desafíos son aún mayores.

La vivienda además de una necesidad básica constituye una de las características de la cultura, siendo un elemento que se integra al entorno y que dice mucho sobre el mismo (Hernández, 2010, citado por Juárez-Flores et al., 2018).

Los asentamientos y la forma de vida rural y urbana han sido diferenciadas y se han clasificado de manera general, por el número de habitantes, actividades productivas, así como las dinámicas socio-culturales. Autores como Sorokin y

Zimmerman (1928) observaron algunos aspectos que diferenciaban la forma de vida rural y urbana, como: tamaño de la comunidad, densidad de población, homogeneidad, empleo, medio ambiente, diferenciación social, movilidad y sistemas de interacción.

En México el Consejo Nacional de Población describe una comunidad rural como una "población distribuida en pequeños asentamientos dispersos, de baja densidad, con predominio de las actividades primarias". Sin embargo, el criterio oficial utilizado actualmente en México es determinado por INEGI, que define una localidad rural aquella con una población menor a 2500; mientras que una localidad urbana es aquella en donde habitan más de 2500 personas.

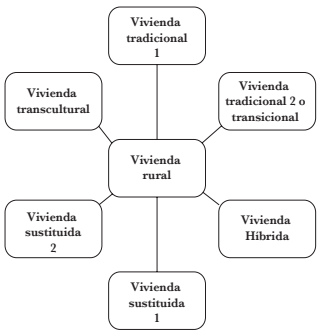
De acuerdo con el Coneval (2018), existe un rezago importante en materia de mejoramiento de vivienda y acceso y disponibilidad de infraestructura básica y complementaria, ligado al alto índice de pobreza y marginación, en el ámbito rural y mucho más pronunciado entre las comunidades indígenas.

Además, el ámbito rural está identificado como uno de los cinco grupos prioritarios para el Estado en lo que al derecho a la vivienda digna y decorosa respecta. Particularmente se reconocieron brechas en aspectos como: condiciones y calidad de los materiales de la vivienda, hacinamiento y servicios básicos como agua, drenaje y alcantarillado (Coneval, 2018)

La idea general de una vivienda rural es relacionada a la población campesina o indígena, aisladas o dispersas en áreas alejadas de las zonas urbanas, una vivienda autoconstruida, con características constructivas sencillas, elementos rústicos y precarios (González, 2001).

Sin embargo, de acuerdo con sus características y elementos constructivos, autores como Rotorando y Mellace (2000) la clasifican en Tradicional y Transicional. Otros autores (Espuna, 2010) amplían esta clasificación (ver figura 2).

Figura 2. Tipología vivienda rural



Fuente: Elaboración propia, con base en Rotorando y Mellace (2000), y Espuna (2010)

En la figura se observan los diferentes tipos de vivienda rural, los cuales se caracterizan de la siguiente forma:

Vivienda Tradicional 1: se caracteriza por el uso de materiales naturales locales y el empleo de sistemas constructivos artesanales diversos como muro de varas o varejones, carrizo, otate, raja de palma y techos de hoja de palma tejidos.

Vivienda Tradicional 2 o Transicional: se caracteriza por el uso de materiales naturales locales y el uso de sistemas constructivos varios, e incorpora materiales industrializados como lámina de cartón o galvanizada.

Vivienda Híbrida: se caracteriza por tener planta rectangular, los muros se sustituyen por el block de concreto, y el techo mezcla componentes, por ejemplo, estructura de otate con techo de lámina.

Vivienda Sustituida 1: construida casi en su totalidad con materiales industrializados, los muros son de block de concreto, el techo de lámina galvanizada acanalada, pero la estructura del mismo suele ser con material vegetal como el otate o el bambú.

Vivienda Sustituida 2: construcción en general de origen cementante, muros de block de concreto y losa de concreto.

Vivienda Transcultural: aparece producto de la mezcla cultural, la migración, la búsqueda de la solidez e incremento en la "calidad" de la vivienda; incorpora la "modernidad" de los nuevos materiales y tipologías urbanas, que ocasiona una pérdida de la riqueza arquitectónica y cultural en las comunidades rurales.

Vivienda rural y los objetivos de la Agenda 2030

La definición de vivienda adecuada y su vínculo con la sostenibilidad, ha evolucionado con el paso del tiempo, desde 1976 en la Declaración de Vancouver sobre los asentamientos humanos (Hábitat I), hasta el 2016 en Hábitat III, en donde surge la Nueva Agenda Urbana (NAU), y se coloca a la vivienda adecuada en el centro del desarrollo sostenible.

La Agenda 2030 considera que la vivienda y los asentamientos humanos son instrumentos para el cumplimiento de sus objetivos y metas, así como para garantizar el cumplimiento de otros derechos humanos. En este sentido, la vivienda se convierte en un elemento central del desarrollo sostenible (ONU-Hábitat, 2018).

La desigualdad socio-territorial, y el rezago habitacional impacta particularmente al ámbito rural. A partir del análisis de las metas de los ODS y su vínculo con la vivienda rural sostenible específicamente, se identifican las relaciones y oportunidades para el cumplimiento de los objetivos, una síntesis de este análisis se presenta en la figura 3.

Figura 3. Vivienda rural y ODS

Fuente: Elaboración propia con base en ONU-Hábitat (2018)

Resultados: vivienda tradicional sostenible por regiones de México

En México existe una gran diversidad cultural, climática y de biodiversidad que impactan en el diseño, materiales y construcción de la vivienda. En las comunidades rurales, las viviendas han sido en su mayoría auto-producidas y las técnicas y procedimientos para su construcción han sido aprendidas de manera empírica y se ha transmitido ese conocimiento social por tradición de padres a hijos.

El concepto de sostenibilidad en la vivienda implica, de acuerdo con Lárraga, R. (2014):

> […] Continuidad en el uso tradicional del conocimiento constructivo.
> Continuidad en la conservación del conocimiento arquitectónico ancestral.
> Continuidad en el uso de diversos materiales naturales locales.
> Poca o nula dependencia externa de materiales industrializados
> y conocimientos constructivos.

Costos de construcción concordantes con el contexto económico de la comunidad.
Existencia de participación recíproca, que reduce los costos de construcción y que fomenta la continuidad de prácticas solidarias tradicionales.
Conservación del conocimiento local, transmitido de generación en generación.
Participación familiar en los procesos de autoconstrucción.

La vivienda tradicional en México tiene diversas características de acuerdo con la región en donde se ubica; a continuación se describen algunos ejemplos.

En la península de Yucatán y sureste. Influenciada por la cultura maya, las casas son de una sola pieza, de planta rectangular y en su mayoría con cabeceras semicirculares, no tienen ventanas y sólo una puerta en el lado oriente, aunque algunas de estas colocan dos puertas a la mitad de ambos lados. Los materiales más usados, para el techo son palma y zacate, para aplanado de paredes se usa un producto arcilloso plástico resultado de la tierra colorada, agua y desperdicios de paja, llamado embarro. En la estructura de la casa no se utilizan clavos ni tornillos para unir sus partes, únicamente lianas y bejucos para su amarre. El procedimiento de construcción de este tipo de vivienda es llamado Bajareque. Las viviendas en general poseen regular estabilidad ante huracanes.

En la Región Tarahumara. Localizadas de manera dispersa en las alturas de la Sierra Madre Occidental. En su mayoría son casas unicelulares con techos de ramas o tabletas cubiertas de lodo, también hay viviendas hechas con materiales pétreos y vegetales de mala calidad. Se utiliza la madera de pino en los muros y techo de la casa. Los techos son de una sola agua, con pendiente para eliminar las aguas pluviales, los muros son aplanados con lodo o barro mezclado con paja, lo que evita el paso del viento.

En las costas de Guerrero y Oaxaca. Viviendas ubicadas en las costas de Guerrero y Oaxaca, en su mayoría son parecidas, aunque se encontró un tipo de casa llamado "redondo", como caso aislado, originado por la influencia de los esclavos traídos por los españoles, posteriormente fue un modelo imitado en parte por grupos amuzgos, mixtecos y triquis. La estructura de las paredes es por medio de horcones, y los muros de bajareque, cubierta de manojos de zacate o paja.

En la Región del Altiplano. La región comprende parte de los estados de Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán. Los materiales principales son el adobe, la piedra y la teja. En general las casas son de muros de madera y techos de paja, otras con paredes de adobe y techos de paja (Maya, 1982).

Caracterización de vivienda sostenible en la región Huasteca

La vivienda de la región Huasteca, que abarca parte del oriente del estado de San Luis Potosí, del norte de Veracruz y del sur de Tamaulipas, se distingue de otras regiones de México por la utilización de una planta similar al carrizo y al bambú, llamada otate. Los pobladores de la región desarrollaron un procedimiento de construcción en el que aprovechan todo el otate, para resistir a las diferentes cargas y esfuerzos que van a soportar. También se utilizan horcones de madera como elementos estructurales. Algunas viviendas tienen planta rectangular alargada, con techos de cuatro aguas, aunque algunas con techos de forma cónica. En algunas viviendas también es utilizado el Bajareque (ver figura 4, 5).

Figura 4. Vivienda tradicional 1, de la Huasteca veracruzana

Fuente: Elaboración propia (2019).

Figura 5. Vivienda tradicional 2, de la Huasteca Veracruzana

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la zona de estudio se observan viviendas con sistemas híbridos en su construcción donde el uso de materiales regionales típicos de cada zona ha quedado en desuso. En las figuras 6, 7 y 8 se pueden observar viviendas híbridas, sustituida y transcultural.

Figura 6. Vivienda híbrida en la Huasteca veracruzana

Fuente: Elaboración propia (2019).

Figura 7. Vivienda transcultural en la Huasteca Veracruzana

Fuente: Elaboración propia (2019).

A manera de conclusión

El conocimiento de las características constructivas de las viviendas rurales de la región de estudio supone una contribución, por un lado, al estado de la cuestión, y por otro, a la identificación de las debilidades técnicas y constructivas de las viviendas, lo que permitirá al equipo de trabajo, integrar recomendaciones técnicas y prácticas para mejorar los procedimientos constructivos; así como para diseñar un prototipo de vivienda rural sustentable.

Lista de referencias

CONAPO. (2011). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. México

CONEVAL. (2018). *Estudio diagnóstico del Derecho a la vivienda digna y decorosa 2018.* Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo social. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos_Sociales/Estudio_Diag_Vivienda_2018.pdf

González, C. (2001). *Vivienda rural en México. Vivienda rural y calidad de vida en los asentamientos rurales*. Santiago de Cuba: Cyted-Habyted.

Hernández, E. (2010). *El problema de la vivienda marginal en México*. Citado por: Juárez-Flores, Hernández-Rejón, E. y Maycotte (2018). En García, V. et al. *Tópicos de la Vivienda. Una visión desde la sustentabilidad y la habitabilidad*.

Hernández-Rejón, E. M. (2017). *Desarrollo y calidad de vida urbana en el Estado de Tamaulipas, Cap. VIII*. pp. 34-54. En: M. E. González-Ávila y A. Ortega-Rubio (eds.). *Desarrollo sustentable y calidad de vida: retos para el norte de México*. Tijuana, Baja California, México: El Colegio de la Frontera Norte. 425 pp.

INAH. (2008). *La huasteca: región multicultural, en boletines*. Disponible en: https://inah.gob.mx/boletines/3099-la-huasteca-region-multicultural

INEGI. (2010). *Conteo de población y vivienda 2010*.

Lárraga-Lara, R. et al. (2014). "La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del Estado de la Cuestión en el mundo". *Revista Arquitectura, 16, 126-133.* DOI:10.14718/RevArq.2014.16.14

Maya, V. (1982). *La vivienda indígena de México y el mundo.* México, D.F.: Arquitectura, UNAM.

ONU. (1996). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos. Hábitat II*. Disponible en: https://bit.ly/2T1rrcu

ONU. (2015a). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.* Asamblea General de las Naciones Unidas. Organización de las Naciones Unidas. Disponible en: https://bit.ly/2APa8W3

ONU-Hábitat y SEDATU. (2018). *Vivienda y ODS en México.* Disponible en: file:///d:/proyecto%20conacyt%202018-2019%20%20fadu-uasl-fi/lecturas/vivienda_y_ods.pdf

Rotondaro, R. y Mellace, R. (2000). *Tecnología en la vivienda rural en Iberoamérica*. En J. González y M. Villar (Eds), *II Seminario y Taller iberoamericano sobre vivienda rural y calidad de vida en los asentamientos rurales* (Vol. 1, pp. 243-248). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Capítulo 11. Cuantificación en la diferencia de la huella de carbono por medio de la transversalidad en el diseño de tres edificios, utilizando los métodos dinámicos elástico lineal e inelástico no-lineal en Tampico, Tamaulipas

Marcos Alfredo Azuara Hernández[14], Rodolfo Garza Flores y Alan Ramírez Reyes

Resumen

Se presenta el estudio de la huella de carbono (HdC) generada en la construcción de diferentes estructuras, donde se compara la cantidad de material obtenido de su diseño estructural, utilizando métodos de análisis de las acciones dinámicas recomendadas por las Normas Técnicas Complementarias en su versión 2017 (Gaceta Oficial de la Ciudad de Mexico, 2017), como el método paso a paso que toma en cuenta el comportamiento lineal y no-lineal de los materiales; en este caso, el concreto en iteración con el acero de refuerzo. Se toman en cuenta tres modelos estructurales, edificios de 10, 20 y 30 niveles con la hipótesis de que el beneficio del uso de un método dinámico no-lineal no siempre es aplicable respecto al ahorro de material y generación de huella de carbono. A partir de estos resultados, se mide el dióxido de carbono (CO_2) generado para el abastecimiento del material contemplado para la construcción de estos; se comparan y se buscan los beneficios del uso de los métodos lineales y no-lineales para cada tipo de caso. La HdC se mide a partir de métodos de estimación recomendados para cuantificarla, como el protocolo GEI (Valderrama, 2012).

Palabras clave: huella de carbono, análisis dinámico, gases de efecto invernadero, cuantificación.

Introducción

La huella de carbono (HdC), definida de forma general como la representación de los gases de efecto invernadero (GEI) que son emitidos a la atmósfera producto de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios. La HdC es considerada una de las herramientas para cuantificar las emisiones de estos gases. Los GEI, definidos en el protocolo de Kioto en 1997, forman una capa permanente en la parte media de la atmósfera, que impide que la radiación solar devuelta por la tierra pueda salir; en consecuencia, la temperatura bajo la capa aumenta (Valderrama, 2012).

Se han desarrollado varias herramientas para cuantificar el nivel de emisiones de GEI de individuos, organizaciones y unidades administrativas o territoriales tal

[14] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: mazuara@docentes.uat.edu.mx

y como lo es la HdC. La HdC suele ser un indicador en el cual los países se han preocupado a lo largo del tiempo, motivando a las empresas a ser competitivas en la disminución de su producción, reduciendo, modificando y optimizando los procesos internos dentro de las organizaciones (Peters, 2009).

El origen del efecto invernadero se da debido a que la energía que llega del sol está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera sin mucha resistencia. La energía remitida hacia el exterior, desde la tierra la conformada por ondas de frecuencia más bajas, y es absorbida por los gases, produciendo el efecto invernadero (Matthews, 2008). Esta retención de energía hace que la temperatura debajo de la capa de los GEI esté en aumento constante. No todos los GEI tienen la misma capacidad de provocar este efecto ya que la intensidad depende de la frecuencia de radiación y el tiempo promedio de calentamiento que puede causar, a esto se le llama "Potencial de calentamiento global" (PCG) por sus siglas en ingles (Schwartz, 2018)

Tabla 1. Potenciales de contribución al calentamiento global, relativos al CO_2, al que se le asigna valor 1 (adaptada de Peters., 2009)

Principales gases de efecto invernadero					
Nombre del gas	Concentración preindustrial (ppmv*)	Concentración en 1998 (ppmv)	Persistencia en la atmósfera (años)	Principal actividad humana que lo genera	Potencial de calentamiento pcg**
Dióxido de carbono (co2)	280	365	Variable	Combustibles fósiles, producción de cemento, cambios del uso de suelo	1
Metano (ch4)	0.7	1.75	12	Combustibles fósiles, arrozales, vertederos, ganado	21
Óxido nitroso (n2o)	0.27	0.31	114	Fertilizantes, procesos de combustión industriales	310
Hfc 23 (chf3)	0	0.00014	250	Electrónica, refigerantes	12
Hfc 134 a (cf3ch2f)	0	0.0000075	13.8	Refigerantes	1.3
Hfc 152 a (ch3chf2)	0	0.0000005	1.4	Procesos industriales	12
Tetrafluor-metano (cf4)	0.0004	0.00008	>50	Producción de aluminio	5.7
Hexafluoretano (cf4)	0	0.000003	10	Producción de aluminio	11.9

Principales gases de efecto invernadero					
Nombre del gas	Concentración preindustrial (ppmv*)	Concentración en 1998 (ppmv)	Persistencia en la atmósfera (años)	Principal actividad humana que lo genera	Potencial de calentamiento pcg**
Hexafluoruro de azufre (sf6)	0	0.0000042	3.2	Fluidos dieléticos	22

Métodos de cálculo de la huella de carbono

Actualmente existen cuatro métodos principales para el cálculo de la HdC en empresas, organizaciones, servicios, procesos y productos. Estos métodos utilizan fundamentos muy similares para la obtención de datos, como el análisis de ciclo de vida del producto. Una vez que se esquematiza el ciclo de vida del producto, desde que se extraen las materias primas necesarias para su fabricación hasta el lugar de su disposición final, cada método usa un enfoque diferente. La primera diferencia tiene lugar en la limitación del alcance de la empresa, es decir hasta dónde las emisiones de otros procesos influyen en el proceso en estudio. Una vez que se tiene el proceso bien delimitado, se extraen datos diferentes del proceso, para cada método de determinación. Estos pueden ser el protocolo GEI y el Balance de carbono utilizado con un enfoque corporativo donde el primero es el resultado de un aporte multinacional, mientras el segundo es de origen francés. Las especificaciones públicamente disponibles (PAS 2050), son utilizadas principalmente para el cálculo de la HdC en productos. Mientras el método compuesto de las cuentas contables (MC3) se utiliza con un enfoque corporativo y también es utilizado en productos (Matthews, 2008).

El Protocolo de Gases Efecto Invernadero (*GHG Protocol*, por sus siglas en inglés) fue implementado en el 2001 por el Consejo Mundial de Negocios por el Desarrollo Sustentable (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) y por el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, WRI) que tiene como meta el establecimiento de bases para la contabilización de emisiones de los GEI.

Es fruto de una colaboración multilateral entre empresas, organizaciones no-gubernamentales y gobiernos. Esta iniciativa cuenta con el apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (United States Agency for International Development, USAID) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, USEPA). El protocolo de GEI es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (*software*) de cálculo de emisiones de GEI. El protocolo GEI ha logrado un alto nivel de reconocimiento a escala mundial y

aparece como la principal referencia, junto con los estándares ISO 14064. Además de constituirse como referente en términos de lineamientos generales, el protocolo GEI también ha desarrollado un conjunto de herramientas (*software*) para el cálculo de la HdC inicialmente de empresas. La popularidad y el reconocimiento del protocolo GEI, y por supuesto el carácter de gratuidad de las aplicaciones, ha concretado el éxito y alta demanda de ellas (Moussavi-Nadoushani, 2015).

Metodología

Para el estudio de la HdC en la construcción se utilizaron 3 modelos con alturas diferentes (10, 20 y 30 niveles), localizados en Tampico, Tamaulipas, México. Para su diseño se empleó el método paso a paso de acuerdo a las recomendaciones del Reglamento de construcciones del Distrito Federal (RCDF, 2017) y el manual de diseño por sismo y viento de la Comisión Nacional de Electricidad (MDS CFE, 2008 y MDV CFE, 2008), obteniendo los acelerogramas y espectros de diseño según el Programa de diseño sísmico (PRODISIS) (Reyes, 2017).

Cada modelo fue diseñado con dos enfoques diferentes, planteando su respuesta dinámica con el comportamiento de los materiales de forma elástica y de forma inelástica, por lo que se utilizó un método dinámico paso a paso elástico lineal e inelástico no lineal para cada caso. Se modelaron 3 edificios de 10, 20 y 30 niveles sobre el nivel de calle. Dichas estructuras comparten la misma distribución de los elementos estructurales de planta, así como un área de proyecto rectangular con dimensiones 64 por 45 metros, que cuentan con 9 ejes longitudinales con distancias de 8 metros y 6 ejes transversales con distancias de 9 metros. Los edificios tienen elevaciones a partir del nivel de calle al primer piso de 4.5 metros, y los demás entrepisos una diferencia de elevación de entrepisos de 3.5 metros. Los edificios serán propuestos para uso de oficinas con azotea con pendiente no mayor al 5% sin cargas adicionales. En respuesta se obtuvieron los resultados de secciones transversales en columnas mostrados a continuación (Reyes, 2017).

Tabla 2. Secciones de diseño y cantidad de acero transversales en cada nivel para cada método en los 3 modelos propuestos

	30 niveles		20 niveles		10 niveles	
Nivel	Elástico lineal	Inelástico no lineal	Elástico lineal	Inelástico no lineal	Elástico lineal	Inelástico no lineal
Story30	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story29	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story28	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story27	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story26	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story25	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story24	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story23	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story22	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story21	80x80x44#10	70x70x36#10				
Story20	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story19	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story18	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story17	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story16	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story15	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story14	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story13	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story12	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story11	90x90x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10		
Story10	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story9	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story8	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story7	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story6	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story5	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story4	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story3	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story2	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	90x90x60#10	70x70x36#10
Story1	110x110x68#10	110x110x68#10	100x100x60#10	90x90x60#10	110x110x68#10	70x70x36#10

Las secciones resultantes tuvieron una capacidad de trabajo entre el 90 y 95% en el caso de vigas y otros elementos no fueron contemplados para el cálculo de la HdC.

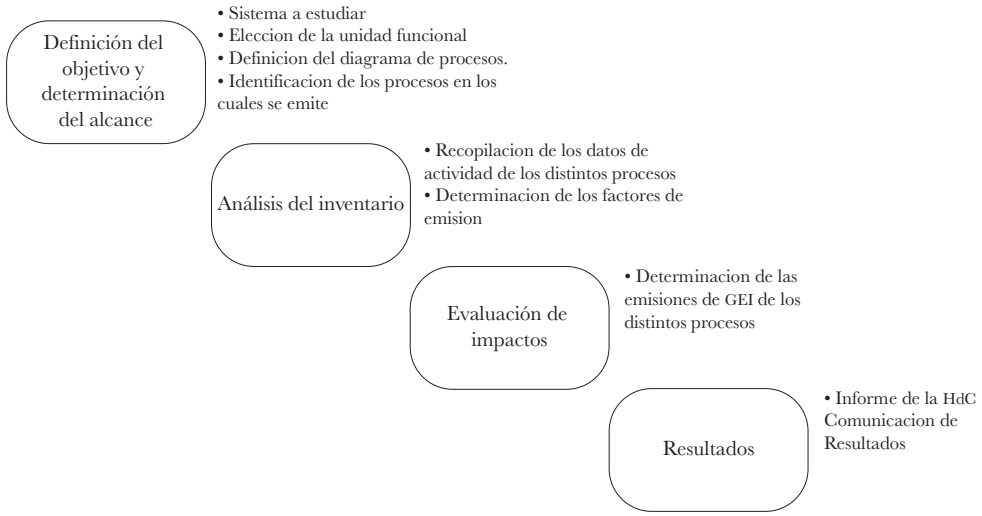
Para el cálculo de la HdC se utilizaron las herramientas disponibles del GHG Protocol (Protocolo del GEI), para el cálculo de los diferentes procesos o alcances.

Figura 1. Alcances para el cálculo de la Huella de Carbono dentro del protocolo GEI

Alcance 1 : Emisiones directas. Son los gases de efector invernadero emitidos de forma directa por la organización el uso de combustibles fosiles o perdidas de gases refrigerantes.	Alcance 2. Emisiones Indirectas. Electricidad: Son los gases de efecto invernadero emitidos por el productor de la energia que requiere la organizacion.	Alcance 3. Emisiones Indirectas. Son los gases de efecto invernadero derivadas de la adquisicion de productos y servicios asi como la gestion de los residuosque genera la organizacion.

Los principios que deben guiar la determinación de la HdC son: El enfoque de ciclo de vida, Referencia a la unidad funcional, el Enfoque científico, Relevancia, Coherencia, Precisión, Transparencia, Evitar la doble contabilización. La siguiente ilustración muestra el procedimiento para la cuantificación de la HdC que se utilizó:

Figura 2 Metodología para la cuantificación de la Huella de Carbono



Se siguieron los pasos descritos anteriormente, utilizando datos de empresas, distancias y sus localizaciones, así como cantidades resultantes de la cuantificación de los volúmenes de materiales ocupados para la construcción de cada edificio con las restricciones ya mencionadas.

Resultados

Una vez expuestos los resultados siguiendo la metodología descrita, se pudieron obtener las cantidades en kilogramos equivalentes de CO_2 (Kg eq. CO_2) y la contribución de cada material y procedimiento que tuvo lugar dentro de la construcción de cada edificio. Para representar estos valores se presentan las siguientes gráficas con el fin de resumir los resultados. La primera muestra la comparación de la HdC total entre métodos y modelos mientras que las siguientes gráficas muestran la cantidad de HdC en Kton de CO_2 por cada insumo en cada modelo.

Figura 3. HdC en Kton de CO_2 para cada modelo según el análisis por el método de protocolo GEI

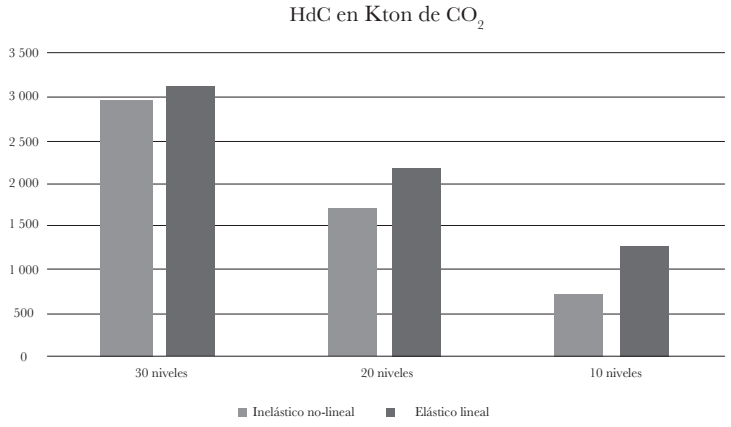


Figura 4. HdC de principales insumos en la construcción para los modelos diseñados con el método dinámico inelástico no-lineal

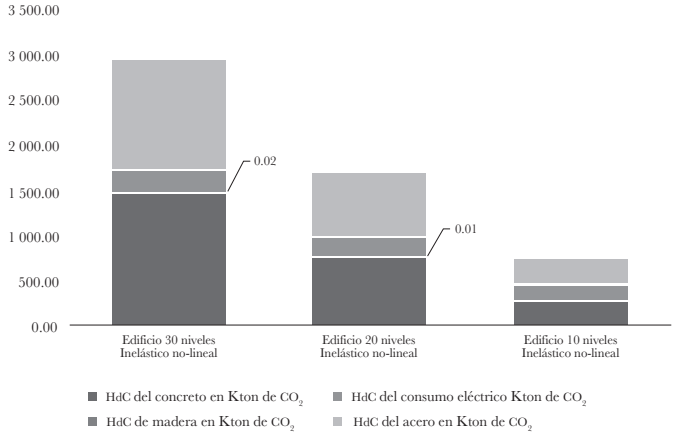
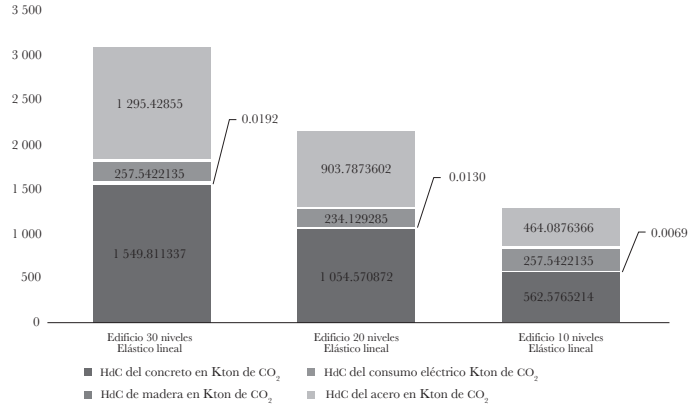


Figura 5. HdC de principales insumos en la construcción para los modelos diseñados con el método dinámico elástico lineal



Conclusiones

Comparando los datos obtenidos en los resultados se puede observar que la diferencia entre la cantidad de HdC en Kton de CO_2 disminuye mientras que la altura de los modelos aumenta. Teniendo estos indicadores en cuenta podemos ver en la siguiente tabla que el consumo energético para el desarrollo de los insumos que componen los edificios disminuye en gran medida cuando rondan alrededor de los 10 niveles, mientras que esta diferencia se iguala cuando los edificios aumentan hasta una altura de 30 niveles, por lo que la HdC es similar con una diferencia del 4.75%.

Tabla 3. Porcentaje de ahorro de HdC entre el método dinámico no-lineal y el método dinámico lineal

Modelo	%
30 niveles	4.759
20 niveles	22.865
10 niveles	43.894

A partir de esto, podemos asumir que la utilización de métodos más finos para el diseño de estructuras en edificios entre 10 y 20 niveles reduce de manera eficaz la HdC, así como el consumo energético dentro de la construcción de estas estructuras.

Lista de referencias

Gaceta Oficial de la Ciudad de Mexico. (2017). *Reglamento de construccion para la Ciudad de México.* Ciudad de México.

Gonzalez, J. M. (2006). "Cálculo y verificacion de la huella de carbono. Acciones de reducción de emisiones". *Nuestras expectativas y necesidades de la sociedad y las empresas en materia de sostenibilidad*.

Ibañez, J. A. (2015). "Cálculo de la huella de carbono". *ABC asesoramiento ambiental*.

Matthews, C. T. (2008). "The importance of carbon footprint estimation boundaries". *Environmental science and technology*.

Peters, E. G. (2009). "Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis". *Enviromental Sci. Techonologies*.

Reyes, A. R. (2017). *Transversalidad en la comparación del análisis y diseño de edificios tridimensionales de concreto reforzado considerando su comportamiento elástico lineal e inelástico no-lineal por el método paso a paso.* Tampico, Tamaulipas: Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Schwartz, R. R. (2018). "The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings - A systematic review of case studies". *Renewable an Sustainable Energy Reviews*.

Sungho-Tae, C. B. (2010). "Life cycle CO_2 evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete". *Enviromental Impact Assessment Review*.

Valderrama, C. E. (2012). "Huella de Carbono Parte 1: Conceptos, Métodos de estimación y complejidades Metodológicas". *Información Tecnológica Vol 23*.

Wang, X. Z. (2015). "Life-cycle assessment and control measures for carbon emissions of typical buildings in China". *Building and Environment*.

Xin Zhao, H. M. (2015). "Structural System Embodied Carbon Analysis for super tall Buildings". *ScienceDirect*.

Zahra, S. y Moussavi-Nadoushani, A. A. (2015). "Effects of tructural system on the life cycle carbon footprint of buildings". *Energy and Buildings.*

Parte 3:
Recursos Naturales

Capítulo 12. Contribución de análisis de la calidad del agua en la Cuenca Alta del Río Soto la Marina

Luis Antonio Vázquez Ochoa[15], *Rocío del Carmen Vargas Castilleja*[16], *Ricardo Tobías Jaramillo*[17] *y Gerardo Sánchez Torres Esqueda*[18]

Resumen

El análisis de la calidad del agua en condiciones cambiantes del clima es un tema esencial en la gestión de los recursos hídricos. En el centro de Tamaulipas se encuentran extensos ríos que presentan en sus orígenes una excelente calidad del agua, lo que permite hacer uso del recurso para cualquier clase de actividad socioeconómica y coadyuvar a la preservación ecológica, sin embargo, esta condición cambia en el transcurso de su cauce. Dentro de las principales corrientes destaca el río Corona, que cuenta con un área total de cuenca de 5605 km^2, es un importante afluente que aunado a los ríos Purificación y Pilón conforman los principales tributarios que dan origen al río Soto La Marina. Las descargas en la Cuenca Alta del Río Soto la Marina (CARSLM) provienen principalmente de Ciudad Victoria hacia el río Corona, tributario de la presa Vicente Guerrero. El agua en estos tramos es usada para consumo humano, agrícola, piscícola y pecuario. Un tema poco abordado, es el análisis del estado que guardan estos tramos de río, mediante un estudio amplio de medición de parámetros. El objetivo de la investigación fue analizar el comportamiento de las varianzas mediante el método de Componentes Principales de los parámetros fisicoquímicos de la Red Nacional de Monitoreo de CONAGUA, tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura, pH, Nutrientes como nitrógeno total, nitratos y fosfatos, para determinar su correlación y la influencia como contaminantes o como la expresión de los mismos, para comparar los resultados con los criterios normativos en materia de salud pública para fuentes de abastecimiento de agua de poblaciones y conservación de los ecosistemas. Cómo rasgo general se observó que el OD, DBO y DQO presentan una independencia entre ellos, aunque existe interrelación biológica y química. Un adecuado planteamiento de los análisis multivariantes a los parámetros de calidad del agua puede fortalecer

[15] División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: luis.vazquez@itvictoria.edu.mx

[16] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas.

[17] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas.

[18] Ingenieros sin fronteras México, A.C.

las acciones de preservación de los servicios ambientales en la CARSLM, sin embargo, se requiere llevar a cabo un monitoreo puntual y estacional en los tramos para conocer el comportamiento completo de estos y más parámetros de la calidad del agua. Finalmente, este tipo de estudios asociados a trabajos hidrológicos y climatológicos específicos, contribuyen a reducir la vulnerabilidad del recurso agua ante los efectos del cambio climático, pues permite proponer políticas para mitigar el deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua para el desarrollo económico y social, y con ello la preservación de la salud pública.

Palabras clave: Calidad del Agua, Análisis Multivariados - Análisis de Componentes Principales, Cuenca Alta del Río Soto la Marina.

Introducción

El valor que tiene el agua como un recurso natural es fundamental para la vida y el sostenimiento del planeta, pues soporta los sistemas biológicos y está estrechamente relacionada al desarrollo económico y social. El desafío que implica la conservación de los ecosistemas acuáticos y la gestión del agua radica en el monitoreo y evaluación constante de las condiciones espacio-temporales del agua, tanto en términos hidráulicos como en el comportamiento de parámetros fisicoquímicos, con la ayuda de técnicas estadísticas que permitan conocer con certeza la calidad del agua (Gómez y Peñuela, 2016), sin dejar aún lado la participación social (Gil y Reyes, 2013).

El Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas señala que existen alrededor de 1.4 billones de km^3 de agua y de estos, solamente el 2.5% es agua dulce que conforma los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, resaltándose que menos del 1% es aprovechable para el ser humano, es decir, sólo el 0.01% de toda el agua en el planeta, panorama que sensibiliza sobre la importancia de su buen uso y cuidado. En México, la distribución del agua es heterogénea, considerándose que 2/3 partes del agua aprovechable se encuentra en el sur del país, siendo la región norte la menos favorecida.

A nivel de cuenca, la presión de las demandas de agua para actividades socioeconómicas lleva al extremo las capacidades de suministro y conservación del recurso, agravándose por vertimientos de aguas residuales y cargas contaminantes de diversos orígenes que limitan los servicios ambientales que puedan ofrecer. Más de 70% de los cuerpos de agua presentan algún grado de contaminación ocasionando graves problemas de disponibilidad y uso seguro del recurso. Las mediciones de la calidad del agua en México son insuficientes e incluso equivocadas en algunos casos (Martínez, Díaz y Moeller, 2019).

Así mismo, debido a la importancia del recurso agua, la ONU ha declarado el periodo 2018-2028 como el decenio internacional para la acción-agua para el desarrollo sostenible, por lo que se deben consolidar los trabajos para proteger y lograr la conservación del denominado "recurso más valioso".

Bajo un contexto de cambio climático, creciente demanda de agua, crecimiento de población y, por consiguiente, de actividades económicas, se propone desarrollar la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicada a los resultados de los parámetros fisicoquímicos de la Red Nacional de Monitoreo (RNM) para determinar su comportamiento e interrelaciones en la Cuenca Alta del Río Soto la Marina (CARSLM), así como determinar la correlación de los parámetros de calidad del agua y su influencia con la presencia de contaminantes. La CARSLM ha sido abordada en términos de cantidad de agua y comportamiento hidrológico, dejando a un lado el análisis puntual de la calidad del agua, sobre todo para los tramos que integran la parte alta de la cuenca.

La línea de investigación de este trabajo es establecer las bases de un plan de administración del recurso hídrico. La aplicación de diferentes métodos estadísticos multivariados como el análisis de componentes principales, son técnicas de gran ayuda en la interpretación de matrices de datos complejas para un mejor entendimiento de la calidad del agua, que permiten la identificación de posibles factores o fuentes que afectan los sistemas acuáticos y ofrecen una valiosa herramienta para la administración confiable de los recursos hídricos así como soluciones rápidas a los problemas de contaminación (Shrestha y Kazama, 2007). Las técnicas de análisis multivariados han sido aplicadas a casos como el que se presenta para entender con base a las varianzas de sus resultados y la manera en que se interrelacionan (Boyacoglu, 2008; Singh, Malik, y Sinha, 2005).

La cuenca del Río Soto la Marina

El estado de Tamaulipas, hidrológicamente, se conforma de 4 cuencas principales, siendo de norte a sur: el río Bravo, río Conchos o San Fernando, río Soto la Marina (CRSLM) y la del río Pánuco en el extremo sur. De estas cuencas, la del río Soto la Marina conforma la parte central del Estado, que presenta en sus orígenes una excelente calidad del agua, lo que permite hacer uso para cualquier clase de actividad socioeconómica y aún más, su preservación ecológica.

La CRSLM adopta una amplia red de drenaje de sus formadores que convergen en un punto cercano a la desembocadura y después de dicha convergencia, hay solo un corto tramo que lo une con la entrada final a la presa Vicente Guerrero, vaso que da origen al río Soto La Marina, cuya cuenca tiene una extensión de 21 183 km^2, siendo la primera en cuanto a extensión dentro de la Región Hidrológica

No. 25. Su desarrollo ocurre en una proporción de 87.9% dentro del estado de Tamaulipas y 12.1% dentro del estado de Nuevo León.

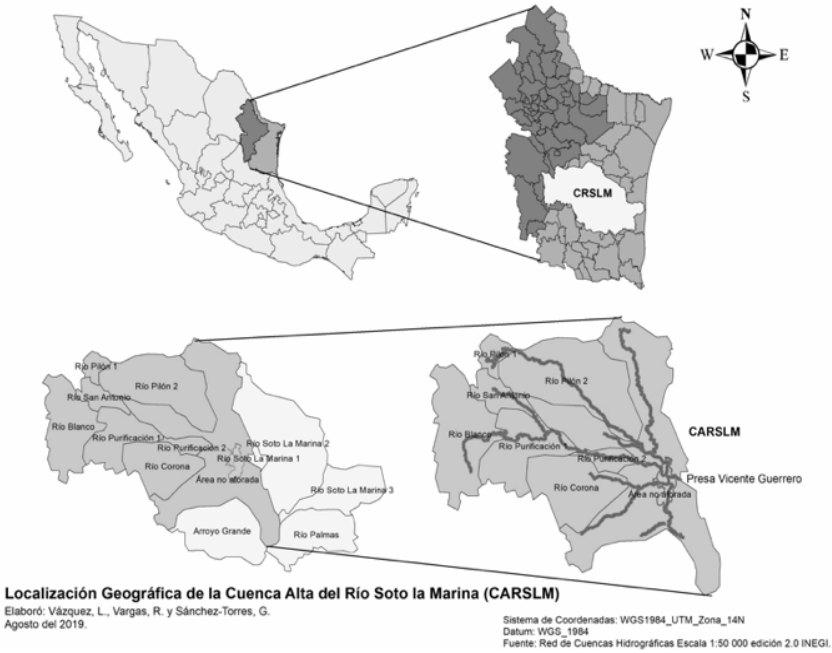
Se estima un gasto de aportación de 650 l.p.s. que llega al río Corona a través del río San Felipe, lo cual supera con creces los gastos que llevan en periodos de estiaje, lo cual genera severas condiciones de septicidad con el correspondiente deterioro de la flora y fauna natural de esas aguas en el río Corona, así como la imposibilidad de usar esas aguas para las actividades propias de la sociedad, situación que se agrava por las cortas distancias que existen desde el vertimiento de las descargas hasta los puntos de aprovechamiento de agua con fines agrícolas y servicio público a la sociedad.

Algunos investigadores citan que para el sostenimiento de la disponibilidad del agua en la cuenca del río Soto la Marina, es imprescindible además de una adecuada asignación del agua para los diversos usos, conocer la calidad del agua y su tratamiento, así como la extracción de agua superficial (aguas arriba y abajo de la cuenca), las extracciones ilícitas, el manejo de las aguas subterráneas y las anomalías climáticas futuras (Vargas et al., 2015). Por ello, existe la necesidad de evaluar el grado de contaminación que originan las descargas de Ciudad Victoria e industrias, que llegan a la presa Vicente Guerrero, a fin de proponer acciones para preservar la calidad de las aguas de la presa y asegurar condiciones óptimas del entorno ecológico y previendo un potencial riesgo al ecosistema y las actividades socioeconómicas que soporta este recurso.

El desarrollo de la presente investigación está en función de la elección de los sitios de muestreo (distribución espacial) y los periodos de desarrollo de estos (temporalidad), cuyo propósito es evaluar la evolución de la calidad del sistema espacial y temporalmente, mediante la determinación analítica de 9 parámetros en 14 sitios de la CARSLM.

El área de análisis (figura 1) se localiza en la Región Hidrológica No. 25 San Fernando-Soto la Marina y pertenece a la región administrativa u Organismo de Cuenca IX Golfo Norte. La CRSLM proporciona el mayor aporte en los escurrimientos naturales hacia el Golfo de México ya que cuenta con un escurrimiento natural medio superficial de 2086 millones de m^3 al año y la longitud del río Soto la Marina es de 416 km.

Figura 1. Localización del área de estudio



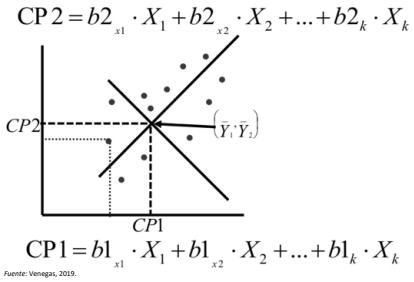
Debido al amplio desarrollo de la CARSLM y a la disposición de los afluentes, la red de drenaje de sus formadores converge en un punto muy cercano a la desembocadura, y después de dicha convergencia hay solo un corto tramo que lo une actualmente con la entrada final al vaso de la presa Vicente Guerrero.

La CARSLM está conformada por el tramo Pilón 1, Pilón 2, río San Antonio, río Blanco, río Purificación 1 y río Purificación 2, río Corona y la presa Vicente Guerrero que se encuentra en medio de la cuenca, recibiendo escurrimientos de los afluentes antes mencionados.

Materiales y métodos

Las técnicas de análisis estadístico-multivariantes por Componentes Principales se han aplicado a problemas de contaminación de ríos y lagunas para describir la correlación de los parámetros fisicoquímicos contaminantes. Algunos parámetros tienen una relación directa por los mecanismos de producción y reconversión en el medio natural, a través de la cinética conocida para modelos de degradación, como es el caso del material orgánico DBO, DQO, OD, nitratos, nitrógeno total, fósforo total y otros.

Figura 2. Representación de los Componentes Principales 1 y 2 y construcción de nuevos ejes de la ordenada con base en la máxima dispersión de la varianza



Fuente: Venegas, 2019.

La técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) contribuye al análisis de ordenación que permite reducir la dimensionalidad del conjunto de parámetros fisicoquímicos originales, creando un conjunto de nuevas variables conocidas como Componentes Principales (CP) a partir de cálculo de combinación lineal de los parámetros de calidad del agua originales, de tal forma que se explique la máxima varianza de los datos analizados, existiendo dos criterios de selección de los CP: los *eigen-valores* mayores a 1 o aquellos que aportan la mayor varianza (más del 75% del análisis). Generalmente en este proceso el CP1 y CP2 son los que más aportan la variación de fenómeno, por lo tanto, tienen mayor representatividad (Gotelli y Ellison, 2004.). Estos se representan gráficamente en la figura 2.

Se generan nuevos ejes que corresponden a la dispersión de la máxima varianza del fenómeno y se determinan los *eigen-vectores* y los *eigen-valores* (la sumatoria de todos esto últimos representan el 100% de la varianza).

La valoración de la calidad del agua y su comportamiento está ligada a los aspectos naturales y sociales. Para el caso de la CARSLM, las características químicas del agua son: altas durezas de carbonatos, pH ligeramente alcalino y baja concentración de otros tipos de iones como los sulfatos y nitratos.

Se evaluaron algunos contaminantes de la presa Vicente Guerrero, que se encuentra bajo presión por las descargas de diversos orígenes, siendo relevante las de Ciudad Victoria hacia el río Corona, tributario de la presa Vicente Guerrero, fuente de abastecimiento de Ciudad Victoria y diversas comunidades, así como de grandes zonas de riego y pecuario.

Para la elección de los sitios de muestreo de forma adecuada, se deben considerar las condiciones en que se encuentra el cuerpo de agua que se desea evaluar (Canter, 1985), los aspectos son: reconocimiento de trabajos previos, identificación de ríos superficiales, conocimiento de los flujos, interconexiones y descargas, características de estas, así como un plan logístico de muestreos.

La RNM considera sólo la vigilancia de algunos sitios específicos de los que puntualmente existen antecedentes o evidencias de focos de contaminación o de una estricta vigilancia de interés público (como las captaciones de abastecimiento público-urbano de algunas ciudades o comunidades). Es por esta razón que cambian de sitio conforme evoluciona la problemática, contando así con una base de datos de 409 registros distribuidos en 14 sitios de muestreo que corresponden a la CARSLM (tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de monitoreo

Sitio (Estación monitoreo)	Clave del Sitio	Coordenadas	
		Latitud Norte	Longitud Oeste
Río Corona, estación hidrométrica	RC-EH	23.9372	-98.9364
Río Corona, 600 metros aguas arriba del río San Felipe	RC-ARF	23.9473	-98.9811
Río Purificación, Nuevo Padilla	RP-NP	24.0424	-98.9036
Río Purificación, El Barretal	RP-BT	24.1819	-99.3238
Río San Felipe 100 metros aguas arriba del río Corona	RSF	23.9439	-98.9772
Arroyo El Olmo	AO-1	23.7015	-99.0867
Arroyo El Olmo 2	AO-2	23.7054	-99.0757
Presa Vicente Guerrero (sauces 1)	PVG-S1	23.9364	-98.805
Presa Vicente Guerrero (sauces 2)	PVG-S2	23.9593	-98.6728
Presa Vicente Guerrero (sauces 3)	PVG-S3	23.9712	-98.7777
Presa Vicente Guerrero (sauces 4)	PVG-S4	23.9976	-98.763
Presa Vicente Guerrero (sauces 5)	PVG-S5	24.0329	-98.7173
Presa Vicente Guerrero (sauces 6)	PVG-S6	24.0555	-98.7394
Presa Vicente Guerrero (sauces)	PVG-S	23.8366	-98.735

Fuente: Elaboración propia.

La RNM solo considera al río Corona y el arroyo El Olmo, tributarios de la presa Vicente Guerrero, debido al potencial riesgo que representan por descargas. Los parámetros analíticos que se consideraron en el análisis del sistema son: pH, temperatura, conductividad eléctrica, DBO, DQO, OD, Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK), fósforo total y fósforo de fosfatos. Las técnicas analíticas son las descritas en las Normas Mexicanas de análisis del agua (NMX-AA), que fundamentan y referencian a las técnicas APHA-AWWA-WEF (2005).

Tabla 2. Datos de calidad del agua (promedios de la base de datos 2012-2017 de la Red Nacional de Monitoreo)

Sitio (Estación monitoreo)	Clave del Sitio	Coordenadas		Temperatura °C	Potencial de Hidrógeno U. de pH	Conductividad eléctrica mS/cm	Oxígeno disuelto mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	Fósforo de ofósfatos mg/l	Fósforo total mg/l	Nitrógeno Kjeldahl mg/l
		Latitud	Longitud									
Río Corona, estación hidrométrica	RC-EH	23.93723	-98.97202	24.824	7.854	1310.811	5.600	13.453	42.014	0.487	0.687	5.864
Río Corona, 600 metros aguas arriba del río San Felipe	RC-ARF	23.94753	-98.98102	25.260	7.860	1767.500	5.411	2.910	22.130	0.014	0.031	0.294
Río Purificación, Nuevo Padilla	RP-NP	24.04224	-98.90370	24.933	7.584	1111.660	8.057	2.520	46.130	0.009	0.019	1.661
Río Purificación, El Barretal	RP-BT	24.18130	-99.32380	25.269	7.866	640.953	7.427	4.680	32.420	0.033	0.070	2.909
Río San Felipe 100 metros aguas arriba del río Corona	RSF	23.94396	-98.97721	28.200	8.022	1604.667	3.968	25.821	60.021	1.311	2.130	13.185
Arroyo El Olmo	AO-1	23.70186	-99.08684	24.125	7.432	925.031	5.369	4.334	35.820	0.045	0.073	0.925
Arroyo El Olmo 2	AO-2	23.70531	-99.07587	24.723	8.069	4435.192	5.931	4.401	40.242	0.171	0.227	2.613
Presa Vicente Guerrero (sauces 1)	PVG-S1	23.93637	-98.80489	25.321	7.765	1250.150	4.200	3.000	24.698	0.026	0.080	0.483
Presa Vicente Guerrero (sauces 2)	PVG-S2	23.95936	-98.67279	25.456	7.794	1307.200	4.000	4.000	47.605	0.040	0.063	0.485
Presa Vicente Guerrero (sauces 3)	PVG-S3	23.90731	-98.72363	25.678	7.987	1107.250	4.157	3.000	24.230	0.032	0.057	1.293
Presa Vicente Guerrero (sauces 4)	PVG-S4	23.99764	-98.76291	24.876	7.801	1782.320	4.087	2.900	31.585	0.028	0.073	1.225
Presa Vicente Guerrero (sauces 5)	PVG-S5	24.03287	-98.71741	24.891	7.927	1683.100	3.200	9.000	54.355	0.028	0.043	0.576
Presa Vicente Guerrero (sauces 6)	PVG-S6	24.05557	-98.73884	24.917	7.986	1852.470	4.310	15.000	22.580	0.027	0.057	0.494
Presa Vicente Guerrero (sauces)	PVG-S	23.83693	-98.73516	24.958	8.001	1486.330	4.470	12.000	18.650	0.026	0.049	0.514

Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones obtenidas para cada parámetro y su desviación estándar se presentan por grupos de parámetros que tienen interrelación, por ejemplo: la carga orgánica Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) con el Oxígeno Disuelto y la DQO con los parámetros nutrientes, como nitrógeno total y de nitratos, así como el fósforo total y de fosfatos. La normativa nacional en materia de análisis de calidad del agua está referenciada a los métodos estándar anteriormente citados, cuyo origen, son las normas de referencia estandarizadas internacionalmente para desarrollar los análisis de calidad del agua.

Resultados y discusión

Inicialmente se evaluaron promedios de las muestras de estos análisis, determinándose la desviación estándar, valores máximos y mínimos. Teóricamente se conoce que los comportamientos fisicoquímicos de estos se interrelacionan entre sí, ya que las reacciones químicas establecen su dinámica de formación o decaimiento. Posteriormente, se generó una matriz con los referidos análisis y con esa base se estandarizaron los valores matriciales para ser sometidos al software Statistica versión 8.0.

Tabla 3. Datos de calidad del agua estandarizados

Datos estandarizados	T	PH	CE	OD	DBO	DQO	PO4	PT	NTK
1	-0.4531	0.0042	-0.3136	0.4227	0.8572	0.4731	0.9176	0.7539	1.0217
2	0.0160	0.0372	0.1987	0.2867	-0.6987	-1.0633	-0.4214	-0.4073	-0.5855
3	-0.336	-1.5327	-0.5370	2.1944	-0.7562	0.7911	-0.4343	-0.4298	-0.1910
4	0.0260	0.0706	-1.0650	1.7401	-0.4374	-0.2682	-0.3668	-0.3392	0.1690
5	3.1803	0.9600	0.0161	-0.7538	2.6825	1.8645	3.2486	3.3105	3.1340
6	-1.2051	-2.3959	-0.7463	0.2565	-0.4885	-0.0055	-0.3325	-0.3341	-0.4033
7	-0.5615	1.2252	3.1914	0.6615	-0.4786	0.3362	0.0233	-0.0607	0.0837
8	0.0816	-0.5032	-0.3816	-0.5864	-0.6854	-0.8650	-0.3874	-0.3216	-0.5309
9	0.2269	-0.3382	-0.3176	-0.7305	-0.5378	0.9051	-0.3480	-0.3517	-0.5304
10	0.4659	0.7596	-0.5419	-0.6174	-0.6854	-0.9011	-0.3688	-0.3613	-0.2970
11	-0.3973	-0.2984	0.2154	-0.6678	0.7001	-0.3328	-0.3799	-0.3340	-0.3167
12	-0.3812	0.4183	0.1041	-1.3073	0.2001	1.4267	-0.3812	-0.3867	-0.5040
13	-0.3532	0.7539	0.2941	-0.5070	1.0855	-1.0286	-0.3832	-0.3623	0.5278
14	-0.3091	0.8393	-0.1167	-0.3917	0.6428	-1.3322	-0.3860	-0.3755	-0.5218

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se muestran los *eigen-valores* que son los valores característicos, cuyas varianzas son las más significantes y las que influyen mayormente en este ensayo:

Tabla 4. Eigenvalores obtenidos

ACP	Eigenvalor	Varianza Explicada	Acumulado Eigenvalor	Acumulado % Varianza
CP1	4.942	54.906	4.942	54.906
CP2	1.583	17.586	6.524	72.492
CP3	1.049	11.657	7.573	84.149
CP4	0.714	7.931	8.287	92.080
CP5	0.363	4.030	8.650	96.110
CP6	0.272	3.020	8.922	99.130
CP7	0.075	0.831	8.996	99.960
CP8	0.003	0.038	9.000	99.998
CP9	0	0.002	9.000	100.000

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que los CP1 a 3 son mayores que 1, sin embargo, la suma del CP1 y CP2 suman el 72.492 de la varianza y estos son los que se toman en cuenta para estructurar los *eigen-vectores*, llamados *Factor Loadings*, que representan la correlación entre cada variable original con respecto al componente principal, este puede tener una relación positiva (al incrementarse el valor canónico, se incrementa el valor de la variable original) o negativa (al incrementarse el valor canónico, se reduce el valor de la variable original) de cada parámetro analítico (tabla 5).

Tabla 5. *Factor Loadings* obtenidos

Factor Loadings	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
T	-0.870675	-0.014175	-0.200785	0.130233	0.395590	0.070364	-0.151505	-0.007110	-0.001518
PH	-0.435017	0.801236	0.043869	0.243929	0.153024	-0.276344	0.086642	0.008096	0.001008
CE	-0.094185	0.661371	0.696885	-0.146532	-0.055865	0.196312	-0.070000	-0.006118	-0.000582
OD	0.253215	-0.546379	0.603380	0.506226	0.022617	-0.121024	-0.042680	0.006242	0.000465
DBO	-0.861566	0.110324	-0.167224	0.089855	-0.399666	-0.181530	-0.129450	-0.007118	-0.000779
DQO	-0.595128	-0.352494	0.331405	-0.577370	0.114518	-0.255440	-0.004226	0.001978	0.000293

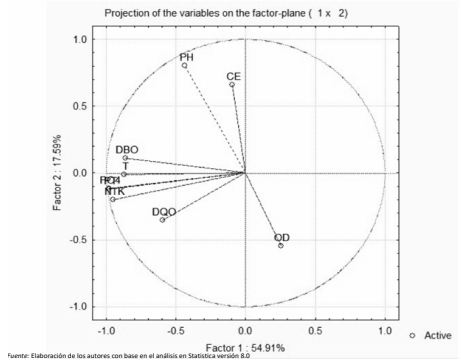
Factor Loadings	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
PO4	-0.978894	-0.116202	0.049142	0.033666	-0.064165	0.126537	0.056239	0.037049	-0.007091
PT	-0.980823	-0.119385	0.019385	0.037658	-0.040838	0.139124	0.025490	0.011986	0.011043
NTK	-0.951060	-0.201122	0.128921	0.124896	-0.022036	0.060891	0.130379	-0.040211	-0.002458

Fuente: Elaboración propia.

Se trabaja con los valores mayores de 0.7; para el CP1 se muestran varios, pero todos de signo negativo, lo que implica que, a mayor magnitud de la variable original, disminuye y se encuentra por debajo de su media (como la temperatura, DBO, fósforo de fosfatos, fósforo total y Nitrógeno Total Kjendhal). El resultado del ACP muestra un solo valor mayor de 0.7 y es positivo, lo que implica que, a mayor magnitud de este, la variable original se incrementa por encima de su media, es decir, el pH es la única variable que se encuentra por encima de su media y crece proporcional al CP2.

De los resultados obtenidos, se observa que los CP1, 2 y 3 son mayores que 1, sin embargo, los dos primeros aportan el 72.49% de la varianza total (datos referenciados en la tabla 4), por lo que solo se trabajaron estos 2 primeros componentes. En la siguiente figura 3 visualiza de forma más conveniente dichos resultados.

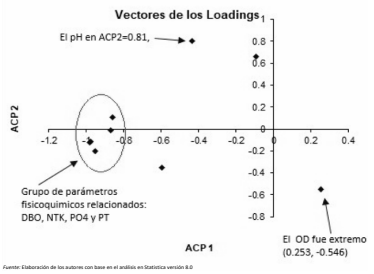
Figura 3. Proyecciones en el plano de los factores 1 y 2 obtenidos



Fuente: Elaboración de los autores con base en el análisis en Statistica versión 8.0

De la figura 3, también se deduce que la temperatura, DBO, PO4, PT y NTK, se presentan en una zona cercana y que difieren completamente con el pH, conductividad eléctrica y OD. La DQO se encuentra medianamente cerca. Para entender mejor este comportamiento, se puede observar la figura 4.

Figura 4. Gráfico de representación de componentes ACP1 y ACP2



Fuente: Elaboración de los autores con base en el análisis en Statistica versión 8.0

Los *scores* representan la posición de cada elemento dentro del componente y cada *score* contiene el porcentaje de la variación de los parámetros originales de calidad del agua estadística, es decir, los *eigen-valores*. Donde los elementos con características similares serán más cercanos al componente y estos se caracterizan por ser ortogonales y porque no se correlacionan entre sí. Se orientan maximizando la varianza analítica (tabla 6).

Tabla 6. *Scores* de la estadística

Score de Statistica	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
1	-0.62737	-0.57046	0.31700	0.26999	-1.52243	-0.51149	2.19320	1.35994	-0.82401
2	0.53170	0.32695	-0.02832	0.80655	0.61055	0.91233	-0.54604	1.97636	1.05084
3	0.56148	-1.89514	1.22423	0.26973	0.42636	-0.59704	-1.38685	0.10214	-0.42112
4	.31471	-0.94995	0.27363	1.63790	0.82090	-1.37144	0.70858	-1.21368	0.89495
5	-3.27985	-0.39030	-0.23149	0.07622	0.31924	0.55979	-0.62924	-0.30531	0.31171
6	0.74625	-1.53444	-0.21296	-0.86445	-1.53700	1.38611	-0.00312	-0.38554	0.03957
7	-0.00155	1.61448	2.85164	-0.18944	0.08534	0.62168	0.14454	-0.19044	-0.18614
8	0.47357	0.05253	-0.88066	-0.00934	0.51813	1.32497	-0.14779	0.09728	0.54405
9	0.18400	-0.17336	-0.40503	-1.45469	1.12008	-0.45387	-0.56388	0.84785	-1.46793
10	0.25969	0.61202	-1.00823	0.57217	1.46842	0.11317	1.11509	-0.19312	-1.57888
11	0.42261	0.29168	-0.23385	-0.60225	0.15642	1.01502	0.91801	-1.80315	0.53585
12	0.00395	0.52739	-0.26045	-2.13055	0.03477	-1.82965	0.18151	0.06150	1.44778
13	0.14829	1.11002	-0.58457	0.61234	-1.52451	-0.66029	-1.54985	-1.01348	-1.33912
14	0.26253	0.97857	-0.82093	1.00581	-0.97628	-0.50929	-0.43414	0.65965	0.99245
	-3.27985	-1.895514	-1.00823	-2.13055	-1.53700	-1.82965	-1.54985	-1.80315	-1.57888
	0.74625	1.61448	2.85164	1.63790	1.46842	1.38611	2.19320	1.97636	1.44778

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calculan los *scores* de cada componente principal, que se obtienen a partir del producto de los coeficientes de las variables analíticas por la respectiva variable normalizada, dando origen a una matriz conjunto de nuevos valores (*scores* calculados), al que comúnmente se llama variable ortogonal (Jongman, Ter y Van Tongeren,1995).

Tabla 7. *Scores* calculados

Scores calculados	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
1	-0.62737	-0.57046	0.31700	0.26999	-1.52243	-0.51149	2.19320	1.35994	-0.82401
2	0.53170	0.32695	-0.02832	0.80655	0.61055	0.91233	-0.54604	1.97636	1.05084
3	0.56148	-1.89514	1.22423	0.26973	0.42636	-0.59704	-1.38685	0.10214	-0.42112
4	0.31471	-0.94995	0.27363	1.63790	0.82090	-1.37144	0.70858	-1.21368	0.89495
5	-3.27985	-0.39030	-0.23149	0.07622	0.31924	0.55979	-0.62924	-0.30531	0.31171
6	0.74625	-1.53444	-0.21296	-0.86445	-1.53700	1.38611	-0.00312	-0.38554	0.03957
7	-0.00155	1.61448	2.85164	-0.18944	0.08534	0.62168	0.14454	-0.19044	-0.18614
8	0.47357	0.05253	-0.88066	-0.00934	0.51813	1.32497	-0.14779	0.09728	0.54405
9	0.18400	-0.17336	-0.40503	-1.45469	1.12008	-0.45387	-0.56388	0.84785	-1.46793
10	0.25969	0.61202	-1.00823	0.57217	1.46842	0.11317	1.11509	-0.19312	-1.57888
11	0.42261	0.29168	-0.23385	-0.60225	0.15642	1.01502	0.91801	-1.80315	0.53585
12	0.00395	0.52739	-0.26045	-2.13055	0.03477	-1.82965	0.18151	0.06150	1.44778
13	0.14829	1.11002	-0.58457	0.61234	-1.52451	-0.66029	-1.54985	-1.01348	-1.33912
14	0.26253	0.97857	-0.82093	1.00581	-0.97628	-0.50929	-0.43414	0.65965	0.99245

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la tabla 7, se aprecia de forma sobresaliente que los valores extremos que para el CP1 son (0.56148) y (-3.27985) para los escores 3 y 5 respectivamente, los cuales presentan las condiciones de máxima variabilidad.

De la tabla resultante de los CP1 y CP2, se observa que existe un grupo de parámetros fisicoquímicos que se relacionan mayormente, que son: temperatura, DBO, fósforo de fosfatos, fósforo total y nitrógeno total. Solo se aprecian 4 puntos, sin embargo, el fósforo total y de fosfatos se sobreponen, pues sus resultados son bastante similares como se observa en los *Loadings*.

Un comportamiento inverso presentó la DQO, aunque no se considera que se encuentre dentro del grupo anterior, no obstante, ambos componentes son negativos.

Los valores encontrados se encuentran dentro de rangos máximos aceptables y no se consideran fitotóxicos de acuerdo con Pais y Jones (1997), sin embargo, es

importante continuar con la caracterización de estos puntos de muestreo, debido a que en la región se cuenta con la producción de cultivos forrajeros para el ganado vacuno, caprino, porcino y ovino, que puede verse afectado y contribuir a un problema de salud pública potencial por consumo de esta carne (CACL-AC, 2013).

En análisis y razonamiento de los resultados analíticos directos, se aprecia que el OD presentó valores promedio aceptables, sin embargo, en dos sitios: río San Felipe (RSF) y Presa Vicente Guerrero Sauces 6 (PVGS6) los valores obtenidos fueron 3.968 y 3.2 mg/l respectivamente, ambos inferiores a 4 mg/l, el mínimo señalado en los criterios ecológicos de calidad del agua.

Se aprecian también moderadas cargas de DBO y DQO, que superan los 25 y 60 mg/l respectivamente, ambos en el río San Felipe (RSF), lo que es un indicativo de que el sistema se encuentra recibiendo altas cargas orgánicas por uno de sus tributarios (río Corona), lo que implica que deben tomarse acciones al respecto en materia de saneamiento y evitar los graves daños que se puedan generar en el mediano plazo. El acceso a este recurso y su buen manejo contribuye a un mejor bienestar y a la seguridad alimentaria, mientras que un mal manejo puede generar pobreza y subdesarrollo (UNESCO ONU-Agua, 2012). Así mismo, observando los resultados de los nutrientes fósforo de fosfatos, fósforo total y Nitrógeno Total Kjeldahl, donde se aprecia que los máximos valores encontrados son de 1.311 mg/l, 2.130 mg/l y 13.183 mg/l respectivamente, por lo que estos valores están ingresando altas aportaciones de nutrientes a la Presa Vicente Guerrero, excediendo los valores de referencia propuestos en los criterios ecológicos de calidad del agua. También se observa que hay altas concentraciones de nitrógeno total en el río Corona (5.864 mg/l), río Purificación (2.909 mg/l) y Arroyo El Olmo (2.613 mg/l), aunque los parámetros de estos nutrientes no se consideran en los criterios ecológicos de calidad del agua, ya se observan grandes extensiones de florecimiento del lirio acuático en la confluencia del río Corona con la Presa Vicente Guerrero, indicativo de que el proceso de eutrofización se está acelerando por dichos aportes de contaminantes orgánicos y nutrientes.

Conclusiones y recomendaciones

El comportamiento de similitud de los resultados no es consistente respecto a la naturaleza química de ellos, es decir, aun cuando el OD, DBO y DQO químicamente tienen una interrelación de dependencia, el análisis demostró que en este sistema particular y bajo estas condiciones tienen una independencia total.

Debido a que los datos de la RNM no pueden inferir un comportamiento espacial y a su vez estacional respecto a la transición climática y del ciclo hidrológico, es pertinente que la futura investigación cuente con los resultados en las épocas de lluvias, de transiciones y estiaje para reconocer el comportamiento

completo de estos parámetros analíticos, es decir, un monitoreo anual en puntos específicos que incluya parámetros fisicoquímicos y toxicológicos, a efecto de conocer el comportamiento espacial y estacional en el sistema, asociados con estas herramientas de análisis multivariados y modelos de calidad del agua, en los cuales también se consideren los efectos por cambio climático en la cuenca de estudio, basándose en la regionalización de los modelos globales más adecuados para este caso, para contribuir a una propuesta del manejo integral del agua en la CRSLM y coadyuvar a la conservación de agua y la sustentabilidad de la región.

Referencias

APHA-AWWA-WEF. (2005). Standard Method to the Examination of Water and Wastewater (21ra ed.). Washington, DC, USA: American Public Health Association, American Waterworks Association, Water Environment Federation.

Boyacoglu, H. (2008). "Water Pollution Sources Assessment by Multivariate Statistical Methods in Tahtali Basin, Turkey". *Environ. Geol.*, 54 (2), 275–282.

CACL-AC. (2013). *La importancia del sector agropecuario en la Comarca Lagunera*. Torreón, México: Consejo Agropecuario de la Comarca Lagunera, A.C.

Canter, L. (1985). *River Water Quality Monitoring*. Editorial Lewis Publisher, INC.

Gil, M., y Reyes, H. (2013). "Gestión integral del agua desde un enfoque social hacia una economía ecológica". *Nóesis*, *24*(47). doi.org/10.20983/noesis.2015.1.6

Gotelli, N. J. y Ellison, A. M. (2004). *A primer of Ecological Statistics*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc.

Gómez, I. y Peñuela, G. (2016). "Revisión de los métodos estadísticos multivariados usados en el análisis de calidad del agua", *Mutis*, 6(7), 54-63.

Jongman, R., Ter, B., y Van Tongeren, O. (1995). *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambrige, Cambridge University Press.

Martínez, P., Díaz, C. y Moeller, G. (2019). "Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales". *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121. DOI:10.4995/Ia.2019.10502

Pais, I. y Jones, B. J. Jr. (1997). *The handbook of trace elements.* Boca Raton, Florida: CRC Press.

Venegas, C. (2019). "Análisis de Componentes Principales". En *Análisis Multivariados*. Disponible en: http://sites.google.com/site/analisismultivariados/

Shrestha, S., y Kazama, F. (2007). "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan". *Environmental Modelling and Software*, 22(4), 464475.14.

Singh, K. P., Malik, A. y Sinha, S. (2005). "Water Quality Assessment and Apportionment of Pollution Sources of Gomti River (India) Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study". *Anal. Chim. Acta*, 538 (1-2), 355–374.

UNESCO ONU-Agua. (2012). *Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos (World Water Assessment Programme)* Disponible en: www.unesco.org/ water/wwap/index_es.shtml 18/5/2014

Vargas, R., Sánchez, G., Rolón, J., Pichardo, R., Tobías, R., y Treviño, J. (2015). *Disponibilidad de Recursos Hídricos ante Escenarios de Cambio Climático en una cuenca costera de Tamaulipas, México.* En J. Rolón, R. Cabrera, E. Rolón, R. Pichardo, R. Tobías, & J. Treviño (eds.), *Investigaciones Actuales en Medioambiente. Tomo I* (pp. 86-100). Estados Unidos de América: Science Associated Editors L.L.C.

Capítulo 13. Aprovechamiento del recurso natural de la "concha de ostión" como agregado en concreto, mediante pruebas de compresión y flexión al 3% en peso

Rodolfo Barragán Ramírez[19]*, Marcos Alfredo Azuara Hernández y Rodolfo Garza Flores*

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo examinar el comportamiento mecánico, la evolución del concreto hidráulico y comparar los resultados obtenidos en pruebas de compresión y flexión de especímenes de concreto convencional y con la adición de 3% en peso de concha de ostión, logrando así el aprovechamiento de éste desecho natural y tratando de disminuir el problema que genera, favoreciendo un entorno limpio y saludable para la población.

Palabras clave: concha de ostión, concreto, agregado, compresión y flexión.

Introducción

La presente investigación es sobre el empleo de recursos naturales adicionados en concreto hidráulico; se examina el comportamiento de dichos especímenes con la adición de concha de ostión.

A lo largo de la historia el hombre ha tenido que satisfacer necesidades como alimento, vivienda, salud, vestimenta, etcétera. Para atender estos requisitos el hombre ha empleado crecientemente los recursos naturales que se encuentran disponibles dentro de la naturaleza.

En ocasiones, los desechos de algunos recursos naturales no poseen valor alguno, dado que el hombre desconoce el modo de emplearlos, sin embargo, cuando son bien utilizados estos pueden generar bienestar y aumentar el nivel de vida de la población.

La presente investigación tiene como objetivo examinar el comportamiento mecánico, la evolución del concreto hidráulico y comparar los resultados obtenidos en pruebas de compresión y flexión de especímenes de concreto convencional y con la adición de 3% en peso de concha de ostión.

Para fines de investigación se realizaron dos dosificaciones, tomando como base la proporción:

a. 1:2 (1 cemento: 2 arena)

b. Relación agua/cemento Ra/c= 0.67

[19] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: rbarragan@docentes.uat.edu.mx

Las dosificaciones fueron las siguientes:

a. Mezcla Nº 1: cemento, arena, grava y agua.
b. Mezcla Nº 2: cemento, arena, grava, agua y 3% de concha de ostión.

Los materiales fueron mezclados de forma homogénea y controlados en peso, para tratar de asegurar la igualdad de condiciones en los especímenes muestreados en moldes cilíndricos de ∅= 15 cm h=30 cm. y rectangulares de 15 x 15 x 60 cm; se le determinó contenido de humedad a las mezclas en general, temperatura, masas volumétricas en estado fresco, porcentaje de absorción, revenimiento, esfuerzos de compresión a edades preestablecidas.

Materiales utilizados en la fabricación del concreto hidráulico

Como parte de la investigación, previo al diseño mismo, se determinaron las características de calidad de los agregados empleados en la fabricación del concreto hidráulico.

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento Portland y agua, para formar concreto hidráulico. Los agregados para concreto hidráulico se clasifican en: agregado fino y agregado grueso.

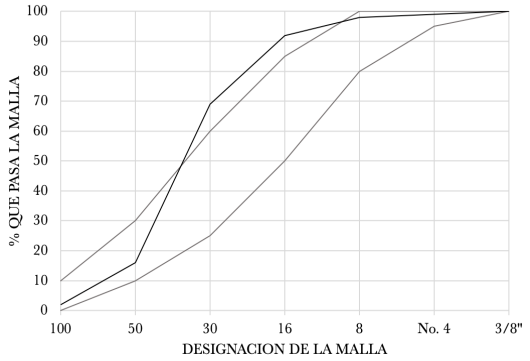
Análisis de agregado fino para concreto hidráulico

El agregado fino empleado en la elaboración de concreto hidráulico es arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre 75 micrómetros (malla Nº 200) y 4.75 milímetros (malla Nº 4), pudiendo contener finos de menor tamaño, dentro de las proporciones establecidas en la norma N-CMT-2-02-002/02.

En la tabla Nº 1 se muestran los resultados de la prueba de granulometría realizada al material empleado en la fabricación del concreto hidráulico, material procedente del banco Cacalilao, Veracruz.

Tabla 1. Curva granulométrica de material procedente de banco Cacalilao

Malla Nº	Arena
	% que pasa la malla
3/8”	100.00
Nº 4	99.00
8	98.00
16	92.00
30	69.00
50	16.00
100	2.00
200	10.00



Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la porción del material correspondiente a las mallas 30 y 16 se encuentra fuera de los parámetros de aceptación para ser empleado en la fabricación de concreto hidráulico.

Se determinó el módulo de finura siendo este de 2.24, que se encuentra en el límite de especificación.

También se obtuvo el peso volumétrico seco suelto igual a 1241 kg/m^3.

El porcentaje de absorción se encuentra en el orden de 5.52% con un peso específico de 2.427.

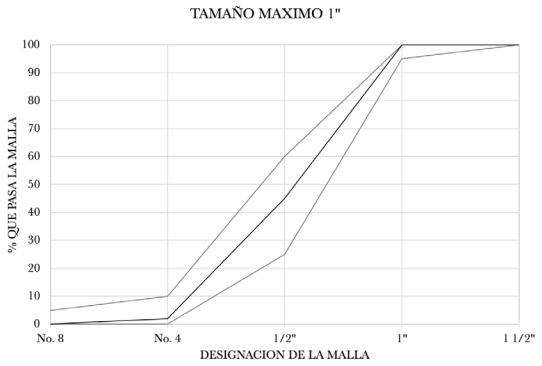
Análisis de agregado grueso para concreto hidráulico

El agregado grueso, según la SCT, puede ser grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, escorias de altos hornos enfriadas en aire o en una combinación de dichos materiales, con partículas de tamaño máximo, generalmente comprendido entre 19 mm (3/4”) y 75 mm (3”), pudiendo contener fragmentos de roca y arena, dentro de las proporciones establecidas en la norma N-CMT-2-02-002/02.

En la tabla Nº 2 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de granulometría realizada en material procedente de banco El Abra, San Luis Potosí.

Tabla 2. Curva granulométrica de material procedente de banco El Abra

Malla Nº	Grava
	% que pasa la malla
2 1/2"	100.00
2"	100.00
1 1/2"	100.00
1"	100.00
3/4"	85.00
1/2"	45.00
3/8"	22.00
Nº 4	2.00



Según los parámetros establecidos por la SCT, el material presenta un comportamiento aceptable para ser considerado como agregado grueso en concreto con tamaño máximo 1".

Se realizaron pruebas de resistencia al desgaste por abrasión en máquina de los ángeles e intemperismo acelerado, siendo estos de: 29.50% y 5.50% respectivamente.

También se obtuvo el peso volumétrico seco suelto igual a 1450 kg/m^3 y varillado 1528 kg/m^3.

El porcentaje de absorción se encuentra en el orden de 0.55 % con un peso específico de 2.692.

Cemento Portland CPC 30R

Para la elaboración del concreto hidráulico, se empleó cemento Portland CPC 30R marca CEMEX.

Este cemento puede utilizarse en la construcción de todo tipo de elementos o estructuras de concreto simple o armado. Es compatible con todos los materiales de construcción convencionales, logrando excelentes resultados en la construcción tradicional de: pisos, firmes, castillos, trabes, zapatas, losas, columnas, etcétera. El CPC 30R está producido bajo un estricto control de calidad que lo convierte en el cemento de excelente aplicación para todo tipo de obras desde proyectos familiares hasta la construcción de fraccionamientos, casas, edificios, obras municipales, productos industrializados de concreto, etcétera. Es un tipo de cemento que es posible conseguir en la zona en cualquier tienda comercial dedicada a surtir materiales de construcción.

Agua

El agua empleada para la elaboración del concreto es la que comúnmente distribuye la comisión municipal de agua potable de los municipios de Tampico, Ciudad Madero y Altamira, esta misma es obtenida de un Sistema Lagunario conocido como Chairel, formado por el cauce de los ríos Tamesí-Pánuco, de igual forma esta agua se encuentra libre de aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materia orgánica (agua tratada).

Preparación del material reciclado "Concha de Ostión" *Crassostrea angulata*

> […] Concha sólida, de forma variable debido a adaptaciones al sustrato, en general alargada; valvas asimétricas, la izquierda cóncava, más o menos globosa, y la derecha plana, ambas con escultura externa formada por líneas de crecimiento concéntricas, salientes y onduladas, a modo de volantes, con filos cortantes. Charnela sin dientes. Impresión muscular redondeada. Coloración blanquecina amarillenta o marrón; interior blanco nacarado, impresión muscular marrón-violeta. Hasta 20 cm de longitud (Gobierno de España, s.f.)[20].

El material natural de concha de ostión se obtuvo de la Laguna de la Costa que está situada dentro de la localidad de Moralillo, en el municipio de Pánuco (en el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). Está situado exactamente a 38.2 km (hacia el W) del centro geográfico del municipio de Pánuco. Y está localizado a 0.69 km (hacia el W) del centro de la localidad de Moralillo.

Figura 1. Localización

[20] Charnela (Conjunto de dientes que forma la articulación de cierre de la concha de los moluscos bivalvos).

Se tomaron las muestras de conchas de ostión y se llevaron a laboratorio para ser trituradas y cribadas, con partículas de tamaño comprendido entre 75 micrómetros (malla Nº 200) y 4.75 milímetros (malla Nº 4), pudiendo contener finos de menor tamaño, dentro de las proporciones establecidas en la norma N-CMT-2-02-002/02.

Dosificación de la mezcla

Se realizó una dosificación que respetara la relación agua cemento establecida de 0.67, así como el porcentaje de material reciclado.

La dosificación empleada se muestra a continuación:

Tabla 3. Dosificación de las mezclas

Dosificación Nº	Cemento Kg.	Arena Kg.	Grava Kg.	Agua L	Concha Kg.
1	20	47	61	13.41	-
2	44	102	134	32	9.18

Observación. Se consideraron pesos volumétricos:

Cemento = 1250 Kg/m^3;
Arena= 1241 Kg/m^3
Absorción de la arena= 5.52%,
Agua= 1000 kg/m^3,
Concha de ostión = 940 kg/m^3 en estado compacto,
Grava= 1450 kg/m^3
Absorción de la grava= 0.55%

La fecha de elaboración de los especímenes fue el 21 de marzo del 2018 con una temperatura ambiente de 26.4°C y humedad relativa de 80%.

Las proporciones calculadas mediante cualquier método deben considerarse siempre como sujetas a revisión sobre la base de la experiencia obtenida con las mezclas de prueba.

Dependiendo de las circunstancias, las mezclas de prueba pueden prepararse en un laboratorio, o tal vez, preferentemente como mezcla en una prueba de campo.

Para la elaboración de la mezcla se procedió conforme a lo siguiente:

1. Se pesaron las cantidades de cada uno de los materiales a utilizar y se dejaron en recipientes de 20 litros.
2. Se midió el agua necesaria en probetas.
3. Se preparó y engrasó el equipo necesario para el muestreo y las pruebas,

como cono de revenimiento, termómetro, equipo para la determinación de masa volumétrica, etcétera.

4. Se aseguró que el funcionamiento o mecanismo de la revolvedora con capacidad de 0.6 m^3 fuera el correcto, al mismo tiempo se humedeció el tambor de mezclado y se escurrió totalmente el agua sobrante.

5. Previo al inicio de la rotación, se añadió el agregado grueso y algo de agua.

6. Se encendió la mezcladora y se añadió el agregado fino, el cemento y el resto del agua con la revolvedora en funcionamiento. Si esto es impráctico para una mezcladora en particular o para una prueba particular. Estos componentes (agregado fino, cemento y agua) pueden ser añadidos a la mezcladora detenida y permitiendo que esta gire unas pocas revoluciones, continuando la carga con el agregado grueso y algo de agua.

7. Luego que todos los componentes se encontraran en la mezcladora, con el cronómetro se contabilizó: 3 minutos de mezclado, continuando con un periodo de reposo de 3 minutos (se cubrió el extremo abierto de la mezcladora para prevenir la evaporación durante el periodo de reposo) se continuó con un periodo de mezclado final de 2 minutos.

8. Se vertió el concreto en una charola previamente humedecida.

9. Con el concreto de la bandeja se procedió a realizar la prueba de revenimiento y el llenado de los moldes de cilindros y vigas.

Nota: Inicie la prueba de revenimiento dentro de los cinco minutos siguientes a la obtención de la muestra de concreto. Para el molde de las muestras se tienen 15 minutos a partir de la fabricación del concreto. Según la norma NMX-C-156.

No se debe mezclar durante un periodo largo o mayor del especificado, pues habrá evaporación de agua en la mezcla, con la consecuente disminución de trabajabilidad y aumento de la resistencia. Otro efecto secundario es la trituración de los agregados, especialmente si no son duros, la granulometría se vuelve más fina y la trabajabilidad menor.

Tabla 4. Datos de la mezcla

Dosificación Nº	Humedad en mezcla %	Revenimiento cm	Temperatura ºC	Peso volumétrico de la mezcla Kg/m^3
1	11.81	9	25.00	2296
2	12.52	7	27.30	2290

Nota: el peso volumétrico de la mezcla se determinó mediante los procedimientos establecidos en la norma NMX-C-138-ONNCCE.

Se presenta a continuación los resultados obtenidos del ensaye a las muestras de concreto convencional.

Tabla 5. Resultados de la mezcla Nº 1

Espécimen Nº	Edad en días	Diámetro cm	Altura cm	Carga Kg	Esfuerzo de compresión Kg/cm^2
1	7	15.1	30	30000	167.50
2	7	15.1	30	30500	170.30
3	14	15.1	30	32250	180.07
4	14	15.1	30	32000	178.67
5	28	15.1	30	39500	220.55
6	28	15.1	30	41000	228.92

Tabla 6. Resultados de la mezcla Nº 1

Espécimen Nº	Edad en días	Ancho (a) cm	Altura (h) cm	Largo (l) cm	Distancia entre apoyos (L) cm	Carga (P) Kg	Esfuerzo de flexión Kg/cm^2
7	7	15	15	60	45	1 500	20.00
8	14	15	15	60	45	1 750	23.33
9	28	15	15	60	45	2 250	30.00

Se presenta a continuación la tabla correspondiente a la formación de cemento, arena, grava, agua y 3.0% de concha de ostión

Tabla 7. Resultados de la mezcla Nº 2

Espécimen Nº	Edad en días	Diámetro cm	Altura cm	Carga Kg	Esfuerzo de compresión Kg/cm^2
10	7	15.1	30	22 250	124.23
11	7	15.1	30	22 500	125.63
12	14	15.1	30	27 800	155.22
13	14	15.1	30	27 400	152.99
14	28	15.1	30	29 500	164.71
15	28	15.1	30	30 500	170.30

Tabla 8. Resultados de la mezcla Nº 2

Espécimen Nº	Edad en días	Ancho (a) cm	Altura (h) cm	Largo (l) cm	Distancia entre apoyos (L) cm	Carga (P) Kg	Esfuerzo de flexión Kg/cm²
16	7	15	15	60	45	1 450	19.33
17	7	15	15	60	45	1 400	18.67
18	14	15	15	60	45	1 850	24.67
19	14	15	15	60	45	1 900	25.33
20	28	15	15	60	45	1 950	26.00
21	28	15	15	60	45	2 000	26.67

Comentarios

Elaboración de los especímenes

Durante el proceso y elaboración de la mezcla para la formación de especímenes se realizaron 2 dosificaciones las cuales fueron descritas y asignadas como Nº 1 y 2 en la introducción del presente documento.

Se observó un comportamiento normal en el proceso de fraguado y pérdida de plasticidad durante la mezcla convencional, mientras que para la mezcla con concha de ostión, el tiempo de fraguado fue superior a las 24 horas.

Se obtuvieron porciones representativas del concreto en estado fresco, conforme al manual de métodos de muestreo de concreto hidráulico M-MMP-2-02-055, además de los trabajos de muestreo se realizaron trabajos de llenado de moldes, envasado e identificación, utilizando un total de 12 cilindros con una relación altura/diámetro = 2, de ∅ = 15 cm y 30 cm de altura; 6 muestras de concreto convencional y 6 con concha de ostión, para ensaye a edades de 7, 14 y 28 días; 9 vigas de 15 x 15 x 60 cm para pruebas de flexión; 3 de concreto convencional y 6 con el recurso natural.

Se determinó la humedad de cada mezcla en estado fresco, la mezcla Nº 1, la cual representa al concreto convencional, presentó un 11.81% de humedad; siendo el caso para la mezcla Nº 2 un porcentaje de humedad en el orden de 12.52%.

Los especímenes fueron curados mediante inmersión total en agua en una pileta de curado a temperatura ambiente.

Antes del ensaye, los especímenes fueron cabeceados para asegurar que las caras de aplicación de carga se mantengan perpendicular al eje de la muestra; se determinó la resistencia a la compresión simple de los especímenes cilíndricos mediante la aplicación de carga en máquina universal marca FORNEY modelo LT-1150, en un rango de aplicación de 75 000 kg con apreciación mínima de 250 kg a una velocidad de aplicación de 15 000 kg por minuto.

Valores de esfuerzo obtenidos en los especímenes a la edad de 7 días

El esfuerzo a compresión obtenido para la mezcla Nº 1 corresponde a 169 kg/cm^2.

Se realizaron pruebas para determinar los esfuerzos a flexión con vigas de sección 15.0 x 15.0 x 60.0 cm obteniendo valores de acuerdo a la expresión PL/ bd2, siendo P la carga axial aplicada, L longitud o claro de apoyos, b base y d la altura; para dicha mezcla se obtuvo un valor de 20 kg/cm^2.

Para la mezcla Nº 2 correspondiente al 3% de concha de ostión se presenta un esfuerzo a compresión de 125 kg/cm^2, esfuerzos de flexión de 19 kg/cm^2.

Dado que la falla se presentó dentro del tercio medio del espécimen, no fue necesario emplear factores de corrección.

Valores de esfuerzo obtenidos en los especímenes a la edad de 14 días

El esfuerzo a compresión obtenido a la edad de 14 días para la mezcla Nº 1, corresponde a 179 kg/cm^2.

Los esfuerzos a flexión obtenidos mediante la aplicación de carga en vigas, arrojó un valor de 23.33 kg/cm^2.

Para la mezcla Nº 2 correspondiente al 3% de concha de ostión se presenta un esfuerzo a compresión de 154 kg/cm^2, esfuerzos de flexión de 25 kg/cm^2.

Valores de esfuerzo obtenidos en los especímenes a la edad de 28 días

Se realizó una última prueba a la edad de 28 días, los esfuerzos obtenidos para la mezcla Nº 1 corresponde a 225 kg/cm^2, mientras que los esfuerzos a flexión fueron de 30.00 kg/cm^2.

Para la mezcla Nº 2 se presenta un esfuerzo a compresión a la edad de 28 días de 168 kg/cm^2, los esfuerzos de flexión obtenidos son de 26 kg/cm^2.

A continuación se muestra un gráfico de esfuerzo *vs* edad en días en el que se puede observar la evolución de las muestras de concreto.

Figura 2. Gráfico del esfuerzo a compresión vs edad en días

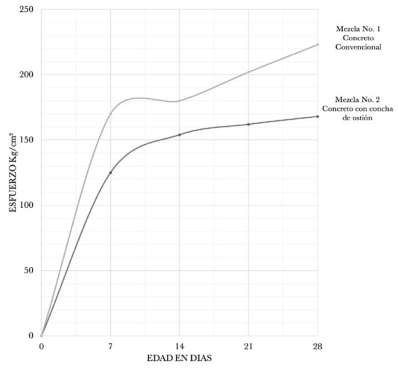
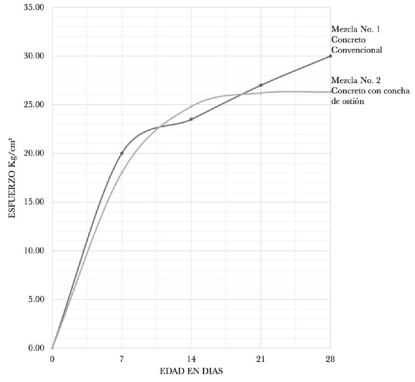


Figura 3. Gráfico del esfuerzo a flexión vs edad en días



Resumen general

La primera etapa de la investigación consistió en el análisis de forma individual de los agregados finos, gruesos y el material reciclado (concha de ostión) para obtener sus características y realizar el diseño de la mezcla de concreto.

Con la finalidad de obtener especímenes representativos de la mezcla de concreto, se muestrearon según lo establecido en la norma NMX-C-161-1997-ONNCCE, 12 especímenes cilíndricos de ∅= 6" h=12" y 9 especímenes muestreados en moldes prismáticos rectangulares de 15 x 15 x 60 cm; las muestras fueron identificadas y protegidas de la evaporación.

Los especímenes fueron curados en el laboratorio mediante inmersión total en agua, las edades de prueba establecidas fueron 7, 14 y 28 días.

Se cabecearon con azufre según lo establecido en la norma NMX-C-109-ONNCCE verificando los parámetros de tolerancia de planicidad y perpendicularidad.

Las masas volumétricas obtenidas de la muestra 1 y 2 fueron 2296 y 2290 kg/m^3, respectivamente.

Los esfuerzos a la compresión a la edad de 28 días en la muestra Nº 1 correspondiente a la mezcla de concreto sin material reciclado se encuentran en el orden de 225 kg/cm^2, mientras que los esfuerzos a flexión fueron de 30.00 kg/cm^2.

En el caso de la muestra Nº 2, el esfuerzo máximo a la compresión obtenido a la edad de 28 días es de 170 kg/cm^2 y 26.67 kg/cm^2 en flexión.

Conclusiones

Un concreto convencional bajo diseño descrito en el presente documento alcanzó esfuerzos a compresión en el orden de 220 kg/cm^2, de igual forma se presentó un esfuerzo a flexión de 30 kg/cm^2.

Con la adición de concha de ostión a un concreto convencional, se presentaron valores en compresión de 170 kg/cm^2 y esfuerzos a flexión de 27 kg/cm^2.

Dado lo anterior podemos concluir que la mayor contribución de los esfuerzos en las muestras con concha de ostión se genera en los primeros 7 días, a partir de ahí el concreto solo adquiere un 25% de su resistencia final.

La adición del material reciclado reduce los esfuerzos de compresión y flexión en los especímenes en un porcentaje aproximado de 23%.

Lista de referencias

CONAPESCA. (2015). *Consulta específica por producción.* Disponible en: http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion [15 de junio de 2015]

Essen. (2005). "Mycroscopy of historic mortars - a review". *Cement and Concrete Research*. 1-9.

Gobierno de España. (s.f.). *Crassostrea angulata* (Lamarck, 1819). Disponible en: http://www.ictioterm.es/nombre_cientifico.php?nc=202

Lovatelli, Farías, y Uriarte. (2007). *FAO Actas de pesca y acuicultura*, ISSN 2071-1026. Estado Actual del Cultivo y Manejo de Moluscos Bivalvos y su Proyección Futura.

Marín, Luquet, Marie, y Medacovic. (2008). "Molluscan Shell Proteins: Primary Structure, Origin, and Evolution". **UMR CNRS 5561 'Bioge´osciences,'* Universite´de Bourgogne Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France Centerfor Marine Research Rovinj, Ruder Boskovic Institute Giordano Paliaga, 52210 Rovinj, Croatia.

Nguyen, Boutouil, Sebaibi, Leleyter, y Baraud. (2013). "Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers", *Construction and Building Materials* 49, 2013, pp. 151-160.

Proyecto de norma mexicana PROY-NMX-C-021-ONNCCE-2001 (Industria de la construcción - Cemento para albañilería (mortero) - Especificación y métodos de prueba.

Reguero, y García-Cubas. (1991). *Moluscos de la Laguna Camaronera, Veracruz, México: Sistemática y Ecología*. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Schankrania. (s.f.). *Curado del concreto fresco.* Disponible en: http://www.arqhys.com/hidratacion-concreto.html

Webgrafía

https://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num12/reuso_de_desechos_de_conchas_de_ostion.php

http://www.personal.us.es/falejan/Propiedades%20de%20los%20morteros.pdf 3

https://www.aquahoy.com/noticias/moluscos/30248-exploran-mediante-la-nanotecnologia-beneficios-de-la-concha-de-ostion

http://fondecyt.gob.pe/ciencia-al-dia/peru-usan-restos-de-conchas-de-abanico-para-producir-concreto

https://www.onncce.org.mx/es/venta-normas/catalogo-de-normas

Capítulo 14. Monitoreo de la calidad del agua: alternativas emergentes

Adrián Vázquez Osorio[21], Juan Pablo Soto, Elvira Rolón Aguilar[22] y Julio César Rolón Aguilar

Resumen

El agua es un recurso vital, sin embargo, a pesar de que la mayoría del planeta se encuentra cubierto de agua, solamente un pequeño porcentaje corresponde a agua dulce. Asimismo, un bajo porcentaje del agua dulce corresponde al agua potable, es decir, agua útil para el consumo humano. La sociedad se ha encargado de contaminar las fuentes de agua dulce reduciendo cada vez más la cantidad de agua disponible para uso humano. El interés de este trabajo radica, particularmente, en el agua del río Sonora, contaminada desde 2014 debido a la industria minera. Se realiza una revisión sistemática sobre los mecanismos de monitoreo de la calidad del agua mostrando una comparación entre los diversos estudios desarrollados en este tema. Asimismo, se realiza una propuesta para el agua contaminada por la industria minera en el río Sonora.

Palabras clave: Monitoreo de la calidad del agua, Sistema multiagente, Agente inteligente.

Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida humana. A pesar de que alrededor del 71% del planeta está cubierto de agua, solamente el 2.5% es agua dulce. En países en desarrollo, el 80% de la población no tiene acceso al agua potable (Sarpong-Adu-manu, Tapparello, Heinzelman, Apietu-Katsriku, & Abdulai, 2017). El agua es ampliamente usada para la industria, para usos de la sociedad, para la agricultura, entre otros. Asimismo, el agua requiere del cumplimiento de una diversidad de características que conforman el estándar de la calidad del agua. Para asegurar que la calidad del agua cumpla con las especificaciones requeridas es necesario contar con sistemas que continuamente monitoreen los parámetros correspondientes y que se encuentren en los rangos permitidos.

Este documento se encuentra organizado de la siguiente manera, en la segunda sección se describen los antecedentes relacionados con el monitoreo de la calidad del agua. En la tercera sección se describe la metodología utilizada para

[21] Universidad de Sonora, México. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: juanpablo.soto@unison.mx

[22] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas.

obtener la revisión correspondiente al tema del monitoreo de la calidad del agua. Consecuentemente, la cuarta sección muestra los resultados obtenidos, presentando las características importantes de este tema. Finalmente, la quinta sección presenta las conclusiones de la realización de este trabajo, así como las vertientes a futuro de la información obtenida con la revisión sistemática.

Antecedentes

Desde hace algunos años, el medio ambiente ha sufrido un impacto devastador debido al incremento de la actividad humana. Particularmente en los países en desarrollo, las actividades de las compañías mineras contribuyen a impactos negativos en el medio ambiente. Actualmente, el agua es contaminada desde diferentes modalidades, incluyendo la modernidad de las grandes ciudades.

Para mitigar los problemas ambientales, se han desarrollado Sistemas de Monitoreo Ambiental en diversas áreas. Actualmente existen sistemas para monitorear la calidad del aire, la calidad del agua, seguimiento de animales, monitoreo de terremotos, entre otros. Particularmente, se considera que los sistemas para Monitoreo de Calidad del Agua (WQM por sus siglas en inglés: *Water Quality Monitoring)* son de mayor importancia debido a diferentes factores que afectan el agua, como: (1) cada criatura viviente necesita agua para vivir, (2) solamente el 2.5% del agua disponible es agua dulce, (3) aproximadamente el 20% de la población mundial no tiene acceso a agua potable (Sarpong-Adu-manu et al., 2017).

La calidad del agua describe la composición del agua con referencia a sus propiedades químicas, físicas y biológicas; por ende, requiere de constante monitoreo y en caso de contaminación biológica o química tomar decisiones en tiempo real para mitigar las consecuencias. Un WQM puede ser descrito como un método para muestrear y analizar periódicamente las condiciones y las características del agua (Sarpong-Adu-manu et al., 2017). Usualmente involucra monitorear fuentes de agua dulce como ríos, lagos, manantiales, aguas subterráneas, pozos, etcétera, para asegurar que la fuente de agua proporciona agua confiable para su consumo y para actividades diarias. La Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés: *World Health Organization*) ha determinado parámetros que especifican las cantidades permitidas de ciertos químicos que pueden ser encontrados en el agua, tales como magnesio, manganeso, calcio, sodio, entre otros.

El desarrollo de sistemas para WQW es dirigido al ámbito de agentes inteligentes, ya que estos últimos representan tecnología para construir sistemas de *software* complejo. Los agentes inteligentes son una opción para el desarrollo de sistemas de monitoreo, debido a la simplicidad de representar sistemas complejos; particularmente, son útiles en sistemas que requieran constante monitoreo y toma

de decisiones. Con esto en mente, se construyen los Sistemas Multi-agente (MAS por sus siglas en inglés: *Multi Agent System*), los MAS están compuestos por al menos dos agentes inteligentes que pueden interactuar entre ellos (Oprea & Nichita, 2007). Además, las redes de sensores inalámbricos llegan a brindar un gran apoyo a los agentes inteligentes, específicamente en el tema relacionado con la calidad del agua.

Existen dos enfoques en el desarrollo de sistemas WQW basados en agentes inteligentes. La primera línea consiste en la administración de información utilizando bases de datos distribuidas y tecnología orientada a objetos; el objetivo es usar agentes *software* para el procesamiento eficiente de la información distribuida. La segunda línea es el desarrollo de *software* capaz de pronosticar eventos y emitir advertencias para la mitigación de desastres; estos sistemas utilizan técnicas de inteligencia artificial (redes neuronales, minería de datos) para la identificación de incidentes ambientales por adelantado (Oprea & Nichita, 2007).

Los MAS representan la mejor solución para sistemas de WQM ya que las aplicaciones son modulares (los sistemas de distribución de agua están hechos por módulos), descentralizadas (pueden descomponerse en estaciones autónomas distribuidas geográficamente), adaptable (la estructura del sistema puede cambiar a medida que se agregan nuevas entidades o se reemplazan entidades antiguas) y complejas (las entidades presentan diversos comportamientos que pueden interactuar en maneras sofisticadas, asimismo, la cantidad de entidades puede ser muy grande). De forma más general, estos sistemas son robustos (se puede evitar un punto de falla), eficientes (cálculos menos complejos si el control se distribuye), flexibles (el lenguaje de comunicación del agente permite interacciones complejas), abiertos (por utilizar el estándar FIPA, el agente puede ser diseñado por diferentes desarrolladores), escalable (es fácil agregar nuevos agentes a un MAS) (Oprea & Nichita, 2007).

En este trabajo se pretende obtener información relevante para el monitoreo de la calidad del agua, particularmente en los ríos, de tal forma que pueda ser aplicable al caso de la contaminación del río Sonora.

Materiales y métodos

Este proceso se encuentra basado en la metodología planteada por Kitchenham (Kitchenham et al., 2009). El objetivo de este trabajo es la revisión de literatura enfocada en los temas de monitoreo de la calidad del agua y sistemas multiagente.

Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación son la guía para identificar las referencias bibliográficas que permiten dejar en claro donde encaja la investigación que se está proponiendo. Las preguntas consideradas para este trabajo son las siguientes:

Pregunta 1. ¿Cuáles son los factores indispensables para medir la calidad del agua?

Pregunta 2. ¿Existen arquitecturas de *software* basadas en sistemas multiagente para monitorear la calidad del agua de los ríos?

Respecto a la pregunta 1, es importante conocer los elementos que son medibles para garantizar la calidad del agua, en particular, conocer si el agua es consumible por el ser humano o bien que puede ser utilizada para riego de plantas.

La pregunta 2 es la parte central de este trabajo, conocer si existen herramientas tecnológicas que permiten monitorear en tiempo real la calidad del agua, particularmente en ríos, aunque pueden ser considerados otros elementos como los lagos, lagunas, etcétera.

Proceso de búsqueda

Para la obtención de los términos a buscar, se realizó un análisis de las preguntas elaboradas, llegando a los siguientes temas de búsqueda:

(1) *Water Quality Monitoring*
(2) *Water Pollution Monitoring*
(3) *Software agent*
(4) *Multiagent System*
(5) *Multi-agent System*

Con base en estos temas, se conforma la estructura de la consulta que se va a realizar, conectando con OR los temas de la misma área y con AND los temas de áreas diferentes; en resumen, la consulta queda de la siguiente manera "(1 or 2) and (3 or 4 or 5)".

Para la realización de la búsqueda, se detectaron diferentes sitios que manejan información sobre temas de investigación. Para este trabajo se consideraron solamente artículos escritos en inglés o en español y que estuvieran disponibles para consulta. La Tabla 1 muestra el listado de fuentes de información utilizadas, obtenidas de los trabajos de (Hossain, Babar, & Paik, 2009) y (Monasor, J. F., y Vizcaino, 2011).

Tabla 1. Fuentes de bases de datos

Nombre	Enlace
ACM Digital Libray	https://dl.acm.org
AIS eLibrary	http://aisel.aisnet.org
Elsevier Science Direct	https://onlinelibrary.wiley.com
Google Scholar	https://scholar.google.com
IEEE Xplore	https://ieeexplore.ieee.org
Scopus	https://www.scopus.com
SpringerLink	https://link.springer.com

Para realizar las búsquedas correspondientes, cada base de datos tiene su correspondiente esquema de búsqueda; a pesar de ser esquemas muy similares, algunos presentan ligeros cambios en su estructura. Para este trabajo se realizaron las siguientes solicitudes de búsqueda en cada una de las fuentes mencionadas, tal como se muestra a continuación.

ACM Digital Libray

(*+water +quality +monitoring +water +pollution +monitoring*

(*multi-agent system "multi agent" software agent*)

AIS eLibrary

(*water quality monitoring or water pollution monitoring*) *and*

(*software agent or multi-agent system or multiagent system*)

Elsevier Science Direct

("*water quality monitoring*" *or* "*water pollution monitoring*") *and*

("*multiagent system*" *or* "*multi-agent system*" *or* "*software agent*")

Google Scholar

"*water quality*" "*monitoring*" "*water pollution*"

"*multi agent system*" "*multi-agent system*" "*software agent*"

IEEE Xplore

((*water and quality and monitoring*) *or* (*water and pollution and monitoring*)) *and*

((*software and agent*) *or* (*multiagent and system*) *or* (*multi-agent and system*))

Scopus

("*water quality monitoring*" *or* "*water pollution monitoring*") *and*

("*multiagent system*" *or* "*multi-agent system*" *or* "*software agent*")

SpringerLink

("*water quality monitoring*" *or* "*water pollution monitoring*") *and*

("*software agent*" *or* "*multi-agent*" *or* "*multiagent system*")

Criterios de inclusión

El criterio de inclusión/exclusión utilizado para seleccionar los estudios primarios relevantes se aplicó sobre el título y resumen de cada documento. Sin embargo, en algunos casos fue necesario revisar el texto completo del documento para asegurar que era relevante. Durante la selección de trabajos, se tuvo en cuenta que algunos resultados aparecen en más de una fuente, por lo que los estudios repetidos se identificaron.

Tras consultar las fuentes de datos, se recuperaron un total de 25 documentos, de los cuales 22 resultaron documentos no repetidos. Una vez aplicado el criterio de inclusión/exclusión a cada uno de ellos, sólo 8 se consideraron relevantes para las preguntas que esta revisión ha considerado. La Tabla 2 muestra el número total de resultados y estudios primarios obtenidos de cada fuente.

Extracción de información

La extracción consiste en la información relevante al tema de investigación que se ha logrado obtener de los estudios primarios considerados en la Tabla 2. A continuación, se muestra una breve reseña de cada uno de los documentos seleccionados.

Tabla 2. Documentos obtenidos en la búsqueda

Fuente	Total	No repetidos	Primarios
ACM Digital Libray	22	2	2
AIS eLibrary	2	2	0
Elsevier Science Direct	6	6	2
Google Scholar	3	3	2
IEEE Xplore	2	2	1
Scopus	3	1	0
SpringerLink	7	6	1
Total	25	22	8

Documento 1. *Applying Agent Technology in Water Pollution Monitoring Systems* (Oprea & Nichita, 2007). Los autores se enfocan en una aplicación de monitoreo de contaminación del agua basado en agentes inteligentes. Este trabajo se desarrolló en Rumania para satisfacer la legislación europea. El sistema consiste en varias estaciones (cada una representada por un agente) que monitorean la calidad del agua y cuando exceden la medida de ciertos parámetros se envían alertas a un supervisor (agente supervisor). Este trabajo consiste en el diseño de un prototipo para futura implementación.

Documento 2. *An agent-based model for water quality control* (Nichita & Oprea, 2007). Los autores presentan la arquitectura desarrollada para un sistema de monitoreo de la calidad del agua, la cual consiste en la representación de tres estaciones de monitoreo: una estación de supervisión y dos estaciones regulares; cada estación es controlada por agentes inteligentes y dispositivos de medición. Asimismo, presentan un ejemplo de una aplicación desarrollada. Por último, proponen un modelo basado en agentes con la capacidad de tomar decisiones en tiempo real, considerando esto como un primer paso en el desarrollo de sistemas de este tipo.

Documento 3. *On the Distributed Water Pollution Control Solving with an Agent-Based Approach* (Oprea & Nichita, 2008). Los autores se basan en un sistema de monitoreo de la calidad del agua, basado en agentes inteligentes, para mostrar la solución de un problema distribuido geográficamente. Los autores determinan los parámetros principales requeridos para medir la calidad del agua; presentan una arquitectura del sistema de monitoreo en la cual se muestra la funcionalidad de los agentes inteligentes. Este trabajo hace hincapié en la necesidad de desarrollar un sistema predictivo que proporcione alertas cuando es inminente una situación de peligro.

Documento 4. *Agents as a Decision Support Tool in Environmental Processes: The State of the Art* (Aulinas, Turon, & Sanchez-Marr, 2009). Los autores se enfocan en los problemas ambientales, que tanto afectan a la sociedad actual, tales como la contaminación del agua (incluyendo océanos, ríos, lagos, etcétera), la contaminación del aire y la contaminación del suelo. Asimismo, proporcionan una lista de sistemas desarrollados para resolver algunos de estos problemas; estos sistemas son categorizados en: Administración de información ambiental, Sistemas de soporte de decisiones ambientales y Sistemas de simulación ambiental. En todo momento, presentan a los agentes inteligentes como la mejor opción para el desarrollo de estos sistemas complejos.

Documento 5. *A Wireless Sensor Network Based Water Monitoring System* (Rekhis, Ellouze, & Boudriga, 2012)these systems are highly expensive and complex, offer inaccurate pollution positions, and do not perform auto-diagnosis to recover from faults and cope with the characteristics of the monitored environment. In this paper, we propose a novel water quality monitoring platform which combines Wireless Sensor Networks (WSNs. Los autores proponen una plataforma para monitorear la calidad del agua, en la cual utilizan redes de sensores inalámbricos (WSN por sus siglas en inglés: *Wireless Sensor Networks*) y sistemas de identificación de radio frecuencias (RFID por sus siglas en inglés: *Radio Frequency Identification*). La plataforma consiste en un conjunto de sensores móviles, los cuales integran lectores RFID introducidos en la entidad acuática (río, lago, océano, etcétera) para después recogerlos; estos sensores se mueven con el flujo del agua, a la vez que van

realizando mediciones de la calidad; un conjunto de tarjetas RFID son colocadas en las orillas de la entidad acuática para referenciar la ubicación de los sensores móviles. Los autores argumentan que con esta plataforma se obtienen ventajas de costo, energía y desempeño, entre otros factores, aunque no proporcionan un prototipo, se muestran resultados de una simulación realizada.

Documento 6. *Multi-Agent Based Simulation of Environmental Pollution Issues: A Review* (Ghazi, Khadir, & Dugdale, 2014)specifically pollution are considered as major concerns in many cities in the world. They have a direct influence on our health and quality of life. The use of computers models can help to forecast the impact of human activities on ecosystem equilibrium. We are interested in the use of MAS (Multi-Agent System. Los autores proporcionan una revisión literaria de estudios realizados en modelación y simulación de entornos ambientales, todos ellos basados en el enfoque de agentes inteligentes y haciendo énfasis en los tres componentes de un problema ambiental: social, económico y ecológico. Entre los sistemas presentados se encuentran la calidad del aire, la evolución de especies (corales, tortugas marinas, bosques, etcétera), el comportamiento de sociedades en ciudades, la agricultura y la contaminación del agua entre otros.

Documento 7. *An Ontology-based Knowledge Modelling Approach for River Water Quality Monitoring and Assessment* (Xiaomin, Jianjun, Xiaoci, & Shaoli, 2016). Los autores presentan una ontología del modelado para evaluar la calidad del agua en un río, para representar los datos de la calidad del agua y construir la relevancia semántica entre los conceptos involucrados. El *framewok* presentado consiste en la capa de adquisición de datos, la capa de administración y comunicación y la capa de evaluación de datos. Este sistema se valida con 5 muestras de agua.

Documento 8. *Water quality monitoring using wireless sensor networks: Current trends and future research directions* (2017) (Sarpong-Adu-manu et al., 2017). Los autores presentan una revisión de trabajos desarrollados en el monitoreo de la calidad del agua, desde los métodos tradicionales hasta los métodos tecnológicos más avanzados. Los métodos tradicionales consisten en viajar a la fuente de agua, tomar muestras de ella, y transportarlas a laboratorio para realizar un análisis de ella; mientras que los métodos avanzados utilizan redes de sensores inalámbricos (presentan una lista de los sensores del mercado) capaces de detectar diferentes parámetros (los cuales se muestran en una tabla) de la calidad del agua *in situ*. Finalmente, presentan una gama de posibles trabajos de desarrollo futuro.

Resultados y discusión

Después de revisar la información de cada trabajo desarrollado, se han clasificado en dos rubros: (a) trabajos de antologías y (b) trabajos de aplicación.

Los trabajos de antologías corresponden a los documentos Documento 4 y Documento 6. En la Tabla 3 se presenta una lista de los sistemas desarrollados que inciden directamente en este trabajo. A pesar de que los autores presentan varios sistemas, realmente son muy pocos los que se enfocan en el monitoreo del agua.

Tabla 3. Sistemas desarrollados

Sistema	Descripción	Agentes	Estado
Control-MWS	Sistema de monitoreo de contaminación del agua de un sistema de agua municipal	Estación de bombeo, tanque	Implementado
WPSMS	Monitoreo de la contaminación del agua para el cumplimiento regulatorio	Monitor, supervisor y contro	Modelado

Los trabajos de aplicación se analizaron para obtener información relevante de cada uno de ellos. En la Tabla 4 se presentan las características consideradas mayormente importantes en los documentos revisados.

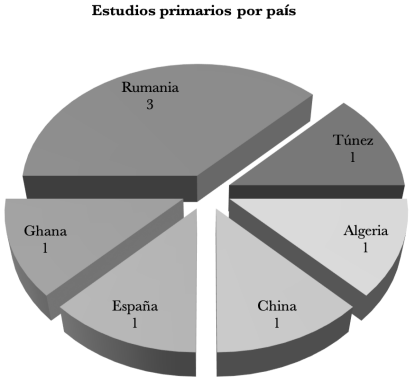
Tabla 4. Comparativa de arquitecturas desarrolladas

Fuente	Tecnología	Arquitectura	Parámetros
Doc. 1. (Mihaela Oprea & Nichita, 2007) (Rumania)	Analizadores automáticos. Sistemas multiagentes Metodología GAIA	Basada en entidades: agentes (monitor, supervisor y control). Dispositivos de medición. Operador manual.	Temperatura, turbiedad, conductividad, cloro.
Doc. 2. (Nichita & Oprea, 2007) (Rumania)	Redes de sensores Espectómetros UV-VIS. Metodología TROPOS, UML, FIPA, JADE.	Interacción entre agentes. Modelo de tres estaciones: estación supervisora y 2 estaciones regulares. Cada estación incluye: agente supervisor, dispositivo de control de contaminación, agente administrador de datos y agente de razonamiento.	Turbiedad, carbono orgánico, nitrato, benceno, amonio (NH4), oxígeno disuelto (DO), PH, potencial de oxidación-reducción (ORP), redox, conductividad eléctrica, temperatura.
Doc. 3. (Mihaela Oprea & Nichita, 2008) (Rumania)	Metodología GAIA. Agente UML.	Interacción entre agentes. Modelo de tres estaciones: estación supervisora y 2 estaciones regulares. Cada estación incluye: agente supervisor, dispositivo de control de contaminación, agente administrador de datos y agente de razonamiento.	Lluvia, flujo, color, PH, sólidos, conductividad, turbiedad, tamaño de partículas, desinfectante residual, materia orgánica, amonio.

Fuente	Tecnología	Arquitectura	Parámetros
Doc. 5. (Rekhis et al., 2012). (Túnez)	Redes de sensores inalámbricos (WSN). Identificación de radiofrecuencias (RFID).	Sensores con lectores de RFID interactuando con tarjetas RFID localizadas en lugares fijos.	PH, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad.
Doc. 7. (Xiaomin et al., 2016) (China)	Redes de sensores inalámbricos (WSN). Sintaxis Protégé, OWL. Jena. Sparql.	El Sistema de monitoreo consiste en 3 capas: Adquisición de datos, comunicación y administración, evaluación de datos.	PH, temperatura, conductividad, fluoruro, plomo, cromo, cadmio, cobre.

Adicionalmente, se considera de interés realizar una clasificación de acuerdo con el país en el cual se ha desarrollado el trabajo, esto se presenta en la Figura 1; en la gráfica se muestra el país, la cantidad de documentos y el porcentaje de dicha cantidad.

Figura 1. Estudios primarios divididos por país



En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de los documentos seleccionados, los cuales se presentan mayoritariamente en el continente europeo y el continente africano.

Figura 2. Localización geográfica de los estudios primarios

Entre las cosas importantes por analizar de la revisión sistemática realizada, destacan la cantidad de documentos encontrados, los sistemas desarrollados, la ubicación geográfica de los trabajos desarrollados, así como los autores de dichos trabajos. Como primer punto, se puede ver que el número total de resultados (25 documentos) es pequeño en comparación con los resultados obtenidos en revisiones sistemáticas realizadas en otras áreas de interés, más aún si consideramos el reducido número de estudios primarios (8) identificados. Sin embargo, este número no es un resultado malo para la revisión sistemática puesto que puede indicar que existe una necesidad de mayor desarrollo en esta área, se puede considerar una evidencia que la investigación disponible hasta la fecha en este tema es pequeña y que, en principio, todavía queda trabajo por realizar. Como nota adicional, se realizaron búsquedas sobre el tema del agua y el tema de agentes inteligentes en forma independiente, obteniéndose cantidades mayores a los 70 000 y 60 000 documentos respectivamente.

Como segundo punto, se puede mencionar que existe una gran cantidad de sistemas de monitoreo ambientales, según lo establecido en Aulinas et al. (2009) y Ghazi et al. (2014)specifically pollution are considered as major concerns in many cities in the world. They have a direct influence on our health and quality of life. The use of computers models can help to forecast the impact of human activities on ecosystem equilibrium. We are interested in the use of MAS (Multi-Agent System. A pesar de ello, existen pocos sistemas enfocados en la contaminación del agua (en comparación con los sistemas enfocados en la contaminación del aire). Más aún, la mayoría de los trabajos desarrollados se encuentran en etapas de modelado y/o simulación. Cabe mencionar que los trabajos se basan en las regulaciones establecidas por el país donde se desarrollan, sin embargo, existen regulaciones internacionales que pueden ser aplicadas. Además, los trabajos manejan sus propios

parámetros de medición, coincidiendo en algunos, pero varían de acuerdo con los dispositivos de medición utilizados en cada sistema presentado.

En tercer lugar, se puede ver que la mayor cantidad de desarrollo se encuentra en Europa y África, lo cual no es de asombrarse, ya que de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (UN por sus siglas en inglés: *United Nations*), África es el continente que mayormente sufre los problemas de contaminación y distribución de agua potable. Un punto importante por considerar es que Oprea y Nichita son las personas que han producido la mayor cantidad de trabajos relacionados con este tema.

Finalmente, los trabajos realizados son relativamente recientes, siendo del año 2006 el más antiguo, hasta el año 2017 que corresponde al trabajo más reciente. Esto lleva a pensar que el tema de monitorear la calidad del agua es un tema que está tomando importancia en los últimos años. Es importante indicar que los primeros 3 documentos descritos (Oprea & Nichita, 2007), (Nichita & Oprea, 2007) y (Oprea & Nichita, 2008) corresponden a los mismos autores, con esto, probablemente se hace referencia al mismo sistema de monitoreo desarrollado.

Conclusiones

Este trabajo presenta una revisión sistemática de los sistemas de monitoreo de la calidad del agua que recoge y analiza la investigación más importante llevada a cabo en este tema hasta la fecha, logrando con esto, ubicar nuevas actividades de investigación. Se puede corroborar que los sistemas de monitoreo son un tópico reciente que contiene diversas opciones de desarrollo, siendo la calidad del agua uno de los problemas ambientales principales, aunado a los problemas de contaminación del aire, contaminación del suelo, entre otros.

Como resultado de la revisión sistemática se discutieron varios sistemas de monitoreo, sin embargo, la mayoría solamente presentan una simulación en lugar de aplicaciones reales de campo. Por otro lado, se realza la importancia y utilidad que tienen los agentes inteligentes en el diseño de estos sistemas.

En la revisión de este trabajo se obtuvieron diversos parámetros de medición de la calidad del agua, así como referencias de la tecnología que puede medir dichos parámetros.

Entre las problemáticas reconocidas con esta revisión se encuentran determinar la correcta distribución de sensores inalámbricos, la administración de la energía de los sensores, la modelación genérica de la estructura de los ríos.

Se deduce que es necesario implantar un WQW en el río Sonora. Para lograr esto, es necesario el desarrollo de un sistema que pueda simular el proceso del monitoreo; se requiere del diseño de la interacción de agentes inteligentes, la

asignación de tareas específicas y la simulación de entidades involucradas. Se sugiere la utilización de la metodología INGENIAS, la cual contiene los elementos necesarios para elaborar los modelos requeridos, contiene una notación para modelar MAS y una colección definida para guiar en el proceso de desarrollo en las tareas de análisis, diseño, verificación y generación de código, respaldado por un conjunto integrado de herramientas (*kit* de desarrollo INGENIAS: IDK). INGENIAS se basa en la organización de conceptos desde cinco puntos de vista: organizacional, agente, metas/tareas, interacciones y entorno (Pavón, Gómez-Sanz, & Fuentes, 2005) los cuales permiten modelar completamente los agentes inteligentes involucrados en el sistema de monitoreo.

Agradecimientos

Este trabajo es parcialmente apoyado por Conacyt mediante el convenio 291 236 y por la Universidad de Sonora a través del convenio R/494/2017.

Referencias

Aulinas, M., Turon, C., y Sanchez-Marr. (2009). "Agents as a Decision Support Tool in Environmental Processes: The State of the Art". In *Advanced Agent-Based Environmental Management Systems*.

Ghazi, S., Khadir, T., y Dugdale, J. (2014). "Multi-Agent Based Simulation of Environmental Pollution Issues: A Review". *Communications in Computer and Information Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07767-3_2.

Hossain, E., Babar, M. A., y Paik, H. (2009). "Using Scrum in Global Software Development: A Systematic Literature Review". In *2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering*. https://doi.org/10.1109/ICGSE.2009.25.

Kitchenham, B., Pearl-Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., y Linkman, S. (2009). "Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review". *Information and Software Technology*. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009.

Monasor, J. F., Vizcaino, A., y Piattin. M. (2011). Docencia *en Desarrollo Global de Software: Una Revisión Sistemática*. In *Jornadas de Enseñanza de la Informática* (pp. 241-248). Sevilla.

Nichita, C., y Oprea, M. (2007). "An agent-based model for water quality control". *Computer Aided Chemical Engineering*. https://doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80227-6.

Oprea, M., y Nichita, C. (2007). "Applying agent technology in water pollution monitoring systems". In *Proceedings of the 8th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, SYNASC 2006* (pp. 233–238). IEEE. https://doi.org/10.1109/SYNASC.2006.17.

Oprea, M., y Nichita, C. (2007). "Applying agent technology in water pollution monitoring systems". In *Proceedings of the 8th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms*

for Scientific Computing, SYNASC 2006 (pp. 233–238). https://doi.org/10.1109/SYNASC.2006.17.

Oprea, M., y Nichita, C. (2008). "On the distributed water pollution control solving with an agent-based approach". In *Studies in Computational Intelligence*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74930-1_32.

Pavón, J., Gómez-Sanz, J., & Fuentes, R. (2005). "The INGENIAS Methodology and Tools". *Agent-Oriented Methodologies*. https://doi.org/10.4018/978-1-59140-581-8.

Rekhis, S., Ellouze, N., & Boudriga, N. (2012). "A wireless sensor network based water monitoring system". In *Proceedings of the 8h ACM symposium on QoS and security for wireless and mobile networks - Q2SWinet '12*. https://doi.org/10.1145/2387218.2387225.

Sarpong-Adu-manu, K., Tapparello, C., Heinzelman, W., Apietu Katsriku, F., y Abdulai, J. (2017). "Water Quality Monitoring Using Wireless Sensor Networks: Current Trends and Future Research Directions". *ACM Transactions on Sensor Networks*. https://doi.org/10.1145/3005719.

Xiaomin, Z., Jianjun, Y., Xiaoci, H., y Shaoli, C. (2016). "An Ontology-based Knowledge Modelling Approach for River Water Quality Monitoring and Assessment". In *Procedia Computer Science*. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.146.

Capítulo 15. Factibilidad del uso de algas de agua dulce como biofertilizante en zonas cañeras

Leonor Toledo Barajas, Ruth del Carmen Galindo [23], Irving Román García Cantero

Resumen

Los biofertilizantes son productos preparados con base de microorganismos como bacterias, algas y hongos, que se encuentran viviendo en simbiosis con las plantas y ayudan de manera natural a su nutrición, además de permitir al suelo obtener nutrientes necesarios para aumentar su calidad. Dentro de este estudio se determinó que algunas algas de agua dulce encontradas en el canal de riego de las zonas cañeras pertenecían al género *Spirogyra*. El impacto ambiental para sustituir parcialmente la fertilización sintética se observa que el cambio es positivo ya que se disminuirá la contaminación generada por los agroquímicos. El empleo de biofertilizantes ha crecido en las últimas dos décadas. Tal utilización masiva surge como resultado de la amplia demanda de materia prima para los procesos productivos y abastecimiento de alimentos en el mundo. Los biofertilizantes actúan como sustitutos de fertilizantes químicos tradicionales, brindan buenos rendimientos en las cosechas, favorecen el crecimiento de frutos sanos, resistentes al ataque de plagas y ofrecen facilidades para su aplicación. Además, los nutrientes esenciales, contenidos en los biofertilizantes, poseen características fisicoquímicas y biológicas apropiadas para el suelo, lo cual implica incrementos de productividad en el sector agrícola global.

Palabras clave: Biofertilizantes, desarrollo agrícola, impacto ambiental.

Introducción

La creciente necesidad de abastecimiento de productos agrícolas para la alimentación y transformación en bienes de consumo por parte de la sociedad moderna ha suscitado un inmenso desarrollo de actividades agrícolas en las últimas décadas. Como resultado de ello, se ha percibido la necesidad de implementar métodos que permitan, entre otras cosas, mejorar la eficiencia de los cultivos, mitigar efectos adversos sobre el suelo, disminuir la tasa de uso de fertilizantes químicos, aumentar las ganancias por área cultivada.

La fertilización biológica se basa en la utilización de insumos naturales (abonos, restos de descomposición de materia orgánica, algas, excesos de cosechas,

[23] Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los autores ponen a la disposición de los lectores la siguiente dirección electrónica: rgalindo@docentes.uat.edu.mx

aguas residuales domésticas, estiércol animal y microorganismos como hongos, bacterias) para mejorar la fijación de nutrientes en la rizósfera, producir estimulantes de crecimiento para las plantas, mejorar la estabilidad del suelo, facilitar el control biológico, biodegradar sustancias y reciclar nutrientes.

Las algas de agua dulce son especies que tienen la capacidad de reproducirse rápidamente. Algunas de las ventajas es que absorben el CO^2 de la atmósfera, también tienen la capacidad de convertir la materia prima en energía y por lo tanto en gran variedad de biocombustibles y biofertilizantes. Existen en cualquier ambiente imaginable y puede soportar temperaturas extremas, irradiación, la sequía y la salinidad. Sin embargo, la condición ambiental de México influirá en su cultivo en caso de querer recrear el ambiente específico para cultivarlas.

Se debe de tomar en cuenta el rango de los parámetros para realizar un cultivo de algas (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones generales para los cultivos de algas

Parámetros	Rango
densidad celular (g.l-1)	> 3
Temperatura ºC	28 - 35
Salinidad (g-l-1)	dic - 40
Intensidad de la luz	1 000 - 10 000
pH	07 - sep
Oxígeno disuelto	150%

Adicionalmente, el uso de biofertilizantes permite mejorar la productividad por área cultivada en corto tiempo, consumir menores cantidades de energía, mitigar la contaminación del suelo y el agua e incrementar la fertilidad del suelo. Lo anterior se ve traducido en beneficios económicos para los agricultores, por efecto de los menores costos asociados al proceso de fertilización y obtención de mayores rendimientos en los cultivos.

La utilización de las algas como fertilizante se remonta al siglo XIX, cuando los habitantes de las costas recogían las grandes algas pardas arrastradas por la marea y las aportaban en sus terrenos. También se pueden obtener fosfatos y micronutrientes de medios con presencia de minerales insolubles. Esta capacidad les confiere un nivel de superioridad con respecto a otras especies, dado el aporte de nutrientes esenciales para la fertilización de suelos y de otros sustratos.

A comienzos del siglo XX, se desarrolló una pequeña industria basada en el secado y la molienda de algas, pero se debilitó con la llegada de los fertilizantes químicos sintéticos. Roditti (2017) sostienen que las cantidades de fertilizantes deben basarse en los resultados de las pruebas de suelo. Las aplicaciones de fertilizantes en bandas se recomiendan en lugar de las aplicaciones de fertilizantes al voleo.

En México el mayor impacto de los biofertilizantes fue en los años 70 y 80 con la fijación biológica de nitrógeno en soya y garbanzo, donde se logró sustituir la fertilización nitrogenada en Sinaloa que en ese tiempo fue el principal productor nacional de estas leguminosas (Armenta-Bojórquez et al., 2010), la utilización de inoculantes comerciales a base de Rhizobium fue una práctica generalizada por los productores agrícolas, además de ser recomendada por los centros de investigación (INIFAP, 1990). En la actualidad, debido al aumento de la popularidad de la agricultura orgánica, se busca revitalizar esta industria, por lo que en esta investigación se busca determinar el grado de factibilidad de esta acción.

Los problemas de fertilidad son resueltos principalmente con fertilizantes sintéticos, pero los efectos adversos al medio ambiente han orientado a buscar nuevas estrategias como los biofertilizantes (Rabie y Humiany, 2004).

Objetivo del estudio

Determinar la factibilidad del empleo del uso de algas de agua dulce como biofertilizantes en una zona cañera para verificar la eficiencia, rendimiento, costo y productividad de esta alternativa contra los fertilizantes químicos.

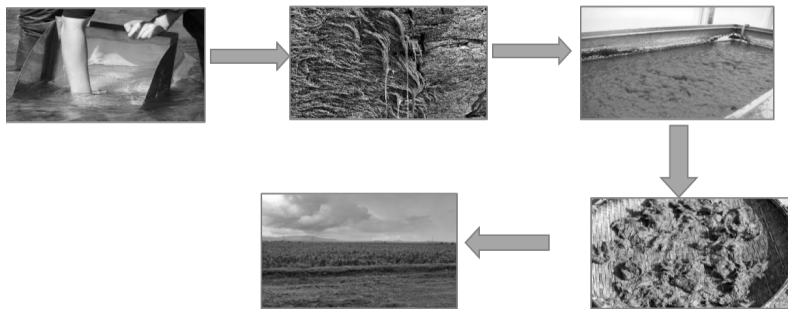
Se encuentran estudios de caso donde el uso de biofertilizantes como alternativa para productores agrícolas mexicanos ya fueron aplicados entre los años de 1999 y 2000 donde se utilizaron cerca de 3 millones de hectáreas para diversos cultivos, dándole seguimiento la Institución Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Materiales

Las algas fueron muestreadas en el canal de riego de las zonas cañeras ubicado en el área de Ciudad Mante, Xicoténcatl, Tamaulipas, en el noreste de México.

Se aplicará el alga de agua dulce en una pequeña parcela como biofertilizante, de ahí se realizará la verificación de eficiencia de nutrientes, el efecto que tienen los mismos en las plantas en condiciones de campo, por ejemplo, la altura y el crecimiento de las plantas, el color de estas, así como el rendimiento de azúcar.

Figura 1. Extracción de algas de agua dulce y aplicación de las mismas



Se utilizaron las algas de agua dulce, en una preparación base que fue igual para todos los tratamientos, variando únicamente el porcentaje de cada aditivo de acuerdo con el peso de la preparación mencionados en la Tabla 2.

Tabla 2. Preparación y concentracion de las algas como compostaje

Tratamiento	Descripción
T1	Algas (75%) del volumen total del compost
T2	Algas (50%) del volumen total del compost
T3	Algas (35%) del volumen total del compost

Dentro de la tabla 3 se muestra el control de acuerdo con las categorías que se deben tomar en cuenta para reproducir las algas.

Tabla 3. Operacionalidad de variables

Categorías	Indicador	Técnica
Descomposición	Días	Observación estructural (registro)
Físicas	Rendimiento (Kg)	Observación estructural (registro)
	Temperatura (ºC)	
Químicas	Macro y micronutrientes	Observación estructural (informe)
	pH	

Diseño experimental

La primera parte de esta investigación se centró en la preparación y utilización de algas de agua dulce, en una preparación base que fue igual para todos los tratamientos, variando únicamente el porcentaje de cada aditivo de acuerdo con el peso de la preparación. Se seleccionaron estos porcentajes de adición con base en la disponibilidad y accesibilidad de las algas. Para el ensayo se empleó un diseño de bloques completamente al azar con 3 tratamientos y 2 repeticiones. Se elaboró un total de 30 kg de compost, el mismo que se fraccionó para cada uno de los tratamientos.

Resultados

Después de la extracción de las algas de agua dulce se analizó la composición de los minerales presentes en las algas de agua dulce:

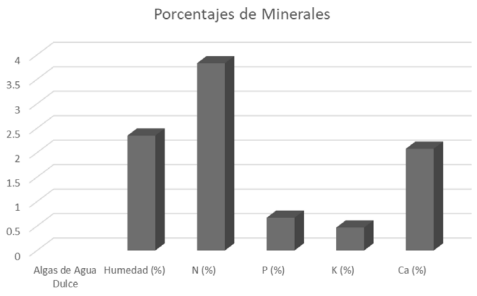
Tabla 4. Porcentaje de minerales presentes en las algas de agua dulce

Algas de agua dulce	Humedad (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)
	2.35	3.83	0.67	0.47	2.08

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de algas marinas secas fueron extraídas con etanol (5 g por 100 mL de etanol) mediante agitación a 37°C por 24 h. Después de la centrifugación (30 min, 30 000 x g), el sobrenadante se evaporó al vacío a 45°C. Los extractos orgánicos se disolvieron en etanol (1 mg mL-1) y se utilizaron para los bioensayos.

Figura 2. Muestra de porcentajes de los minerales



Fuente: Elaboración propia.

Estudio de mercado

El sector agrícola es uno de los medios de producción más importantes de la población urbana y rural del estado tamaulipeco. Pero en los últimos años se ha visto afectado por un conjunto de factores limitantes entre los cuales se destaca el alto costo que deben enfrentar los productores, particularmente en el área cañicultora, entre los cuales se encuentran las condiciones abióticas y bióticas del suelo, y el alto costo de los insumos externos, como los plaguicidas y fertilizantes. Con la finalidad de contribuir a solucionar los problemas que afectan la producción de este cultivo, el presente estudio pretende demostrar la factibilidad de utilizar algas de agua dulce como biofertilizante para la zona cañera.

En la actualidad, el consumo de productos orgánicos en el México es limitado. Esto se debe a que en la sociedad, la mayoría de las personas se orientan más por el precio que por la calidad del producto. En la Encuesta Nacional Agropecuaria Conociendo El Campo del INEGI, se afirma que los agricultores orgánicos ofertan una producción pequeña y mediana, puesto que ellos realizan cultivos pequeños y diversificados, ya que la siembra de algunas plantas evita la proliferación de plagas, mientras que los monocultivos extensivos solo pueden ser mantenidos mediante el uso de fertilizantes y pesticidas químicos, porque el ecosistema es más débil. A pesar de que los alimentos orgánicos en estos días se comercializan gracias al esfuerzo y trabajo de algunas asociaciones, no son suficientes para abastecer a toda la población.

Descripción del negocio y sector

Las algas empleadas para la investigación son nativas, lo que demuestra el gran potencial que tiene nuestro país en cuanto a biodiversidad. Es un recurso poco investigado y explotado, que podría de manera natural suplantar los químicos que tanto daño hacen a los ecosistemas.

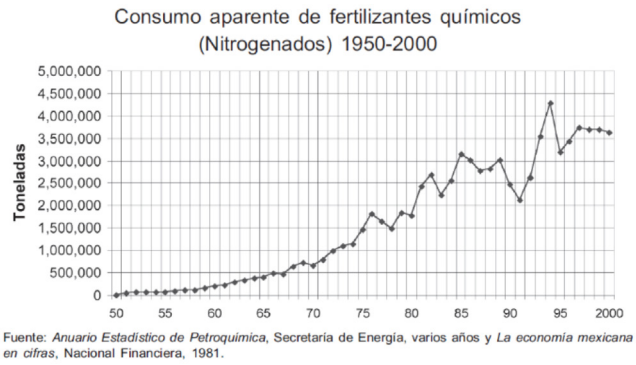
Se pretende que la recolección de algas sea dentro del sector de la agroindustria cañera de la región; específicamente en el área de riego de la zona.

Desde el punto de vista de una agricultura sostenible, el uso de biofertilizantes representa una importante alternativa para limitar el uso de fertilizantes químicos, reduciendo así el impacto negativo sobre el medio ambiente y también sobre la economía de los agricultores.

Frente a esta información, se vio la necesidad de realizar una investigación en el área de los biofertilizantes, más específicamente utilizando algas, una alternativa económicamente sustentable para reemplazar los productos químicos, que además de ser costosos resultan tóxicos. Las algas tienen aplicaciones en el campo de la agricultura, y se conoce que producen efectos benéficos sobre las plantas con las que conviven.

Las algas pueden ser empleadas como biofertilizantes puesto que se ha demostrado que actúan como estructuradores del suelo permitiendo así la captación de nutrientes, específicamente del nitrógeno; en muchos países ya se han realizados estudios e inclusive se está comenzando a producir a escala industrial, de ahí la importancia de evaluar el efecto fertilizante de las algas en nuestro medio.

Figura 3. Consumo aparente de fertilizantes químicos (nitrogenados 1950-2000)



Fuente: Anuario Estadístico de petroquímica, Secretaría de Energía y La economía mexicana.

Estudio técnico

Es importante destacar, que la ubicación del mercado de consumo con relación a la ubicación de la planta es un factor positivo en el análisis de la factibilidad del presente estudio e igualmente la localización de las fuentes de materia prima que se encuentran dentro de la misma área geográfica. El estudio técnico reveló que la maquinaria, los equipos, la infraestructura, así como los insumos y materia prima son de fácil adquisición y no representan un obstáculo para la instalación de la planta procesadora de biofertilizantes. A continuación, se presenta un esquema probable para el proceso de producción.

Tabla 5. Fases del proceso de producción

Proceso inicial		Proceso de producción		Producto final
Insumos: Materias primas sobre las que se aplicara el proceso		Proceso: Conjunto de operaciones del personal y la maquinaria		Producto: Biofertilizante
	+	Equipo productivo: Son todas las instalaciones necesarias	=	
Suministros: Recursos necesarios para la transformación		Organización: Elementos humanos		Subproducto: Tienen valor comercial
				Residuos: tiene un posible valor comercial

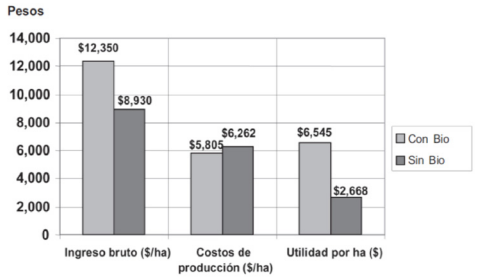
El proceso productivo consiste en que una serie de insumos se transforman en productos o servicios a través de la participación de determinada tecnología; para lo cual es necesario considerar (a fin de mantener la factibilidad del proyecto planteado) mantener diseños alternos y funcionales, buscar bajos costos de fabricación y diseñar el proceso en torno al crecimiento natural del producto.

En este sentido el biofertilizante que se pretende introducir al mercado son algas de agua dulce provenientes de los canales de riego adyacentes a la zona cañera en Xicoténcatl, Tamaulipas.

Estudio económico

El propósito de este estudio consiste en transformar los productos y requerimientos de unidades físicas a valores monetarios tanto en la etapa de instalación como en la operación del negocio, lo cual facilita el análisis y la viabilidad de este. En el estado de Michoacán, el mismo INIFAP evaluó los biofertilizantes en diversos cultivos, llegando al análisis económico del efecto.

Figura 4. Comparativa de los ingresos, costos y utilidad por hectárea



Fuente: INIFAB.

En el caso del uso de biofertilizantes se registró un incremento en los rendimientos de 42% cuando se aplicó el biofertilizante respecto al testigo, que aplicó la dosis recomendada de fertilizante químico. Sin embargo, en términos de la utilidad obtenida por el productor, ésta se incrementó en 145%, ya que los costos de producción disminuyeron 10%.

El uso del biofertilizante abate los costos de producción por el desplazamiento del fertilizante químico. En el análisis económico se encuentra que la relación beneficio-costo, es decir, la diferencia entre lo que se invierte y lo que se obtiene, en los biofertilizantes es superior hasta en 80% respecto al uso del químico.

Evaluación económica

En el presente estudio la inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la planta procesadora con la excepción del capital de trabajo. La inversión está constituida por todos los recursos necesarios para la implantación, puesta en marcha, mantenimiento y crecimiento del proyecto, esta incluye, activos fijos tangibles e intangibles. El activo fijo tangible está compuesto por los bienes propios de la organización que sean necesarios para su funcionamiento, tales como los equipos de producción, el mobiliario y los enseres.

Para funcionar el primer mes de producción, antes de recibir ingresos significativos, deben comprarse insumos y suministros, pagar la mano de obra directa otorgar créditos en las primeras ventas y contar con cierta cantidad de efectivo para sufragar los gastos diarios de la planta de tal manera que todo esto constituirá el activo circulante.

El Campo experimental de Zacatepec, Morelos, dependiente del INIFAP, tuvo como objetivo validar en la zona cañera del estado de Morelos, el biofertilizante de Biofábrica Siglo XXI. Se establecieron tres parcelas, donde se validó el tratamiento de biofertilizante, comparado con el tratamiento testigo, que fue la fertilización tradicional que utilizan los productores cañeros del estado (1 tonelada de la fórmula cañera 18-4.5-3).

La evaluación financiera arrojó en el estudio de caso indicadores muy positivos. Los resultados obtenidos a través del estudio financiero indican, que la rentabilidad del negocio es aceptable, desde el primer año de operaciones, generando utilidades constantes y en crecimiento durante los años analizados, creciendo desde un 10.2% hasta alcanzar un 44.2% al quinto año. Es por este motivo que se cree que la posibilidad de arrancar una microempresa con respecto a la utilización de algas de agua dulce puede ser rentable.

Conclusión

Las investigaciones sobre sistemas de cultivo son bastante profundas, pero se necesita ahondar en factibilidad de la implementación algas de agua dulce como biofertilizante para mitigar el impacto ambiental y que las zonas cañeras tengan beneficios y reducción de costos.

Las algas de agua dulce son ricas en macro y micronutrientes como nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, de acuerdo con el análisis que se representa en la figura 2, en cantidades aceptables para poder utilizarse como abonos orgánicos que toleran una temperatura hasta de 30ºC.

Se debe brindar asistencia técnica a los cañicultores relacionadas con el uso, recomendaciones y beneficios de los abonos orgánicos, a fin de ofrecer un valor agregado al producto. Existe un gran porcentaje de cañicultores que reconocen los beneficios que ofrecen los abonos orgánicos, sin embargo, estos mismos utilizan fertilizantes químicos para sus cultivos debido a que las casas comerciales ubicadas en la zona no tienen la capacidad de satisfacer la demanda existente del producto *Abono Orgánico*, la mayoría de ellos manifiestan que no conocen sitios en la zona que comercialicen este producto.

Es decir, hay en esta zona un enorme potencial de clientes (productores) que necesitan ser satisfechos, lo cual constituye una gran oportunidad de incursionar en este mercado y sobre la base de una política de excelente atención, asesoría técnica personalizada y control de calidad para poder posicionarse en el corto plazo.

La instalación de una planta de biofertilizante, representa un beneficio desde el punto de vista ecológico y social, ecológico porque contribuye a nutrir los suelos y restituir la degradación causada por fertilizantes químicos, a la vez que minimiza el impacto ambiental causado por la acumulación de residuos que causan malos

olores, y tiene un beneficio social porque, a la vez que genera empleo, de minimiza el malestar de la comunidad al minimizar la contaminación ambiental.

Referencias

Adeniyi, Azimov, y Burluka. (2018). "Algae biofuel: Current status and future applications". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. DOI:10.1016/j.rser.2018.03.067

Alvarado. (2001). *Estudio de Factibilidad para la Instalación de una Casa Comercial de Productos Agrícola*. UCLA. Trabajo de Grado.

Armenta-Bojórquez, García-Gutierrez, Camacho-Báez, Apodaca-Sánchez, Gerardo-Montoya, y Nava-Pérez. (2010). "Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México". *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. ISSN: 1665-0441, pp. 51-56.

Baca. (1995). *Evaluación de Proyectos* (3ra ed.). México: Editorial McGraw Hill.

Chiaramonti, Tredici, Prussi, y Biondi. (2015). *Handbook of Clean Energy Systems*. Disponible en: DOI: 10.1002/9781118991978.hces135

Flores, F. G. (1997). *Evaluación de extractos de algas marinas en el cultivo del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot) cv. Imperial.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

INIFAP. (1990). *Guía para la asistencia técnica agrícola Valle del Fuerte. Soya para grano*. Los Mochis, Sinaloa, pp. 160-172.

INEGI. (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2014*. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2014/doc/ena2014_pres.pdf

Martínez, L. J. y Salomón. (1995). *Efecto de un extracto de algas y varios fitorreguladores sobre el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) var. Gigant.* Tesis doctoral. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Rabie, G. H., y Humiany, A. A. (2004). "Role of VA mycorrhiza on the growth of cowpea plant and their associative effect with N2 fixing and P-solubilizing bacteria as biofertilizer in calcareous soil". *J. Food Agric. Environ*. 2, 186-192.

Roditti, J. (2017). *El maíz dulce es un cultivo que se presta bien para operaciones agrícolas de pequeña escala y de tiempo parcial*. Disponible en: https://extension.psu.edu/produccion

Investigaciónes actuales en medio ambiente ll, de Roberto Pichardo Ramírez, Ricardo Tobías Jaramillo, Juana Treviño Trujillo, publicado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Colofón, se terminó de imprimir en abril de 2020 en los talleres de Ultradigital Press S.A. de C.V. Centeno 195, Col. Valle del Sur, C.P. 09819, Ciudad de México. El tiraje consta de 400 ejemplares impresos de forma digital en papel Cultural de 75 gramos y forros sobre cartulina sulfatada de 12 pts. El cuidado estuvo a cargo del Consejo de Publicaciones UAT.

UAT
VERDAD, BELLEZA, PROBIDAD
"PARA CREAR COSAS BUENAS PRIMERO HAY QUE CREER EN FILAS"
70 AÑOS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS
1950-2020
Consejo de Publicaciones

Esta obra presenta un grupo heterogéneo de trabajos unidos por el hilo conductor del desarrollo sustentable y la calidad ambiental. Los trabajos se clasificaron de acuerdo a tres secciones temáticas: Contaminación y Tecnología Ambiental, Educación y Gestión Ambiental, así como Recursos Naturales.

La sección de Contaminación y Tecnología Ambiental contiene seis trabajos: *Escenarios de emisiones de GEI por residuos no peligrosos: el caso de una industria petroquímica del sur de Tamaulipas*, para la determinación de gases de efecto invernadero en términos de $CO_{2\text{-eq}}$, en una industria petroquímica del sur de Tamaulipas. *Modelado de un sistema multi-agente para el Monitoreo de Residuos Peligrosos utilizando la Metodología INGENIAS*, revisa los mecanismos de monitoreo de la calidad del agua y compara diversos estudios relacionados. *Análisis de la eficiencia de técnicas de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos* analiza tres técnicas de remediación de suelos impactados con hidrocarburos (Biopilas, Bioventeo y Oxidación Química); *Mezcla sustentable de asfalto en caliente, utilizando RAP combinado con asfalto modificado con polímeros*, se encamina a mejorar el manejo asfáltico. *Evaluación de potencial de riesgo genotóxico de compuestos xenobióticos*, analiza los efectos adversos de la contaminación en la biota.

La sección de Educación y Gestión Ambiental se integra con cinco trabajos. *Desarrollo rural y sostenibilidad: estrategias de emprendimiento para el desarrollo de comunidades rurales en la Huasteca*, presenta un análisis crítico sobre la sustentabilidad en las comunidades rurales de México; *Sustentabilidad ambiental en la industria de procesos y sus efectos en el cambio climático*; revisa un problema común en nuestro país *Educación ambiental, retos como individuos y sociedad en la formación profesional de comunicación y percepciones en la ingeniería*; sustenta mejoras para nuestra sociedad; *Vivienda tradicional sostenible en comunidades rurales de la zona Huasteca de Tamaulipas y Veracruz en México*, busca establecer mejores sistemas de construcción mediante las raíces arquitectónicas: *Cuantificación en la diferencia de la huella de carbono por medio de la transversalidad en el diseño de tres edificios, utilizando los métodos dinámicos lineal y no-lineal en Tampico, Tamaulipas*, analiza las acciones dinámicas recomendadas por las Normas Técnicas Complementarias, versión 2017.

La sección de Recursos Naturales fue integrada por tres trabajos. Contribución de análisis de la calidad del agua en la Cuenca Alta del Río Soto la Marina, fuente fluvial de gran relevancia para Tamaulipas; Gestión con el uso de recursos naturales "concha de ostión" en el concreto en pruebas de compresión y flexión; para mejorar las propiedades de materiales utilizados en la construcción y Monitoreo de la calidad del agua: alternativas emergentes; enfrenta el problema, ya mundial, de la escasez y propiedades de este fluido.

ISBN UAT: 978-607-8750-03-0
ISBN Colofón: 978-607-635-135-2

ISBN 978-607-635-135-2
9 786076 351352

Fomento Editorial

COLOFÓN