RedICA

RACAM
Red para el Análisis de la Calidad Ambiental en México

# Ambiens Techné et Scientia México

Vol. 9
No. 1
Enero-Junio / *January-June* 2021

Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, A.C.,
RACAM
ISSN-2954-3622

## Directiva / *Directorate*

**Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, RACAM**

María del Carmen Durán-Domínguez, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM
Presidente / *President*

Julio Alberto Solís-Fuentes, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana Xalapa, México
Vice-Presidente / *Vice-President*

María Irene Cano-Rodríguez, Universidad de Guanajuato, México, jubilada
Tesorera / *Treasurer*

**Red Internacional de Ciencias Ambientales**

Beatriz Espinosa-Aquino
Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
Secretaria Ejecutiva / *Executive Secretary*

Stanley E. Manahan
University of Missouri, Prof. Emérito, EE.UU.
Miembro Emérito / *Emeritus Member*

**Comité Editorial / *Editorial Committee***

**Editores / *Editors***

Marisela Bernal-González
Directora (Editora-en-Jefe) / *Director (Editor-in-Chief)*

Beatriz Espinosa-Aquino
Directora adjunta (Editora -en-Jefe adjunta) / *Deputy Director (Deputy Editor-in-Chief)*

Rolando Salvador García-Gómez
Director administrativo (Editor técnico) / *Managing Director (Managing Editor)*

Samuel Mendoza-Pérez
Director administrativo adjunto (Editor técnico adjunto) / *Deputy Managing Director (Deputy Managing Editor)*

## Consejo Editorial por líneas temáticas (orden alfabético) / *Editorial Board by subject lines*

**CIENCIAS AMBIENTALES / *Environmental Sciences***
Telma Gloria Castro-Romero, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México
Georgina Fernández-Villagómez, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. México
Peter Kuschk†, Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Germany
Luisa T. Molina, Molina Center for Energy and the Environment (MCE2), La Jolla, EE. UU. (U. S.)

**CIENCIAS DE LA SALUD / *Health Sciences***
Ruth Bustamante-García, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México
E. Martha Pérez-Armendáriz, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

**CIENCIAS EXACTAS / *Exact Sciences***
Ronny Adrián Flores-Ortega, Departamento de Química, Universidad Central del Ecuador, Ecuador
Stanley E. Manahan, Emeritus Professor, University of Missouri, EE. UU. (U. S.)
Tania M. Tavares, Universidade Federal da Bahia, Brasil

**CIENCIAS NATURALES / *Natural Sciences***
Andreas Loibner, Bodenkultur Universität Vienna, BOKU, Austria
Irina Salgado-Bernal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba

**CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES / *Social Sciences and Humanities***
Ann Cyphers, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México
Antonio Francisco Díaz-García, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México
Evguenia Roubina Milner, Facultad de Música, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

**INNOVACIÓN EDUCATIVA / *Innovative Education***
Octavio García-Madáhuar, M.A., Universidad Autónoma de Yucatán, México
Andoni Garritz-Ruiz†, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México
Armando Rugarcía-Torres, Universidad Iberoamericana, México

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA / *Efficient Use of Energy***
Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda, Facultad de Química, UNAM, México
John M. Prausnitz, Chemical and Biochemical Engineering Department, University of California, Berkeley, EE. UU. (U. S.)
Juan H. Vera, Emeritus Professor, Chemical Engineering Department, McGill University, Canadá

**TECNOLOGÍAS VERDES / *Green Technologies***
Alberto Florentino Aguilera-Alvarado†, Departamento de Ingeniería Química. División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, México
Francisco José Barnés-de-Castro, Facultad de Química UNAM, México, Comisión Reguladora de Energía, CRE, México
Marianela de los Ángeles Cordovés-Herrera†, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de La Caña de Azúcar, ICIDCA, La Habana, Cuba
Manuel Enríquez-Poy, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Grupo Machado, Ingenio Central Motzorongo, México
Luis Eduardo Zedillo-Ponce-de-León†, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, IPN, Director General del Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (Copaes), México



**CINTILLA LEGAL DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS / *Legal data, copyright and related rights***

**Revista electrónica de trabajos selectos: *Ambiens, Techné et Scientia México*, Año 9, No. 1, enero-junio 2021, es una Publicación semestral editada por la Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, A.C., Av. Churubusco 480, Col. El Retoño, Alcaldía Iztapalapa, 09440 Ciudad de México, Tel. (55) 5622-5300, www.ambiental.unam.mx/albunimagenes/Revista.pdf (temporal), atsmexico.org/atsm (definitiva). Editor responsable: Marisela Bernal-González. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-061617442800-102, ISSN 2954-3622, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Rolando Salvador García-Gómez, Av. Churubusco 480, Col. El Retoño, Alcaldía Iztapalapa, 09440 Ciudad de México, fecha de última modificación, 30 de junio de 2021.**



**Los artículos han sido arbitrados por pares -modalidad doble ciego- y reflejan opiniones de la exclusiva responsabilidad del(a) o de los(as) autores(as). Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización. Publicación indizada en Directorio Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal).** / *The articles have been arbitrated by peers -double blind modality- and reflect opinions of the exclusive responsibility of the author(s). The total or partial reproduction of the contents and images of the publication without prior authorization is prohibited. Publication indexed in Latindex Directory (Regional Online Information System for Scientific Journals of Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal).*

# *Presentación*

En esta presentación correspondiente al Vol. 9, número 1, 2021, de la revista *Ambiens, Techné et Scientia México* haremos un merecido homenaje a un maestro en toda la extensión de la palabra aprovechando que su cumpleaños 93 fue el pasado 7 de enero de 2021. Él nos acompaña ahora espiritualmente ya que se encuentra todavía confinado por la presencia del virus mencionado en nuestro número 1 del volumen anterior y no pudo preparar un artículo para este número como él estaba de acuerdo en hacerlo siendo parte de nuestro Consejo Editorial:

> From: J&S Prausnitz <prausnitz@sbcglobal.net>
> To: "Dra. Carmen Duran" <mcduran@unam.mx>
> Cc: enrique Rodolfo Bazua-Rueda <erbr@unam.mx>
> Subject: Re: Greetings from Mexico
> At 22:55 3/3/2021, J&S Prausnitz wrote:
>
> Dear Carmen and Enrique,
> Thank you for your email of Sat, Feb 27. I'm glad to know that you and your family are well.
> My health is pretty good but not as good as I would like. I am now 93 and it is beginning to show consequences. I have received two shots of Pfizer vaccine but as recommended, I wear a mask when near others and practice social distancing.
> As I noted to you on Jan 18, below, I regret that I cannot write the manuscript that you want. My circumstances here make that impossible.
> Wishing you good health and happiness with your growing family,
> Sincerely,
> John

Es el Prof. John M. Prausnitz, el maestro del Dr. Enrique Rodolfo Bazúa Rueda y de muchos colegas ingenieros químicos. Tuvimos el honor de conocerlo cuando vino a México a impartir una conferencia magistral en el Auditorio A de la Facultad de Química de la UNAM en 1990.

Enrique Bazúa, Carmen Durán, A. Bellemans, John M. Prausnitz (Tomada el 12 de junio de 1971 en Berkeley)

Alberto Urbina, Enrique Bazúa, Carmen Durán, Juan José de Pablo, John M. Prausnitz (Tomada en julio de 1990 en la Ciudad de México en la casa de los padres de Juanjo, profesores de la UNAM)

En el Auditorio de la Facultad de Química de la UNAM en 1990 estaban estudiantes y académicos sentados hasta en las escaleras de acceso al podio para escuchar su conferencia.

En este homenaje al Prof. Dr. John M. Prausnitz los y las lectores(as) encontrarán artículos de nuestros miembros del Consejo Editorial, mostrando la creatividad humana, aún en tiempos del COVID-19, como dijimos en el número mencionado de 2020.

El primero pertenece al Profesor Emérito de la Universidad de McGill de Montreal, Canadá, Juan Humberto Vera. El segundo es del Dr. Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda. El tercero es un aporte del Prof. Octavio García-Madáhuar de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán.

También queremos iniciar en este número un homenaje póstumo a nuestro muy querido colega del Consejo Editorial, el Dr. Alberto Florentino Aguilera Alvarado de la Universidad de Guanajuato, quien se nos adelantó en el camino el pasado 28 de abril de 2021 por problemas de salud en su esófago. Siempre apoyó a nuestra revista desde que inició su operación en 2013 siempre acompañado de su querida esposa, la Dra. María Irene Cano Rodríguez, tesorera de nuestra RACAM. En el próximo tendremos algunas contribuciones en su honor por parte de colegas académicos de la Universidad de Guanajuato.

En la Revista NATURALEZA Y TECNOLOGÍA de la UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO en su número 11 de diciembre del 2016 (ISSN: 2007-672X) se publicó un artículo intitulado "Los exdirectores del área de la química de la Universidad de Guanajuato (1940-2016)" por el Q. Fernando de Jesús Amézquita-López, del Departamento de Química de la División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto. (amezquita@ugto.mx). Un extracto relacionado con nuestro académico homenajeado es el siguiente:

> "En 1998 se conformó la D.E.S. de Ciencias Químico Biológicas e Ingeniería Química en 1999 (agosto) con el inicio del nuevo plan de estudios para la carrera de Ingeniero Químico, incorporándose al plan de Área Básica de las Ingenierías. Inicia la Maestría en Ingeniería Química. … **De 2001-2005 Alberto Florentino Aguilera Alvarado, Director de la Facultad de Ciencias Químicas,** construyó la adaptación del edificio B para los profesores del postgrado en Ingeniería Química. Adquirió el vehículo con el que cuenta la División, (realizó la) gestión de la biblioteca actual, se rehabilitaron los sanitarios de la Facultad de Química. Se inicia(ron) los trabajos para la maestría de Calidad. En 2004 se realiz(ó) la Quinta Reunión de Ex-Alumnos de la Facultad de Química después de 15 años. Se modifica(ro)n los requisitos para el reconocimiento al mérito de Titulación y de los Jurados dictaminadores. (Se hizo la p)articipación activa en el tronco común de las Ingenierías. Realiz(ó) un sistema de administración sobre las actividades sustantivas de profesores, de estudiantes y de administrativos, mediante base de datos y la correcta codificación de software. Se realizó la habilitación de la subestación eléctrica. Se realizó el estudio de las aguas residuales de la Facultad."

En 2015 publicó el artículo "**Antecedentes y celebración de los 15 años del posgrado en Ingeniería Química en la Universidad de Guanajuato"** también en la revista **NATURALEZA Y TECNOLOGÍA** de la **UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO** en su número 7 del 2015 (ISSN: 2007-672X). El resumen fue el siguiente:

*El pasado 24 de agosto del 2015, en la División de Ciencias Naturales y Exactas del campus Guanajuato, de la Universidad de Guanajuato se llevó a cabo la inauguración de las celebraciones de los 15 años de la maestría en Ingeniería Química, la presente es el discurso inaugural que reseña los antecedentes que dieron como resultado ese logro.*

Los doctores Alberto Florentino Aguilera Alvarado y María Irene Cano Rodríguez en el Teatro Juárez en la ciudad de Guanajuato (Tomada el sábado 8 de noviembre de 2008)

Una de sus últimas intervenciones fue en octubre de 2020 para celebrar los 20 años de la creación del programa de posgrado de la Universidad de Guanajuato:

**Guanajuato, Gto., a 05 de octubre de 2020.-** Con un reconocimiento a las personas que han contribuido al fortalecimiento y crecimiento de uno de los programas con mayor prestigio de la Universidad de Guanajuato (UG), se llevó a cabo la ceremonia por el XX Aniversario del posgrado en Ingeniería Química de la División de Ciencias Naturales y Exactas (DCNE).

Con una celebración diferente debido a la pandemia, el Dr. Alberto Florentino Aguilera Alvarado, miembro fundador, hizo un recorrido a través de la historia en el que recapituló los antecedentes de la creación del posgrado, que permitió recordar a quienes impulsaron este programa, como el Dr. Salvador Hernández Castro, el Dr. Martín Picón Núñez y la Dra. Irene Cano Rodríguez.

Al dimensionar el valor de los esfuerzos de quienes a lo largo de estos 20 años han contribuido a forjar el prestigio de este posgrado, el Rector General de la UG, Dr. Luis Felipe Guerrero Agripino calificó como un "resultado exitoso" este programa, uno de los que identifica a la UG gracias a los avances e impactos tanto en la investigación, como en la generación de cuadros

académicos que incluso trascienden al plano internacional. Asimismo, enfatizó que el posgrado en Ingeniería Química es una muestra de lo que se puede lograr con una comunidad que trabaja para generar nuevas opciones a partir de las capacidades institucionales.

Cabe recordar que la Universidad de Guanajuato cuenta con los programas de la Maestría en Ingeniería Química (Integración de Procesos) y el Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química. El posgrado en Ingeniería Química ha contribuido en la formación de alrededor de 198 estudiantes de maestría y 95 de doctorado a lo largo de estos años. La generación de estos recursos humanos ha contribuido en gran medida a los avances en investigación, cuyas aportaciones se han difundido a través de artículos científicos, de divulgación, congresos, y diversas publicaciones. En sus intervenciones, tanto la Rectora del Campus Guanajuato, Dra. Teresita De Jesús Rendón Huerta Barrera, como el Director de la DCNE, Dr. Agustín Ramón Uribe Ramírez, recalcaron la misión de formar profesionistas de calidad en el campo de la investigación de la ingeniería química, al ser un posgrado con reconocimientos que resaltan a nivel nacional, mismo que ha contribuido a posicionar a la UG como una de las mejores instituciones del país. En el evento virtual estuvieron presentes autoridades universitarias, personal académico, estudiantes, e investigadores/as de los diversos programas en Maestría, Doctorado, Licenciaturas, en Ingeniería Química y áreas afines.

Como parte de la celebración se llevarán a cabo del 5 al 9 de octubre 2 talleres y 13 conferencias magistrales; impartidos por investigadores/as de renombre internacional en las áreas de Ingeniería de Procesos, Materiales Avanzados, Termodinámica y Fenómenos de Transporte; con importancia en Ingeniería Química y áreas cercanas.

Para saber más detalles de las actividades académicas se puede consultar la página https://ugto.mx/piq/20-aniversario.

## Descanse en paz nuestro querido colega y amigo Alberto Florentino Aguilera-Alvarado

**Siempre permanecerá en nuestros corazones.**

Y, nuevamente, bienvenidos a este foro de las redes fraternas y sororales:

Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México

y

Red Internacional de Ciencias Ambientales

desde la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

***La editora-en-jefe***

# *Presentation*

*In this presentation corresponding to Vol. 9, number 1, 2021, of the journal Ambiens, Techné et Scientia México, we will pay a well-deserved tribute to a mentor in every sense of the word, taking advantage of the fact that his 93rd birthday was on January 7, 2021 He now accompanies us spiritually since he is still confined by the presence of the virus mentioned in our number 1 of the previous volume and he could not prepare an article for this number as he agreed to do so as part of our Editorial Board:*

> *From: J&S Prausnitz <prausnitz@sbcglobal.net>*
> *To: "Dra. Carmen Duran" <mcduran@unam.mx>*
> *Cc: enrique Rodolfo Bazua-Rueda <erbr@unam.mx>*
> *Subject: Re: Greetings from Mexico*
> *At 22:55 3/3/2021, J&S Prausnitz wrote:*
>
> *Dear Carmen and Enrique,*
> *Thank you for your email of Sat, Feb 27. I'm glad to know that you and your family are well.*
> *My health is pretty good but not as good as I would like. I am now 93 and it is beginning to show consequences. I have received two shots of Pfizer vaccine but as recommended, I wear a mask when near others and practice social distancing.*
> *As I noted to you on Jan 18, below, I regret that I cannot write the manuscript that you want. My circumstances here make that impossible.*
> *Wishing you good health and happiness with your growing family,*
> *Sincerely,*
> *John*

*He is **Prof. John M. Prausnitz**, from the University of California, Berkeley, the mentor of Dr. Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda and of many fellow chemical engineers. We had the honor of meeting him when he came to Mexico to give a keynote address in Auditorium A of the Faculty of Chemistry at UNAM in 1990.*

*Alberto Urbina, Enrique Bazúa, Carmen Durán, Juan José de-Pablo, John M. Prausnitz (Taken in July 1990 in Mexico City in Juanjo's parents home also UNAM's professors)*

*Enrique Bazúa, Carmen Durán, A. Bellemans, John M. Prausnitz (Taken in Berkeley (June 12, 1971)*

*In the Auditorium of the Faculty of Chemistry of the UNAM in 1990, students and academics were sitting even on the access stairs to the podium to listen to his lecture.*

*In this tribute to Prof. Dr. John M. Prausnitz, readers will find articles by our members of the Editorial Board, showing human creativity, even in times of COVID-19, as we said in the aforementioned 2020 issue.*

*The first one belongs to Emeritus Professor of the McGill University at Montreal, Canada, Juan Humberto Vera. The second one belongs to Dr. Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda. The third one is a contribution of Prof. Octavio García-Madáhuar from the Faculty of Chemical Engineering of the Universidad Autónoma de Yucatán.*

*We also want to start in this issue a posthumous tribute to our very dear colleague from the Editorial Board, Dr. Alberto Florentino Aguilera Alvarado from the University of Guanajuato, who beat us on the road on April 28, 2021 due to health problems in your esophagus. He has always supported our journal since it began its operation in 2013, always accompanied by his beloved wife, Dr. María Irene Cano Rodríguez, treasurer of our RACAM. In the next we will have some contributions in his honor from academic colleagues from the University of Guanajuato.*

*In the Journal NATURALEZA Y TECNOLOGÍA of the UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO in its issue 11 of December 2016 (ISSN: 2007-672X) an article entitled "The former directors of the chemistry area of the University of Guanajuato (1940-2016)" was published by Q. Fernando de Jesús Amézquita-López, from the Department of Chemistry of the Division of Natural and Exact Sciences, Campus Guanajuato, University of Guanajuato. Guanajuato, Gto. (amezquita@ugto.mx). An excerpt related to our honored academic is the following:*

> *"In 1998 the Division of Graduate Studies (D.E.S.) of Biological Chemical Sciences and Chemical Engineering was created in 1999 (August) with the beginning of a new curriculum for Chemical Engineers, joining the Basic Area of the Engineering plan: The Master Program in Chemical Engineering begins. … **From 2001-2005 Alberto Florentino Aguilera Alvarado, Director of the Faculty of Chemical Sciences**, ordered the construction of the adaptation of Building B for the postgraduate professors in Chemical Engineering. He acquired the vehicle that the Division has, (he carried out the) the management of the current library, and promoted the rehabilitation of the toilets of the Faculty of Chemistry. The new curriculum for the graduate program of Master of Quality began. In 2004 the Fifth Meeting of Alumni of the Faculty of Chemistry was held after 15 years. The requirements for the recognition of the merit of the Degree and of the Judging Juries were modified. The participation was made active in the common trunk of the Engineering. He established an administration system on the substantive activities of mentors, students and administrative staff, by means of a database and the correct software coding. The electrical substation was revamped. A study to solve the problem of the wastewater of the Faculty was carried out."*

*In 2015 he published the article "**Background and celebration of the 15 years of the postgraduate degree in Chemical Engineering at the University of Guanajuato**" also in the **NATURALEZA Y TECNOLOGÍA** journal of the **UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO** in its number 7 of 2015 (ISSN: 2007-672X). The summary was as follows:*

*On August 24, 2015, in the Division of Natural and Exact Sciences of the Guanajuato campus, of the University of Guanajuato the inauguration of the celebrations of the 15 years of the master's degree in Chemical Engineering was held, this is the inaugural speech that outlines the antecedents that resulted in that achievement.*

*Doctors Alberto Florentino Aguilera Alvarado and María Irene Cano Rodríguez at the Juárez Theater in the city of Guanajuato (Taken on Saturday, November 8, 2008)*

*One of his last interventions was in October 2020 to celebrate the 20 years since the creation of the graduate program at the University of Guanajuato:*

***Guanajuato, Gto., October 5, 2020**.- With a recognition to the people who have contributed to the strengthening and growth of one of the most prestigious programs of the University of Guanajuato (UG), the ceremony was held for the 20th Anniversary of the postgraduate degree in Chemical Engineering of the Division of Natural and Exact Sciences (DCNE).*

*With a different celebration due to the pandemic, Dr. Alberto Florentino Aguilera-Alvarado, founding member, took a journey through history in which he recapitulated the background to the creation of the postgraduate program, which allowed to remember those who promoted this program, such as Dr. Salvador Hernández-Castro, Dr. Martín Picón-Núñez and Mrs. Dr. Irene Cano-Rodríguez.*

*When assessing the value of the efforts of those who throughout these 20 years have contributed to forging the prestige of this postgraduate degree, the General Rector of the UG, Dr. Luis Felipe Guerrero-Agripino described this program as a "successful result", one of those*

*that identifies the UG thanks to the advances and impacts both in research and in the generation of academic cadres that even transcend the international level. Likewise, he emphasized that the postgraduate degree in Chemical Engineering is an example of what can be achieved with a community that works to generate new options based on institutional capacities.*

*It should be remembered that the University of Guanajuato has the Master's degree programs in Chemical Engineering (Process Integration) and the Doctorate of Science in Chemical Engineering. The postgraduate program in Chemical Engineering has contributed to the training of around 198 master's and 95 doctoral students over the years. The generation of these human resources has greatly contributed to advances in research, whose contributions have been disseminated through scientific articles, outreach, conferences, and various publications.*

*In their speeches, both the Rector of the Guanajuato Campus, Mrs. Dr. Teresita de Jesús Rendón-Huerta-Barrera, and the Director of the DCNE, Dr. Agustín Ramón Uribe-Ramírez, emphasized the mission of training quality professionals in the field of health research. Chemical engineering, being a postgraduate degree with recognition that stands out at the national level, which has contributed to position UG as one of the best institutions in the country. The virtual event was attended by university authorities, academic staff, students, and researchers from the various programs in Master's, Doctorate, Bachelor's, Chemical Engineering and related areas.*

*As part of the celebration, 2 workshops and 13 keynote conferences will be held from October 5 to 9; taught by internationally renowned researchers in the areas of Process Engineering, Advanced Materials, Thermodynamics and Transport Phenomena; with importance in Chemical Engineering and nearby areas.*

*To know more details of the academic activities, you can consult the page https://ugto.mx/piq/20-aniversario.*

***Rest in peace our dear colleague and friend Alberto Florentino Aguilera-Alvarado***

***He will always remain in our hearts.***

*And, again, welcome to this forum of fraternal networks:*

*Network for Environmental Quality Analysis in Mexico*

*and*

*International Network of Environmental Sciences*

*from the Faculty of Chemistry of the National Autonomous University of Mexico.*

## *The editor-in-chief*

**Contenido / *Contents*** **Página / *Page***

Presentación / *Presentation* 3

Fe de erratas / *Errata* 12

*Thoughts in Honor of John M. Prausnitz* / Pensamientos en Honor al Prof. John M. Prausnitz
Juan Humberto Vera 13

Reflexiones sobre la enseñanza de la termodinámica en ingeniería química /
*Reflections on the teaching of thermodynamics in chemical engineering*
Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda 19

La acreditación de programas de ingenieria a nivel profesional en México ante la emergencia sanitaria / *The accreditation of engineering programs at a professional level in Mexico in the face of the health emergency*
Octavio García Madáhuar 43

Cambios en la microbiota intestinal debido a COVID-19 /
*Changes in the gut microbiota due to COVID-19*
Jorge Alberto Reynoso-Amado, Rolando Salvador García-Gómez, Samuel Mendoza-Pérez 53

Obtención y caracterización de quitosana mineralizada a partir de residuos de camarón /
*Obtaining and characterizing mineralized chitosan from shrimp waste*
Tania Campos-Rodríguez, Martha Maura De-La-Cruz-Ochoa, Aranys del Carmen Borja-Urzola, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa 67

Entre salones y ferrocarriles: Un acercamiento al piano del México porfiriano como instrumento educativo y objeto de importación / *Family rooms and railways: An approach at piano's use in Mexican 'porfiriato', as an educational tool and as an import item*
Bernardo Jiménez-Casillas 81

Instructivo para autores / *Authors instructions* 93

## Fe de erratas / *Errata*

Ninguna / *None*

# *Thoughts in Honor of John M. Prausnitz*

# Pensamientos en Honor al Prof. John M. Prausnitz

**Juan Humberto Vera**

*Emeritus Professor*
*Department of Chemical Engineering*

Profesor emérito
Departamento de Ingeniería Química

McGill University
Montreal, Canadá
Correo-e (*e-mail*): juan.vera@mcgill.ca

*Anyone that has had the privilege of working in close collaboration with John, or better stated, learning directly from him, can certainly write volumes of memories which will enrich the lives of many others.*

Cualquiera que haya tenido el privilegio de trabajar en estrecha colaboración con John, o mejor dicho, de aprender directamente de él, ciertamente puede escribir volúmenes de recuerdos que enriquecerán la vida de muchos otros.

*I had that privilege and will make an effort to give here at least an abstract of all what I got as an apprentice in Prausnitz's group.*

Yo tuve ese privilegio y haré un esfuerzo por dar aquí al menos un resumen de lo mucho que obtuve como aprendiz en el grupo de Prausnitz.

*First of all, I should mention the human quality that John naturally and effortlessly teaches with the example of his behaviour towards all the lucky people who could ever work in close contact with him. From my first contact with John, I had the feeling that he was quite an open and accessible person who could provide with the guide I needed at that time.*

En primer lugar, debo mencionar la calidad humana que John enseña, de forma natural y sin esfuerzo, con el ejemplo de su comportamiento hacia todas las personas afortunadas que alguna vez pudieron trabajar en estrecho contacto con él. Desde mi primer contacto con John, tuve la sensación de que era una persona bastante abierta y accesible que podía brindarme la guía que necesitaba en ese momento.

*It was around 1966 and I was working for my doctorate at* Universidad Tecnica Federico Santa Maria *in Chile. I had finished all*

Fue alrededor de 1966 y yo estaba haciendo mi doctorado en la Universidad Técnica Federico Santa María, en Valparaiso, Chile. Había

*required courses and passed all filters, so my sole concern was to produce a reasonably good doctoral dissertation. I had the feeling that the experimental data that I was gathering in vapor-liquid equilibrium of petroleum related compounds was not amenable for a well founded theoretical treatment.*

terminado todos los cursos obligatorios y pasado todos los filtros, por lo que mi única preocupación era producir una tesis doctoral razonablemente buena. Tenía la sensación de que los datos experimentales que estaba recopilando en equilibrio vapor-líquido de compuestos relacionados con el petróleo no eran susceptibles de un tratamiento teórico bien fundado.

*As the turns of life go, one colleague came one day after a trip to Santiago, where there was a library with recent issues of journals, and brought back for me a publication by Henri Renon and J. M. Prausnitz on liquid liquid equilibrium using a new equation based on the consideration of a non-random array of the molecules of the two partially miscible liquid compounds, NRTL. This came as a revelation to me and I decided to write to John asking for his advice on how to treat the data I had gathered. To my surprise and delight, I received a prompt answer back telling me that data collected at constant pressure were not the best for modeling and that he had a piece of equipment to collect isothermal data and I would be welcome to come and work with him at Berkeley. To make the story short, I applied for a scholarship from* CIDA *(NOT CIA!) and a travel grant from another American institution and in a short time I was traveling to Berkeley with my wife and our two young sons. That was the trip that changed my life.*

Como muchas cosas en la vida, hay hechos imprevistos que cambian el futuro. Un colega vino un día, después de un viaje a Santiago, donde había una biblioteca con ejemplares recientes de revistas especializadas, y me trajo una publicación de Henri Renon y J. M. Prausnitz sobre el equilibrio líquido-líquido usando una nueva ecuación. basada en la consideración de una mezcla no aleatoria de las moléculas de los dos compuestos líquidos parcialmente miscibles, NRTL. Esto fue una revelación para mí y decidí escribirle a John para pedirle su consejo sobre cómo tratar los datos que había recopilado. Para mi sorpresa y alegría, recibí una rápida respuesta diciéndome que los datos recopilados a presión constante no eran los mejores para modelar, que él tenía un equipo para recopilar datos isotérmicos y que yo sería bienvenido a trabajar con él en Berkeley. Para abreviar la historia, postulé una beca de CIDA (¡NO CIA!) y una beca de viaje de otra institución estadounidense y en poco tiempo viajaba a Berkeley con mi esposa y nuestros dos hijos pequeños. Ese fue el viaje que cambió mi vida.

*After two years working in close contact with John, President Allende*

Después de dos años trabajando en estrecho contacto con John, el

*was elected in Chile and, against all wisdom, I went back to Chile to help as much as I could with the process of changes that was being initiated. John offered to support me to finish my PhD at Berkeley in just an additional year of work, but at that moment I had different priorities and went back as soon as I could. Did I ever repent of my decision? I did when the very bloody Military Coup came in 1973, I was removed from my position of Dean of Engineering at* Universidad Tecnica del Estado *and I had to find a new job to support my family. Fortunately, in the meantime, I had obtained the Dr. Ing. Degree at* Universidad F. Santa Maria *but that certainly was not comparable with a Berkeley PhD diploma. And here again, John came to my support. He not only offered me a one year appointment working with him at Berkeley but, just in case, he gave a letter of recommendation stating that the research I had done with him at Berkeley was of such 'quality and quantity' that it would qualify for a PhD there. That letter opened all doors for me. I received an invitation to work one year at UNAM and another invitation to work as Research Associate with Professor Gerald Ratcliff, Chairman of the Chemical Engineering Department at McGill University in Montreal, Canada. At the time it was not easy to get a regular immigration visa to Mexico as the number of Chileans applying for political asylum was quite high so, as soon as I got the visa to immigrate with my family to Canada, the decision was made. I have kept in permanent contact*

Presidente Salvador Allende fue elegido en Chile y, contra toda sabiduría, volví a Chile para ayudar en todo lo que pudiera con el proceso de cambios que se estaba iniciando. John se ofreció a apoyarme para terminar mi doctorado en Berkeley en solo un año adicional de trabajo, pero en ese momento yo tenía diferentes prioridades y volví a Chile tan pronto como pude. ¿Me he arrepentido alguna vez de mi decisión? Si, lo hice cuando llegó el sangriento Golpe Militar en 1973, me destituyeron de mi puesto de Decano de Ingeniería en la Universidad Técnica del Estado y tuve que buscar un nuevo trabajo para mantener a mi familia. Afortunadamente, mientras tanto, ya había obtenido el Dr. Ing. en la Universidad F. Santa María, pero eso ciertamente no era comparable con un diploma de doctorado en Berkeley. Y aquí nuevamente, John vino en mi apoyo. No solamente me ofreció un contrato de un año para trabajar con él en Berkeley, sino que, por si acaso, me dio una carta de recomendación en la que decía que la investigación que había hecho con él era de tal 'calidad y cantidad' que calificaría para un doctorado en Berkeley. Esa carta me abrió todas las puertas. Recibí una invitación para trabajar un año en la UNAM y otra invitación para trabajar como Investigador Asociado con el profesor Gerald Ratcliff, Director del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad McGill en Montreal, Canadá. En ese momento no fue fácil obtener una visa de inmigración regular a México ya que la cantidad de chilenos que solicitaban asilo político era bastante alta, así es que tan pronto como obtuve la visa para inmigrar con mi familia a Canadá, viajamos a

*with John ever since and not only he visited my laboratory at McGill but I enjoyed going back to my old desk at Berkeley for two months during my second Sabbatical year at McGill. Perhaps the most surprising detail of having been in contact with John is that even with his very many collaborators around the world and his multiple publications and books, he never leaves a letter an email or a card without answering immediately in a personal and considerate tone.*

Montreal. Me he mantenido en contacto permanente con John desde entonces y no solamente él visitó mi laboratorio en McGill, sino que yo disfruté volviendo a mi antiguo escritorio en Berkeley durante dos meses durante mi segundo año sabático en McGill. Quizás el detalle más sorprendente de haber estado en contacto con John es que incluso con sus muchísimos colaboradores en todo el mundo y sus múltiples publicaciones y libros, nunca deja una carta, un correo electrónico o una tarjeta sin responder de inmediato en un tono personal y considerado.

*In contact with John, one not only learned thermodynamics but, more importantly, one learned to respect and treat with consideration all our collaborators and colleagues. The very many people that John has formed, we have maintained among ourselves a link of understanding for the rest of our lives. There was never a special statement for this, it was just the example we all learned from our personal contact with John.*

En contacto con John, uno no solamente aprendió termodinámica sino, lo que es más importante, aprendió a respetar y tratar con consideración a todos los colaboradores y colegas. La gran cantidad de personas que John ha formado, hemos mantenido entre nosotros un vínculo de entendimiento por el resto de nuestras vidas. Nunca hubo una declaración especial para esto, fue solamente el ejemplo que todos aprendimos de nuestro contacto personal con John.

*With respect to the contribution of John to thermodynamics there is little that one can add to what his well known publications and books testify. Too many to be enumerated here and to rich in content to enter in detailed analysis. In place of that, I will narrate one anecdotic development. I clearly remember that when I was at Berkeley (1968-1970) working on the Redlich-Kwong equation of state (EOS), John came to my desk and told me that he had noticed that putting a factor 0.98 to correct the geometric*

Con respecto a la contribución de John a la termodinámica, poco se puede agregar a lo que atestiguan sus conocidas publicaciones y libros. Demasiados para enumerarlos aquí y demasiado ricos en contenido para entrar en detalles. En lugar de eso, narraré un desarrollo anecdótico. Recuerdo claramente que cuando estaba en Berkeley (1968-1970) trabajando en la ecuación de estado de Redlich-Kwong, John vino a mi escritorio y me dijo que había notado que al poner un factor de 0.98 para corregir la media geométrica de los

*mean of the attractive parameters of the pure compounds, results for the prediction of vapor liquid equilibrium of binary mixtures were much improved. I tested this, and in fact results were much better.Then I noticed that in his notes he had put the correction factor as*

$(1-\delta)$ *with* $\delta=0.02$,

*instead of putting the correction directly as 0.98. When I asked him why not to put 0.98 instead of (1-0.02), he calmly answered: "Just a bit of applied psychology. If I tell a chemical engineer, including yourself, to put a correction factor 0.98, they will naturally approximate it to unity and get poorer results. However, if I tell to put* $(1-\delta)$ *and then tell to use* $\delta=0.02$*, without any further thought they will apply this correction and get much better results.*

*Not for nothing, Mrs. Susie Prausnitz, his wife, had a degree in psychology. What is impressive for me is that John had observed this improvement working the numbers himself, as far as I know.*

*Let me add, that at present, Grazyna Wilczek, Claudio Olivera-Fuentes, and I are preparing the second edition of our book Classical Thermodynamics of Fluid Mixtures and we are including a strict derivation of the* $(1-\delta)$ *correction factor with* $\delta > 0$ *based on the London Potential Model. In all justice, we have called* $\delta$ *the*

parámetros atractivos de los compuestos puros, los resultados para la predicción del equilibrio vapor líquido de mezclas binarias mejoraban mucho. Probé esto y, de hecho, los resultados fueron mucho mejores. Luego noté que en sus notas John había puesto el factor de corrección como

(1-δ) con δ = 0.02,

en lugar de poner la corrección directamente como 0.98. Cuando le pregunté por qué no poner 0.98 en lugar de (1-0.02), el me respondió con calma: "Solo un poco de psicología aplicada. Si le digo a un ingeniero químico, incluido usted mismo, que ponga un factor de corrección de 0,98, naturalmente lo aproximará a la unidad y obtendrá peores resultados. Sin embargo, si le digo que ponga (1-δ) y luego le digo que use δ = 0.02, sin pensarlo más, aplicarán esta corrección y obtendrán resultados mucho mejores.

No en vano, la Sra. Susie Prausnitz, su esposa, tenía una licenciatura en psicología. Lo que es impresionante para mí es que, hasta donde yo sé, John había observado esta mejora trabajando los números él mismo.

Permítanme agregar, que en la actualidad, Grazyna Wilczek, Claudio Olivera-Fuentes y yo estamos preparando la segunda edición de nuestro libro Classical Thermodynamics of Fluid Mixtures y estamos incluyendo una derivación estricta del factor de corrección (1-δ) con δ > 0 basada en el modelo de potencial de London. Con toda justicia, hemos llamado δ el

*"Prausnitz Delta Binary Parameter" and we hope that this minor recognition will propagate in the literature of cubic equations of state.*

"parámetro binario delta de Prausnitz" y esperamos que este reconocimiento menor se propague en la literatura de ecuaciones de estado cúbicas.

**Juan Humberto Vera**

*Emeritus Professor*
*Department of Chemical Engineering*

Profesor emérito
Departamento de Ingeniería Química

McGill University

# Reflexiones sobre la enseñanza de la termodinámica en ingeniería química

## *Reflections on the teaching of thermodynamics in chemical engineering*

**Dr. Enrique Rodolfo Bazúa Rueda***

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Facultad de Química
Correo-e (*e-mail*): erbr@unam.mx

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

Recibido: Abril 10, 2021

Aceptado: Mayo 15, 2021

**Resumen**

Desde 1974, hace ya casi medio siglo, una vez concluido el doctorado en la Universidad de California en Berkeley e incorporado como profesor de tiempo completo en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, he dedicado mis actividades académicas a enseñar termodinámica, principalmente a ingenieros químicos. He impartido cursos a nivel de licenciatura y posgrado y cursos de actualización a un número considerable de ingenieros en el ejercicio profesional. En este artículo comento sobre las reflexiones sobre la enseñanza de la termodinámica en ingeniería química que forman la esencia de la metodología que he seguido. Los profesores debemos establecer claramente los objetivos que perseguimos en la enseñanza. No es nada más transmitir conocimientos, la enseñanza es mucho más. Incidimos positiva o negativamente de acuerdo con nuestra actitud hacia los alumnos. Ellos son el objetivo de nuestro quehacer docente. Si somos PROFESORES o MENTORES -con mayúsculas- entonces, debemos ir más allá de solamente enseñar una disciplina, debemos incorporar elementos que los ayuden a mejorar su autoestima, desarrollar sus habilidades intelectuales y, sobre todo, a crecer como personas. Las actitudes de nosotros hacia los alumnos: Respeto, consideración y motivación, son esenciales para un buen desempeño como docente. Establecer retos que los perciban con entusiasmo y se comprometan es un ingrediente importante para lograr su desarrollo integral como persona. Los objetivos que he perseguido en la enseñanza de la termodinámica se resumen a continuación:

- El objetivo general que he tenido es que el alumno desarrolle su capacidad intelectual. La enseñanza de la termodinámica ha sido el vehículo para lograrlo.
- El enfoque que he seguido en la docencia es el aprendizaje por resolución de problemas.
- Me enfoco en desarrollar la habilidad para resolver problemas complejos que están a su alcance.
- Los alumnos aprenden cuando ellos resuelven un problema, no cuando ven cómo el profesor lo resuelve en clase. Aunque no puedan llegar a la solución, el haberlo intentado tiene un valor de aprendizaje importante y cuando ven la solución '*LES CAE EL VEINTE*'.
- Poner retos importantes que los lleven a crecer intelectualmente y aumentar su autoestima.
- Los alumnos deben realizar un proyecto que involucre los conocimientos aprendidos en la solución de un problema complejo.
- Estar dispuesto a ayudar cuando se atoran y valorar cada pregunta.
- El procedimiento y los instrumentos de evaluación deben motivar al estudiante a realizar el esfuerzo por aprender.
- El examen debe cumplir una finalidad de aprendizaje en sí mismo. Al diseñar un examen debemos preguntarnos ¿Qué quiero que aprendan al resolver el examen?
- Los problemas del examen no son más difíciles que los resueltos en clase o en la serie de problemas. Me permiten diferenciar la capacidad de razonamiento de cada estudiante.
- Los exámenes son un indicador de que tanto se están cumpliendo los objetivos de aprendizaje del curso y el desarrollo de las habilidades para resolver problemas.
- Trato de ser justo en la asignación de la calificación final y que sea un reflejo del esfuerzo que puso cada estudiante en el curso y sea una recompensa al esfuerzo realizado.

**Palabras clave**: Enseñanza, termodinámica, ingeniería química

***Abstract***

*Since 1974, almost half a century ago, after completing my doctorate at the University of California at Berkeley, and incorporated as a full-time professor at the Faculty of Chemistry at the National Autonomous University of Mexico, I have dedicated my academic activities to teaching thermodynamics, mainly chemical engineers. I have taught undergraduate and graduate level courses and refresher courses to a considerable number of practicing engineers. In this article I comment on the reflections on the teaching of thermodynamics in chemical engineering that form the essence of the methodology that I have*

*followed. Teachers must clearly establish the objectives we pursue in teaching. It is not just transmitting knowledge, teaching is much more. We influence positively or negatively according to our attitude towards students. They are the objective of our teaching work. If we are MENTORS -with capital letters- then, we must go beyond just teaching a discipline, we must incorporate elements that help them improve their self-esteem, develop their intellectual abilities and, above all, grow as people. Our attitudes towards students: Respect, consideration and motivation, are essential for a good performance as a teacher. Establishing challenges that are enthusiastically perceived and committed is an important ingredient to achieve their integral development as a person. The goals I have pursued in teaching thermodynamics are summarized below:*

- *The general objective that I have had is for the student to develop their intellectual capacity. The teaching of thermodynamics has been the vehicle to achieve this.*
- *The approach I have followed in teaching is problem-solving learning.*
- *I focus on developing the ability to solve complex problems that are within your reach.*
- *Students learn when they solve a problem, not when they see how the teacher solves it in class. Although they cannot reach the solution, having tried it has an important learning value and when they see the solution, "They can hear and they can answer because they have comprehended the issue".*
- *Set important challenges that lead them to grow intellectually and increase their self-esteem.*
- *Students must carry out a project that involves the knowledge learned in the solution of a complex problem.*
- *Be willing to help when they get stuck and value each question.*
- *The evaluation procedure and instruments must motivate the student to make the effort to learn.*
- *The exam must serve a learning purpose in itself. When designing an exam we must ask ourselves what do I want them to learn by solving the exam?*
- *Test problems are no more difficult than those solved in class or in the problem series. They allow me to differentiate the reasoning ability of each student.*
- *The exams are an indicator of how well the learning objectives of the course and the development of problem solving skills are being met.*
- *I try to be fair in assigning the final grade and that it is a reflection of the effort that each student put into the course and is a reward for the effort made.*

***Keywords**: Teaching, thermodynamics, chemical engineering*

## Antecedentes

Cursé la carrera de ingeniería química en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) de 1964 a 1968 y la formación que recibí en química, matemáticas, operaciones unitarias, cinética química, reactores y fenómenos de transporte fue excelente. Sin embargo, en la disciplina de la termodinámica tuve una formación muy deficiente, ***me atiborraron de fórmulas que no entendía para qué servían*** y, por consiguiente, no pensaba, ni por asomo, que podría ser la disciplina a la que dedicara mis esfuerzos profesionales. Lo que me apasionaba era la aplicación de las matemáticas en la solución de problemas industriales y la ingeniería de reactores y fenómenos de transporte eran el vehículo idóneo. Pero el destino tenía otros planes para mí y comencé a tropezarme con la termodinámica desde la tesis de licenciatura.

***Primer tropiezo*.** El proyecto de tesis de licenciatura, elaborada en 1968-1969, versaba sobre el desarrollo y programación en Fortran del: "Modelo matemático de un reactor de síntesis de amoniaco". El modelo era un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describían los balances de materia y energía con reacción química. Los cursos de reactores y fenómenos de transporte proporcionaron los elementos para la formulación del modelo. Para su solución se emplearon métodos numéricos: Newton-Raphson, Runge-Kutta y diferencias finitas que tuve que aprender sobre la marcha. Por otro lado, el modelo requería, como parte fundamental, la evaluación de propiedades termodinámicas (capacidad calorífica y fugacidades) y de transporte (viscosidad, conductividad térmica y difusividad) de una

mezcla de nitrógeno, hidrógeno y amoniaco, como componentes principales, a la presión de 400 atmósferas, presión de operación del reactor. Considerar la mezcla como gas ideal era improcedente y tuve que aprender cómo evaluarlas para una mezcla de gases reales. Descubrí en 1968 el libro "The Properties of Gases and Liquids" de Reid y Sherwood donde aprendí a utilizar ecuaciones de estado y los métodos de estimación basados en estados correspondientes. Esta fue la primera incursión que tuve a la aplicación de la termodinámica a un proceso industrial.

***Segundo tropiezo***. En el inicio de los estudios de posgrado, durante el primer semestre en 1969, tomé el curso de termodinámica que impartía el Prof. John M. Prausnitz basado en su libro "Molecular Thermodynamics of Fluid Phase Equilibria". Con este curso la termodinámica comenzó a tener sentido y entendí que, para las aplicaciones en el mundo real, se tenían que conjuntar armónicamente dos aspectos. Primero, las ecuaciones fundamentales de la termodinámica eran la base para desarrollar las ecuaciones generales que se aplican a la solución de problemas que involucren mezclas de sistemas reales para cualquier variedad de componentes. Segundo, el libro enfatiza la necesidad de tener modelos a nivel molecular que describan el comportamiento de mezclas reales de muy variada naturaleza. Este curso dejó una huella profunda y labró las bases sobre las que he basado la enseñanza de la termodinámica.

***Tercer tropiezo***. Mi pasión por las matemáticas y los fenómenos de transporte me llevaron a escoger el tema de tesis de maestría: "Theory of the internal viscosity in polymer chain dynamics", bajo la supervisión del Prof. Michael C. Williams, quien a su vez fue alumno del Prof. Robert B. Bird, gurú de los fenómenos de transporte, tesis que concluí en 1971. Sin embargo, la marca que había dejado el curso de Prausnitz empezó a surtir efecto. A la par de la realización de la tesis de maestría llevé a cabo mi primera incursión formal a la termodinámica con un trabajo de investigación que dio como resultado mi primera publicación en termodinámica: "Vapor-liquid equilibria for cryogenic mixtures". E.R. Bazúa y J.M. Prausnitz, *Cryogenics. 11 (2):*114-119 (April 1971).

***Cuarto tropiezo y capturado definitivamente***. Para el doctorado la suerte estaba echada y no dudé que quería continuar trabajando bajo la asesoría del Prof. John M. Praunitz. Esta ha sido una de las decisiones más importantes que he tomado en la vida y ha marcado mi carrera profesional como profesor de termodinámica. La tesis doctoral llevó por título: "Statistical Thermodynamics of Hydrocarbon Mixtures for Process Design" y la concluí en 1975. En ella desarrollé un modelo de ecuación de estado para representar las propiedades de mezclas con moléculas de muy diferentes tamaños. Parte del gas ideal y conjuga la teoría de perturbación de esferas duras, válida para moléculas esféricas pequeñas como el argón, y la teoría de Prigogine para líquidos, válida para moléculas grandes de muy variada complejidad. Me adentré entonces en el modelado termodinámico para calcular propiedades de mezclas de interés industrial. La esencia del modelo está representada en el diagrama de la

Figura 1 y son las bases para el desarrollo de lo que se conoce como la *Teoría de perturbación de cadenas de esferas duras* (*PHCT: Perturbed-Hard-Chain Theory*).

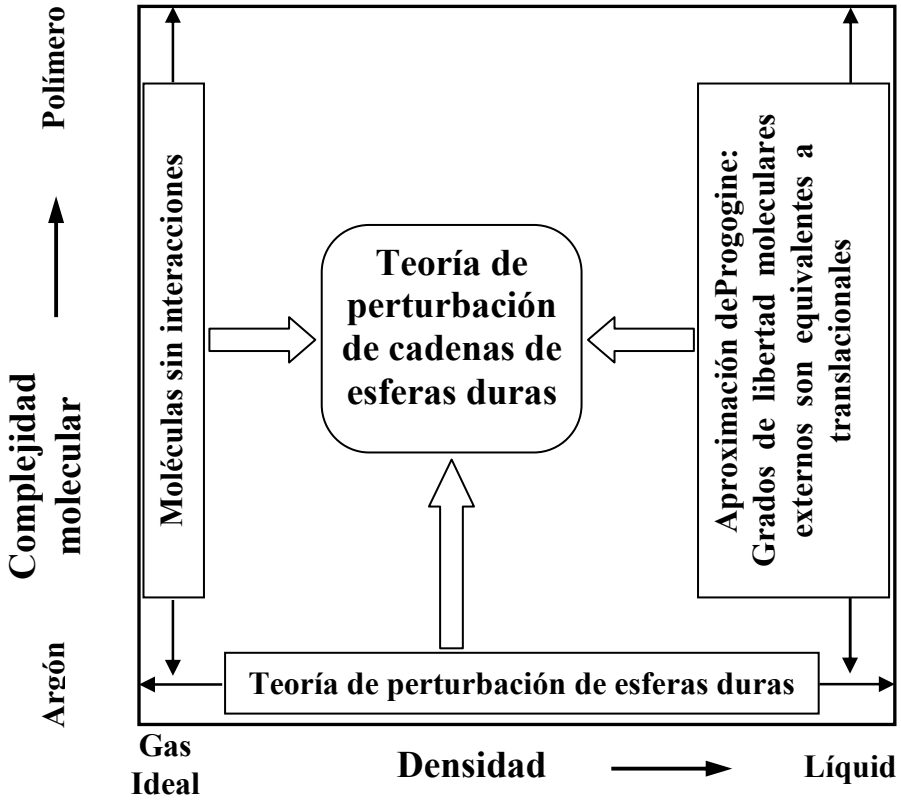



**Figura 1. Diagrama que ilustra las bases del desarrollo de los modelos de Teoría de perturbación de cadenas de esferas duras *(PHCT: Perturbed-Hard-Chain Theory)***

Todos los alumnos del Prof. Prausnitz reconocemos la profunda influencia que ha tenido sobre nosotros y es reconocido como uno de los fundadores de la ingeniería química moderna. El Instituto Americano de Ingeniería Química (AIChE) ha rendido homenaje a los fundadores dedicando un número especial de la revista AIChE Journal. Los primeros cuatro son los siguientes:

Neal R Admunson: Rapid evolution of chemical engineering science (July 2013)

R. Byron Bird: The integration of transport phenomena into chemical engineering (April 2014)

**John M. Prausnitz: Bridging abstractions and realities (September 2015)**

Roger Sanders: Intellectual leader of process systems engineering (September 2016)

En el homenaje al Prof. Prausnitz, John P. O'Connell, uno de sus alumnos escribió la siguiente reflexión que sintetiza su legado:

> *This Founders Tribute issue honors John Prausnitz as an exceptional intellectual leader, scholar, and educator and summarizes his impact on chemical engineering.* ***John's early vision of connecting fundamental molecular theory to practical thermodynamic applications with Molecular Thermodynamics was an essential element in our profession's parade shift from empiricism to engineering science.*** *John's writings and lectures have transformed our core knowledge and guided its utilization into areas well outside traditional engineering bounds. Further, he has vigorously advocated for technology to be considered in the context of all of life and as a human enterprise. Finally, John's personal interactions across generations and disciplines have inspired the personal and professional development of a vast community of students, coworkers, and colleagues. In countless ways, John Prausnitz has influenced the contemporary foundation and functioning of chemical engineering and of realms beyond.* ***© 2015 American Institute of Chemical Engineers AIChE J., 61: 2675–2688, 2015***

## Contexto de la enseñanza de la termodinámica

Los eventos que describí en el apartado anterior incidieron decisivamente en cómo he abordado la enseñanza de la termodinámica a los alumnos de ingeniería química. Desde un inicio he basado la enseñanza de la termodinámica bajo las siguientes premisas:

- ✓ Las fórmulas, ecuaciones y expresiones de la termodinámica deben presentarse en el contexto de dónde vienen y cuáles son sus aplicaciones
- ✓ Los modelos forman una parte esencial de la aplicación de la termodinámica, sobre todo en sistemas reales de interés industrial
- ✓ Enfatizo el uso de información experimental para resolver problemas. Los datos experimentales son fundamentales para la aplicación de la termodinámica, ya sea en forma directa o a través de modelos
- ✓ La conexión con el mundo real debe estar siempre presente.

Como lo esboza el Prof. Prausnitz, los problemas y las soluciones están en el mundo real y la termodinámica está en el mundo abstracto. Para resolver un problema debemos:

1) Primero formularlo, esto es, traducir el problema del mundo real al mundo abstracto de la termodinámica;
2) Segundo, resolver el problema en el marco de la termodinámica; y
3) Tercero, traducir el resultado del mundo abstracto al mundo real, esto es, ¿Qué indica la solución sobre el comportamiento del mundo real que hemos analizado?

Los lineamientos generales en que he basado la docencia de la termodinámica son los siguientes:

- ✓ Basar la enseñanza en la solución de problemas

- ✓ Conectar siempre con aplicaciones relevantes a la ingeniería química
- ✓ Enfatizar la utilización de los datos experimentales en los cálculos termodinámicos
- ✓ Adentrar a los alumnos en la aplicación de modelos termodinámicos para los cálculos en procesos industriales
- ✓ Aplicar los conceptos desarrollados en la solución de problemas desde las primeras semanas del curso. Comenzar las aplicaciones con modelos sencillos (solución ideal y gas ideal) y transitar en forma ordenada hacia modelos de sistemas reales (coeficientes de actividad y ecuaciones de estado).

Para explicar el contexto de la enseñanza de la termodinámica plasmé las diferentes piezas en el diagrama que presento en la Figura 2.

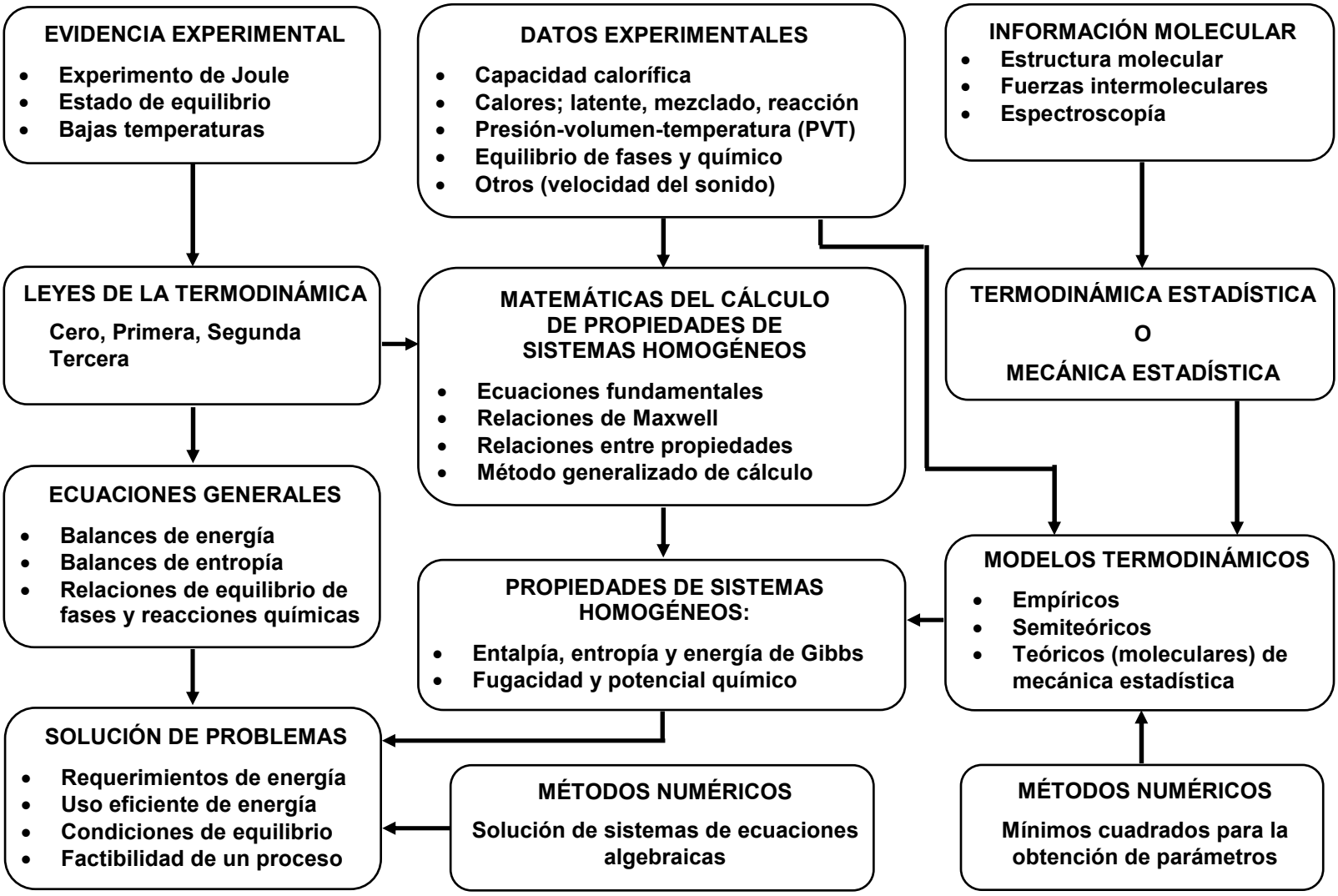



**Figura 2. Esquema general de la termodinámica para la solución de problemas relevantes para la industria de proceso**

En todos los cursos, a todos los niveles, siempre comienzo explicando este diagrama y delineando la inscripción del curso en particular en las piezas del diagrama. A continuación, explico los diferentes bloques del diagrama y la conexión entre ellos. Las flechas indican el flujo de información y, al mismo tiempo, los elementos antecedentes que se necesitan para ejecutar las deducciones y cálculos en cada bloque.

**EVIDENCIA EXPERIMENTAL y las LEYES DE LA TERMODINÁMICA.** La termodinámica es una ciencia fenomenológica y surge de la observación del mundo que nos rodea. De la observación del equilibrio surge el concepto de temperatura y la Ley cero de la termodinámica. Del experimento de Joule se formula el principio de conservación de la energía y la primera ley de la termodinámica. La observación de la evolución de los sistemas en forma espontánea hacia el equilibrio da origen a la segunda ley de la termodinámica. Experimentos del comportamiento de los sistemas a temperaturas extremadamente bajas dan pie a la formulación de la tercera ley de la termodinámica. Las leyes de la termodinámica son objeto de estudio en el curso introductorio de termodinámica. En los cursos de termodinámica para ingenieros químicos se parte de que los estudiantes tienen como antecedente un curso donde se abordaron las leyes de la termodinámica. **Tomaremos esta base para establecer la estructura termodinámica necesaria para resolver problemas de interés industrial, esto es problemas reales.**

**El contexto general del diagrama es que en la parte superior tenemos la información experimental de las sustancias y mezclas medidas en laboratorios. Estas mediciones forman la base de todas las aplicaciones de la termodinámica, sin ellas no podemos resolver problemas. El objetivo de la termodinámica es tomar esta información y resolver problemas con ayuda de los modelos termodinámicos. Este objetivo general se plasma en el diagrama simplificado de la Figura 3.**

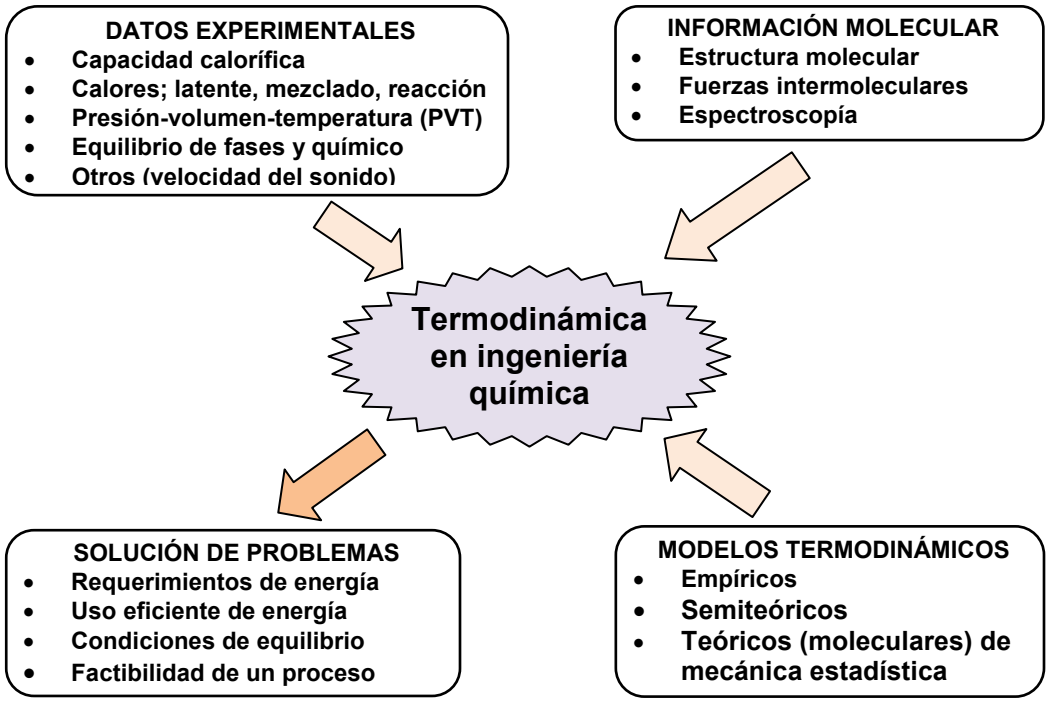



**Figura 3. Esquema general simplificado de la termodinámica para la solución de problemas relevantes para la industria de proceso**

El bloque de **SOLUCIÓN DE PROBLEMAS**, en la parte inferior a la izquierda, es el bloque al cual fluye toda la información, es el fin último. Para la solución de toda clase de problemas se requieren tres ingredientes:

1. Formular las ECUACIONES GENERALES de balance de energía, balance de entropía y relaciones de equilibrio de fases y en reacciones químicas pertinentes para el problema en cuestión.
2. Calcular las PROPIEDADES TERMODINÁMICAS que requieren las Ecuaciones Generales para cada una de las mezclas presentes en las fases que conforman el sistema.
3. Solamente algunos problemas sencillos tienen solución analítica, la mayoría requiere de utilizar algún MÉTODO NUMÉRICO para resolver el sistema de ecuaciones.

Los bloques de ECUACIONES GENERALES y PROPIEDADES TERMODINÁMICAS son las piezas centrales de la aplicación de la termodinámica en toda clase de problemas, incluyendo las aplicaciones a problemas de la industria química y de proceso.

**ECUACIONES GENERALES**. Las ecuaciones generales que se requieren para la solución de toda clase de problemas son: El balance de energía, el balance de entropía y las relaciones de equilibrio de fases y en reacciones químicas. Estas ecuaciones generales se derivan de las LEYES DE LA TERMODINÁMICA, que fueron establecidas para sistemas cerrados, y constituyen su generalización para todo tipo de sistemas. En ingeniería química la mayoría de los problemas se plantean como sistemas abiertos para resolver procesos a régimen estacionario. Las ecuaciones para este caso son:

$$\textbf{Balance de enegía:}\quad \sum_{Entradas} [h]_{ent}\dot{E} + \dot{Q} + \dot{W} = \sum_{Salidas} [h]_{sal}\dot{S} \qquad (1)$$

$$\textbf{Balance de entropía:}\quad \sum_{Entradas} [s]_{ent}\dot{E} + \sum_{Fuentes\ de\ calor} \frac{\dot{Q}}{T_{ext}} + (\dot{S}_{Gen})_{Total} = \sum_{Salidas} [s]_{sal}\dot{S} \qquad (2)$$

Donde: $\dot{E}, [h]_{ent}, [s]_{ent}; \dot{S}, [h]_{sal}, [s]_{sal}$ son el flujo molar, la entalpía molar, la entropía molar de las corrientes de entrada y salida del sistema, respectivamente

$\dot{Q}\ y\ \dot{W}$ son la carga térmica transferida al sistema desde una fuente térmica a $T_{ext}$ y la potencia entregada al sistema, respectivamente

$$\textbf{Relaciones de equilibrio de fases:}\quad \begin{aligned} \hat{f}_1^{\alpha} &= \hat{f}_1^{\beta} = \hat{f}_1^{\gamma} \\ \hat{f}_2^{\alpha} &= \hat{f}_2^{\beta} = \hat{f}_2^{\gamma} \\ &\vdots \\ \hat{f}_{n_c}^{\alpha} &= \hat{f}_{n_c}^{\beta} = \hat{f}_{n_c}^{\gamma} \end{aligned} \qquad (3)$$

**Equilibrio en reacciones:** $$K_j = \prod_{i=1}^{n_c} \left( \frac{\hat{f}_i}{f_i^{ref}} \right)^{v_{ij}} = exp\left( -\sum_{i=1}^{n_c} v_{ij}\, \mu_i^{ref} \Big/ RT \right) \quad (4)$$

Donde: $\hat{f}_i^{\alpha}, \hat{f}_i^{\beta}, \hat{f}_i^{\gamma}; \; i = 1, 2, \ldots, n_c$, son la fugacidad del componente *i* en las fases $\alpha, \beta, \gamma$, respectivamente

$K_j \; ; \; j = 1, 2, \ldots, n_r$, es la constante de equilibrio de la reacción química *j*

$v_{ij}$ es el coeficiente estequiométrico del componente *i* en la reacción *j*

$f_i^{ref}$ y $\mu_i^{ref}$ son la fugacidad y el potencial químico (que es igual a la energía de Gibbs de formación) del componente *i* en el estado de referencia que se escoge para calcular la constante de equilibrio.

El balance de energía se requierepara calcular la carga térmica $\dot{Q}$, la potencia $\dot{W}$ o la temperatura de salida de una corriente cuando se especifica la carga térmica o la potencia. Se aplica a cualquier proceso, incluyendo mezclado o reacción química.

El balance de entropía se requiere para calcular la generación de entropía en el proceso, $(\dot{S}_{Gen})_{Total}$, a causa de las irreversibilidades termodinámicas. La generación de entropía es un ingrediente indispensable en el análisis termodinámico de procesos ya que sirve para calcular el potencial de ahorro de energía de un proceso dado por el trabajo perdido $\dot{W}_p = T_{amb}(\dot{S}_{Gen})_{Total}$. También se utiliza cuando se desea conocer la temperatura de salida de una corriente cuando el proceso se considera reversible, como el cálculo de la potencia mínima para comprimir una corriente a la presión final.

Las ecuaciones de equilibrio de fases y equilibrio en reacciones químicas son aplicables a sistemas con cualquier combinación de fases gas, líquido y sólido que estén presentes en el sistema. Por ejemplo: i) encontrar las condiciones de temperatura o presión de una corriente líquida o vapor saturada; ii) calcularla cantidad y composición de las fases presentes en una corriente cuando se especifican temperatura y presión (problema *flash*); iii) calcular la conversión al equilibrio, o bien, con un acercamiento al equilibrioespecificado, de un sistema de reacciones químicas.

En varias aplicaciones es necesario combinar las ecuaciones de balance de energía o entropía y las relaciones de equilibrio de fases o reacciones químicas para encontrar las condiciones de una corriente de salida, por ejemplo: i) calcular la temperatura, cantidad y composición de las fases presentes en una separación adiabática o con una carga térmica especificada.

***Estas ecuaciones generales, con el modelo termodinámico apropiado para caracterizar al sistema real, son aplicables a cualquier proceso por más complejo que sea. Estas ecuaciones generales son las ecuaciones que utilizan los simuladores de proceso para representar a los procesos industriales.***

La mayoría de los cursos comienzan con el desarrollo de las ecuaciones de este bloque que se aplicará a todos los problemas del curso en cuestión.

➔ ***Sugiero que, una vez desarrolladas estas ecuaciones, se apliquen para la solución de problemas con modelos ideales como Ley de Raoult, Ley de Henry y gas ideal. Después vendrán las aplicaciones con modelos reales como coeficientes de actividad y ecuaciones de estado.***
***Esta secuencia ayuda a afianzar los conceptos de balances de energía y entropía y ecuaciones de equilibrio de fase y en reacciones químicas minimizando las complejidades del cálculo de propiedades en la etapa inicial.***

**PROPIEDADES TERMODINÁMICAS**. Este bloque constituye el ingrediente central para las aplicaciones. En él se debe enfatizar la utilización de la información experimental. Es un bloque complejo que propongo se aborde desmenuzado por grado de complejidad creciente en los siguientes ámbitos de aplicación:

➲ **Uso de información directa que requiere solamente la lectura de las propiedades en tablas o diagramas, como:**

➔ Tablas de propiedades de componentes puros como las Tablas de vapor de agua y diagramas presión-entalpía de componentes puros.
➔ Diagramas entalpía-composición de mezclas, diagramas de fase, diagrama psicrométrico y diagramas de equilibrio en reacciones químicas.

➔ ***Con la información directa y las ecuaciones generales se puede comenzar la solución de problemas. Tiene la gran ventaja que se enfatiza el planteamiento de las ecuaciones generales para casos particulares sin la complejidad del cálculo de propiedades. Se puede utilizar para problemas de circuitos de vapor de agua, circuitos de refrigeración, problemas de separación de mezclas binarias y problemas de equilibrio químico en mezclas de gases ideales. Estos temas se pueden abordar en las primeras semanas del curso y los alumnos comienzan a percibir la utilidad de la termodinámica en la solución de problemas relevantes en procesos industriales.***

➲ **Uso de información experimental directa con el procedimiento de cálculo generalizado de propiedades, en particular entalpía y entropía.**

- El método generalizado de cálculo de propiedades se organiza para el cálculo de propiedades que se requiere en los balances de energía y entropía.

  Las diferencias de entalpía y entropía entre las corrientes de salida y entrada se evalúan estableciendo una ***ruta de cálculo por pasos***. La suma de los pasos debe llevar a las corrientes de entrada a las condiciones de las corrientes de salida. **En cada paso se modifica solamente una variable de proceso manteniendo el resto constante**. En la Tabla 1 se muestran las variables que se modifican en cada paso y las propiedades termodinámicas que se requieren para el cálculo.

**Tabla 1. Variable que se modifica en cada paso del cálculo generalizado de propiedades e información termodinámica que se requiere**

| Variable de proceso que se modifica | Variables de proceso que se mantienen contantes | Propiedad termodinámica que se requiere |
|---|---|---|
| **Temperatura** | **Presión, fase y composición** | **Capacidad calorífica a presión constante** |
| **Presión** | **Temperatura, fase y composición** | **Ecuación de estado** |
| **Cambio de fase** | **Temperatura, presión y composición** | **Calores latentes** |
| **Cambio de composición por mezclado** | **Temperatura y presión** | **Calores de mezclado** |
| **Cambio de composición por reacción química** | **Temperatura y presión** | **Calores de reacción** |

Entonces, la diferencia de propiedades se calcula sumando las contribuciones de todos los pasos como se establece en las ecuaciones (5a y b):

$$\sum_{Salidas} [h]_{sal}\,\dot{S} - \sum_{Entradas} [h]_{ent}\,\dot{E} = \sum_{\substack{Suma\ de \\ todos\ los\ pasos}} \Delta\dot{H}_{paso} \qquad (5a)$$

$$\sum_{Salidas} [s]_{sal}\,\dot{S} - \sum_{Entradas} [s]_{ent}\,\dot{E} = \sum_{\substack{Suma\ de \\ todos\ los\ pasos}} \Delta\dot{S}_{paso} \qquad (5b)$$

Las consideraciones generales para establecer la ***ruta de cálculo por pasos*** son las siguientes:

- El cambio de composición por mezclado o separación de corrientes requiere de la información de calores de mezclado que indica el efecto térmico al formar la mezcla a partir de los componentes puros. Esta información se encuentra disponible casi siempre a una sola temperatura y presión, normalmente 25°C y 1 atm. La información experimental disponible determinará las condiciones de temperatura, presión y fase del ***estado intermedio*** que se debe establecer en la ruta.

- El cambio de composición por reacciones químicas requiere de la información de calores de reacción que indica el efecto térmico al pasar los reactivos como componentes puros a los productos también como componentes puros. Esta información se encuentra disponible casi siempre a una sola temperatura y presión, normalmente 25°C y 1 atm. La información experimental disponible determinará las condiciones de temperatura, presión y fase del ***estado intermedio*** que se debe establecer en la ruta.

- Cuando en un proceso hay cambios de composición por mezclado-separación y por reacción química es conveniente establecer el mismo estado intermedio para ambos casos, de lo contrario la ruta requerirá un mayor número de pasos para pasar de un estado intermedio al otro.

- Con base en lo anterior, la ruta de cálculo está formada por cinco etapas. Cada etapa estará conformada por los pasos que se requieran. En la Figura 4 se muestra el esquema del cálculo generalizado de propiedades para una ruta con un solo estado intermedio para mezclado, separación y reacción química.

- Las corrientes que no cambian composición, entre la entrada y la salida, ejemplificadas por las corrientes K y N, se tratan en forma directa con pasos para la variación de temperatura, presión y fase.

- En las Etapas (1) y (5) se llevan las corrientes de entrada al estado intermedio y las de salida del estado intermedio a las condiciones finales, respectivamente. En la etapa (2) se separan las corrientes en los componentes puros, en la etapa (3) se realizan las reacciones químicas necesarias para formar los componentes que se encuentran en las corrientes de salida y, en la etapa (4) se mezclan los componentes puros para formar las corrientes de salida.

- **Etapa (1)** para llevar cada una de las corrientes de entrada a las condiciones intermedias a las que se encuentra disponible la información de calores de mezclado o calores de reacción. Los pasos de esta etapa son los cambios de temperatura, presión y fase necesarios a composición constante.

- **Etapa (2)** para llevar a cabo el cambio de composición por mezclado, separación o reacción química a las condiciones del estado intermedio a la que se encuentre la información experimental. Esta etapa consiste en separar cada una de las corrientes involucradas en los componentes puros. El efecto térmico es el calor de mezclado a la composición de las corrientes involucradas, con signo contrario.

- **Etapa (3)** para llevar a cabo las reacciones químicas para formar los productos a partir de los reactivos, todos como componentes puros. El efecto térmico es el calor de reacción a las condiciones en que encuentre la información experimental.

- **Etapa (4)** para mezclar los componentes puros para formar las corrientes que darán lugar a las corrientes de salida a la composición correspondiente. El efecto térmico es el calor de mezclado a la composición de las corrientes involucradas.

- **Etapa (5)** para llevar cada una de las corrientes de salida de las condiciones del estado intermedio a las condiciones finales. Los pasos de esta etapa son los cambios de temperatura, presión y fase necesarios a composición constante.

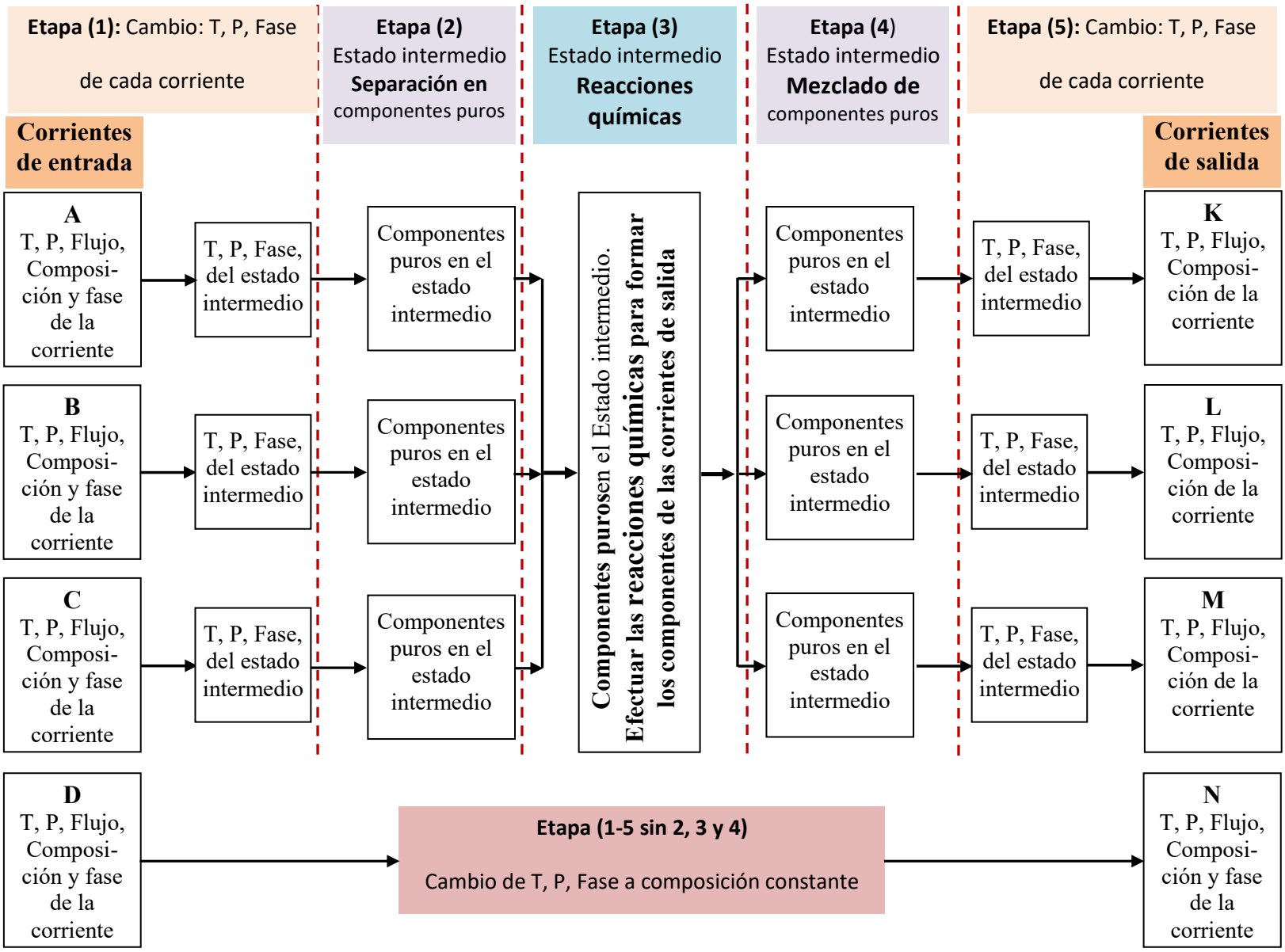



**Figura 4. Esquema del cálculo generalizado de propiedades para evaluar la diferencia de entalpía y entropía en un proceso. Cada etapa está formada por varios pasos. En cada paso se calcula la diferencia de entalpía y entropía al cambiar solamente una variable. Las etapas 2, 3 y 4 se definen en función de la información experimental disponible de calores de mezclado y calores de reacción**

Con esta estructura general se puede resolver cualquier problema estableciendo la ruta adecuada a cada caso. No obstante, en los cursos recomiendo:

➔ **En cursos de termodinámica o balances de materia y energía recomiendo que se emplee en procesos a baja presión que permita utilizar el modelo de gas ideal e ignorar el efecto de presión en las fases líquidas y sólidas. De este modo, la entalpía no cambia al variar la presión y la entropía solamente cambia para la fase gas con la expresión $\Delta S = -NR\ln(P_2/P_1)$. La estrategia didáctica consiste en abordar aplicaciones con creciente grado de complejidad por la información termodinámica requerida. La secuencia sugerida es la siguiente:**

- **Primero, procesos donde no hay cambio de composición en las corrientes. De este modo solamentese requieren cambios de temperatura, presión y fase, En la ruta general no se requieren las etapas (2), (3) y (4) y cada corriente se considera por separado.**
- **Segundo, procesos donde hay cambio de composición por mezclado-separación y con o sin reacciones químicas, pero en los cuales se puede utilizar la aproximación de solución ideal. En este caso los calores de mezclado son despreciables y en las etapas (2) y (4) la entalpía no cambia y para la entropía se utiliza la entropía de mezclado ideal que solamente depende de la composición. Si hay reacciones químicas se incluye la etapa (3) y se incorporan los calores de reacción.**
- **Tercero, procesos donde hay cambio de composición por mezclado-separación y con o sin reacciones químicas, en los cuales se deben incorporar la información experimental de los calores de mezclado de las soluciones líquidas no-ideales. Esta información se utiliza en las etapas (2) y (4)**

➔ **La aplicación de estos modelos a problemas reales ofrece una oportunidad para elaborar proyectos para que los alumnos los resuelven, ya sea individualmente o por equipos.**

➲ **Cálculo de propiedades con modelos simples como propiedades coligativas, Ley de Raoult y Ley de Henry, en particular, fugacidades y potenciales químicos.**

➔ **En cursos de equilibrio de fases es conveniente comenzar con la solución de problemas como puntos de burbuja y rocío y cálculos *flash* para mezclas multicomponentes con modelos sencillos de Ley de Raoult, Ley de Henry y propiedades coligativas. De esta forma se enfatiza la regla de las fases y el planteamiento de las ecuaciones de equilibrio pertinentes con el cálculo de fugacidades con los modelos simples que son proporcionales a las fracciones mol. Los alumnos comienzan a percibir los alcances de la solución de problemas de equilibrio de fases, algunos con solución analítica o con ayuda del método de Newton-Raphson. Se pueden abordar problemas de equilibrio líquido-vapor, líquido-líquido-vapor con la aproximación de líquidos totalmente inmiscibles como sistemas con hidrocarburos y agua, mezcla líquida-sólido puro.**

➔ **En cursos de equilibrio en reacciones químicas es oportuno comenzar con solución de problemas con modelos sencillos de gas ideal, Ley de Raoult, Ley de Henry y propiedades coligativas. Es muy importante enfatizar que la**

**constante de equilibrio de una reacción química es solamente función de la temperatura de reacción y se calcula con las energías de Gibbs de formación de los componentes puros. El balance de materia se debe plantear con el concepto de avance de reacción, así, los avances de reacción se convierten en las incógnitas. Sugiero la siguiente secuencia de problemas a resolver:**

- **Equilibrio en un sistema gaseoso con gas ideal, primero con una reacción y después considerando un sistema de reacciones.**
- **Equilibrio en sistemas gaseosos con la presencia de sólidos puros. Primero, una reacción y una fase sólida, después varias reacciones y varias fases sólidas.**
- **Equilibrio en sistemas líquidos considerando el modelo de solución ideal (fugacidad proporcional a la fracción mol). Primero con una reacción y después con varias reacciones.**
- **Equilibrio en sistemas de un líquido con la presencia de uno o varios sólidos puros, con una o varias reacciones químicas.**
- **Equilibrio en sistemas líquido-vapor con los modelos de la Ley de Raoult y la ley de Henry.**
- **Equilibrio en sistemas líquido-gas-sólidos puros con los modelos de gas ideal y solución líquida ideal.**

➲ **La discusión de los diagramas de fases y la regla de las fases de Gibbs deben acompañar a lo largo de la enseñanza de la termodinámica. Son un recurso didáctico que aporta elementos que pueden ayudar en el tránsito del mundo real al mundo abstracto de la termodinámica y viceversa.**

➲ **Por último, la cereza del pastel. Cálculo de propiedades con modelos de ecuaciones de estado y modelos de coeficientes de fugacidad. Estos modelos son indispensables en la aplicación a problemas industriales reales. Algunas consideraciones didácticas:**

- Este tema debe abordarse en cursos de licenciatura para que los estudiantes perciban el alcance de la termodinámica en la solución de problemas reales de la industria.
- En los cursos de termodinámica de posgrado debe formar el corazón del curso.
- En cursos donde se utilicen los simuladores de proceso como recurso de cálculo, debe incluirse este tema como una parte fundamental del curso, de lo contrario el simulador de procesos será una caja negra.
- Los modelos sencillos de gas ideal y solución ideal son el punto de partida y, a partir de ellos, explicar la necesidad y características de los modelos de ecuaciones de estado y coeficientes de actividad. Enfatizar su utilidad para la modelación de sistemas reales.
- En el tema de ecuaciones de estado comenzar con los modelos más utilizados, las ecuaciones de estado cúbicas (Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong). Enfatizar las ventajas en la solución de problemas reales, pero también, discutir sus limitaciones. Solamente en cursos avanzados se pueden abordar ecuaciones de estado más complejas como *CPA*, *SAFT*, *PC-SAFT* o *PHCT.*

- En el tema de modelos de coeficientes de actividad abordar los modelos de mayor aplicación en problemas industriales, por lo menos *NRTL* y Wilson. Los modelos *UNIQUAC* y *UNIFAC* pueden abordarse en cursos avanzados de licenciatura y de posgrado.
- En todos los cursos debe incluirse el tema de ajuste de parámetros que incluye: 1) Contrastar los resultados de los cálculos de los modelos con los datos experimentales y 2) Estrategias de ajuste de parámetros, esto es, modificar los parámetros de los modelos para que los cálculos se asemejen mejor a los datos experimentales.

➔ **Estos modelos requieren un número cuantioso de operaciones matemáticas que dificulta su instrumentación con cálculos manuales. Esto no puede ser obstáculo para su inclusión en la docencia de todos los cursos a todos los niveles. Las hojas de cálculo como Excel son un recurso que facilitan los cálculos numéricos y contribuyen a facilitar la solución de problemas reales.**

➔ **La aplicación de estos modelos a problemas reales ofrece una oportunidad para elaborar proyectos para que los alumnos los resuelven, ya sea individualmente o por equipos.**

**MATEMÁTICAS DEL CÁLCULO DE PROPIEDADES DE SISTEMAS HOMOGÉNEOS.** Este bloque está formado por el formalismo matemático que se desarrollo en el siglo XIX, entre otros por J. Willard Gibbs y J.D. van der Waals. **Es una parte esencial de la termodinámica y constituye el corazón del formalismo termodinámico. Gracias a este bloque podemos resolver problemas reales.** El recurso matemático es el cálculo de varias variables y es la parte más árida de la termodinámica, Se pasa de una ecuación a otra, siempre en el mundo de las matemáticas. De estudiante yo me preguntaba: ¿Todo esto para que sirve? Este hecho contribuyó fuertemente a que no entendiera la termodinámica como lo describí en los antecedentes. Este bloque si no se aborda conectándolo con la realidad, provoca en los estudiantes la aversión a la termodinámica. Para evitarlo, propongo que se enfatice como punto de partida la secuencia de bloques que llevan de los datos experimentales a la solución de problemas, como se ilustra en la Figura 4. Es vital que se tenga siempre presente que el objetivo de todo el formalismo termodinámico es proveer las herramientas conceptuales y matemáticas que se requieren para resolver problemas reales a partir de la información experimental del sistema que se está analizando.

- El formalismo matemático se desarrolla a partir de las leyes de la termodinámica. Se establecen las ecuaciones diferenciales fundamentales de la termodinámica para las funciones termodinámicas $U, H, A$ y $G$, la primera de ellas y origen de todo el desarrollo matemático es: $dU = TdS - PdV + \hat{\mu}_1 dN_1 + \hat{\mu}_2 dN_2 + \cdots + \hat{\mu}_{n_c} dN_{n_c}$
- Las ecuaciones fundamentales se aplican a sistemas homogéneos, esto es a sistemas formados por una sola fase multicomponente. De modo que son aplicables para calcular propiedades de sistemas homogéneos. Este hecho lleva a establecer el axioma central del cálculo de propiedades: ***Las propiedades de un sistema formado por varias fases multicomponentes se calculan como la suma de las propiedades de cada una de las fases.***

- A partir de las ecuaciones fundamentales, con ayuda del cálculo de varias variables, se desarrollan las Relaciones de Maxwell y las relaciones entre propiedades, todas como derivadas parciales, que forman la base del cálculo de propiedades. ***La motivación fundamental del desarrollo de este formalismo es tener expresiones con las que se puedan calcular propiedades termodinámicas a partir de datos experimentales***.

- Las propiedades se calculan integrando las derivadas parciales y sustituyendo las ecuaciones del modelo termodinámico que represente al sistema. Una estrategia muy utilizada es la formulada en el cálculo generalizado de propiedades descrito en el diagrama de la Figura 5.

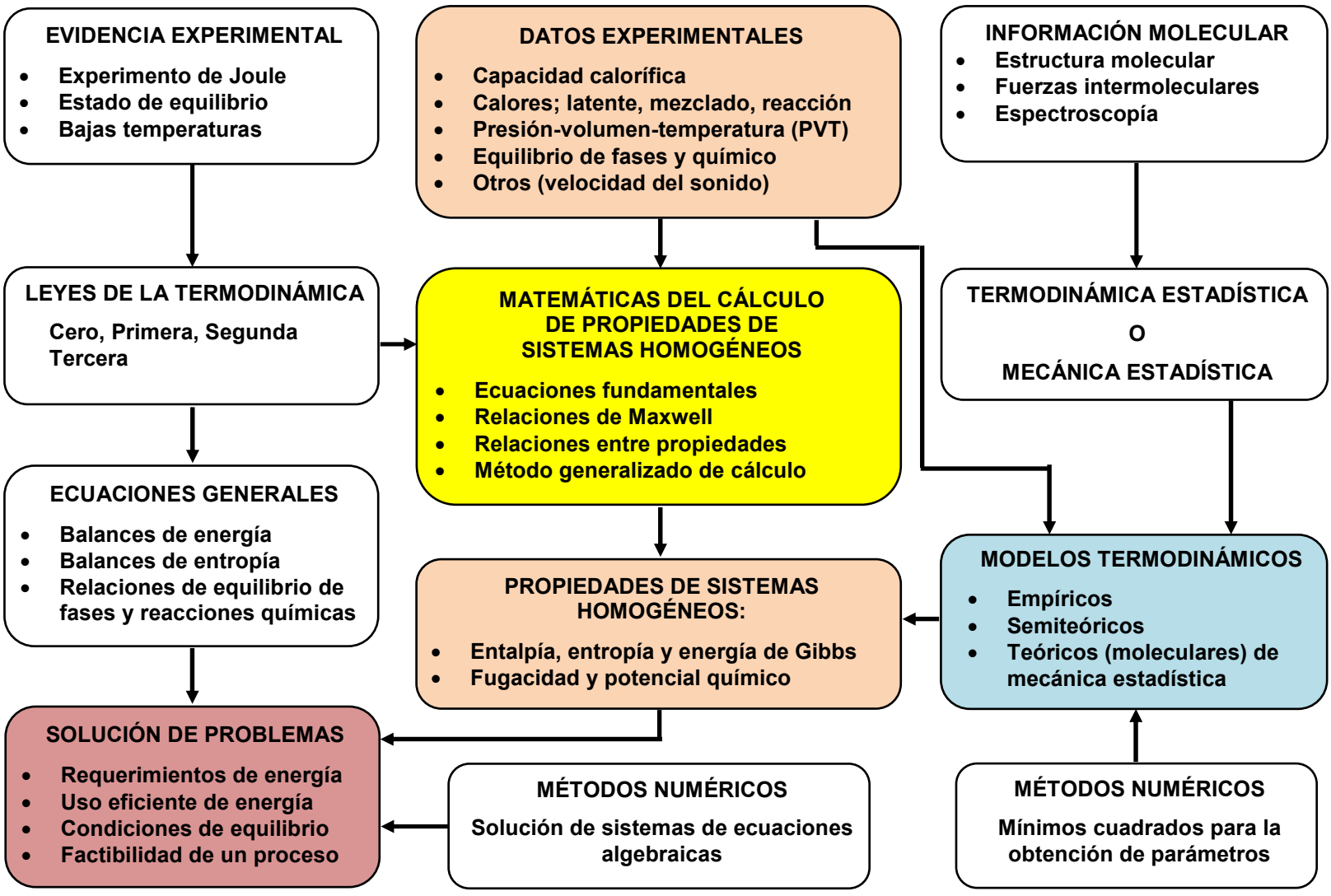



**Figura 5. Conexión del bloque *MATEMÁTICAS DEL CÁLCULO DE PROPIEDADES (ver Figura 2)* con los bloques antecedentes de *DATOS y MODELOS* y con el objetivo de cálculo de *PROPIEDADES y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS***

**TERMODINÁMICA O MECÁNICA ESTADÍSTICA.** La designación Termodinámica estadística la utilizamos más los ingenieros químicos y los químicos. Por otro lado, la designación Mecánica estadística la utilizan más los físicos. Ambas son equivalentes. En ella se estudia el comportamiento molecular de los sistemas y, a partir de la información de la estructura y propiedades de las moléculas y de las fuerzas de interacción entre ellas, se formulan modelos que representan el comportamiento de los sistemas multicomponentes. Lo más común es formular el modelo en el ámbito de la función de partición canónica que lleva a establecer la energía de Helmholtz, *A,* como una función de las variables termodinámicas: $A = A\left(T, V, N_1, N_2, \cdots, N_{n_c}\right)$. A partir de esta función, utilizando las relaciones termodinámicas del bloque MATEMÁTICAS DE LAS PROPIEDADES, se obtienen la ecuación de estado, la entalpía, la entropía, las fugacidades y potenciales químicos. Para cálculos de sistemas reales se han desarrollado modelos basados en teoría de perturbación, como *PHCT* (ver Figura 1) y *PC-SAFT*, y para fluidos con asociaciones, como *CPA* y *SAFT* que están ganando popularidad en aplicaciones industriales. Los ingenieros químicos estamos muy activos en este tema.

➔ **Por la importancia que tiene la termodinámica estadística en el planteamiento de modelos termodinámicos, es muy conveniente que contemos con cursos optativos de licenciatura y de posgrado que incorporen una introducción a la termodinámica estadística y el estudio de modelos.**

**MÉTODOS NUMÉRICOS.** Como se ha descrito en estas reflexiones de la enseñanza de la termodinámica, debemos abordar la solución de problemas relevantes para aplicaciones en sistemas de interés industrial. Muchos de estos problemas requieren el auxilio de métodos numéricos, principalmente con dos temas: 1) Solución de un sistema de ecuaciones algebraicas y 2) Minimización de una función objetivo. Para vislumbrar la importancia de los métodos numéricos en la termodinámica, a continuación, mencionaremos problemas cuya solución requiere la intervención de métodos numéricos.

- **Problemas que se formulan como un sistema de ecuaciones algebraicas y que requieren una solución numérica.** El método de Newton-Raphson, ya sea de una variable o multivariable, es útil para este fin.

  - Cálculo de la presión de burbuja o rocío de una mezcla multicomponente con cualquier modelo, excepto modelos simples como Ley de Raoult y Ley de Henry para los cuales hay solución analítica. El sistema de ecuaciones son las ecuaciones de igualdad de fugacidades.
  - Cálculo de la temperatura de burbuja o rocío de una mezcla multicomponente con cualquier modelo, incluyendo modelos simples como Ley de Raoult y Ley de Henry. El sistema de ecuaciones son las ecuaciones de igualdad de fugacidades.
  - Cálculo del problema *flash* para una mezcla multicomponente con cualquier modelo, incluyendo modelos simples como Ley de Raoult y Ley de Henry. Solamente tiene solución analítica para una mezcla binaria con un modelo simple. El sistema de ecuaciones son las ecuaciones de igualdad de fugacidades y los balances de materia.

- Cálculo de avances de reacción en problemas de equilibrio químico para un sistema de reacciones con cualquier modelo, incluyendo modelos simples como gas ideal, Ley de Raoult y Ley de Henry, con excepciones muy contadas que dan ecuaciones algebraicas lineales o cuadráticas. El sistema de ecuaciones son las ecuaciones de equilibrio formuladas en términos de la constante de equilibrio y los balances de materia formulados en términos de los avances de reacción.
- Cálculo de la temperatura y los avances de reacción en problemas de reactores adiabático con cualquier modelo. El sistema de ecuaciones son las ecuaciones de equilibrio formuladas en términos de la constante de equilibrio, los balances de materia formulados en términos de los avances de reacción y el balance de energía.
- Solución de problemas de balance de energía en procesos con recirculaciones con cualquier modelo. La solución requiere que se establezca una o varias corrientes de corte, El sistema de ecuaciones son las diferencia entre los valores estimados y los valores calculados de las variables de las corrientes de corte.

- **Problemas que se formulan como minimización de una función objetivo.** El método de minimización con restricciones es útil para este fin.

  - Solución de problemas de equilibrio de fases y de reacciones químicas en una o varias fases por la minimización de la energía de Gibbs, sujeto a las restricciones de los balances de materia. La función objetivo es la energía de Gibbs y las restricciones son los balances de materia.

- **Problemas de ajuste de parámetros que se formulan como minimización de una función objetivo.** La función objetivo es la suma de cuadrados de los errores entre los cálculos del modelo y los valores experimentales. El método de mínimos cuadrados es útil para este fin

  - Ajuste de los parámetros de la ecuación de presión de vapor de un componente puro, por ejemplo, ecuación de Antoine, con datos experimentales de presión de vapor.
  - Ajuste de los parámetros de interacción binarios en modelos de ecuaciones de estado y coeficientes de actividad para equilibrio líquido-vapor o líquido-líquido.

➔ **En consecuencia, es imprescindible que los alumnos puedan resolver problemas con el auxilio de métodos numéricos, de lo contrario su ámbito de acción se limitará a problemas sencillos. En caso de que los alumnos no tengan antecedentes o no se disponga de tiempo en el curso, se puede recurrir a ayudas numéricas como la función *solver* en las hojas de cálculo de Excel**

## Comentarios finales

En estas reflexiones sobre la enseñanza de la termodinámica he plasmado los objetivos que he perseguido en 47 años de docencia. El alumno siempre va por delante en todos los aspectos de la docencia. Siempre he tenido presente que el objetivo es entusiasmar al alumno para que el tránsito por la termodinámica tenga sentido y vean la conexión con la realidad, sobre todo en

el contexto de la ingeniería química. He procurado ubicar los conceptos en el contexto de la solución de problemas relevantes. En todos los cursos les he dejado algún proyecto para que lo desarrollen ya sea individualmente o en equipos. Los proyectos han sido retos que los motivan por superarse y cuando los concluyen aumenta significativamente su autoestima, se sienten poderosos y capaces de enfrentar cualquier reto y así son en realidad, poderosos y capaces. Cuando converso con ellos después de muchos años me manifiestan que el proyecto fue muy significativo para su formación y se sienten orgullosos de lo que lograron.

Para terminar, enlistaré el tipo de proyectos que les he dejado a lo largo de los cursos que he impartido:

- Elaboración de un diagrama presión-entalpía para una substancia pura con el modelo de la ecuación de estado de Peng-Robinson. Los alumnos programaban todas las ecuaciones necesarias para los cálculos, unos utilizando una calculadora programable y otros programando en Fortran. Utilizaban un método numérico para los cálculos de la presión de vapor para la curva de saturación.

- Elaboración de un diagrama entalpía-composición para una mezcla binaria por el método generalizado de cálculo de propiedades. Los alumnos se apoyaban con una hoja de Excel. Para las líneas de saturación utilizaban el modelo *NRTL* o Wilson de coeficientes de actividad.

- Efectuar balances de materia y energía en un proceso industrial real utilizando el método de cálculo generalizado de propiedades. El proceso tiene un reactor químico, equipos de separación de corrientes y una recirculación. Los cálculos los elaboran con auxilio de una hoja de cálculo de Excel y la función *solver* para la convergencia de la corriente de corte.

- Para un proceso de separación con equipo de transferencia de calor y separación de fases, efectuar los cálculos de balances de materia y energía y de equilibrio líquido-vapor con el modelo de ecuación de estado de Peng-Robinson. Los alumnos se apoyan con una hoja de Excel.

## Glosario

| Término | Significado |
|---|---|
| *CPA* | Siglas en inglés para la ecuación de estado *Cubic Plus Association*. Incorpora un término de asociación molecular en las ecuaciones de estado cúbicas |
| Expresión mexicana "***caer el veinte***" | Durante el tiempo en que Teléfonos de México era una empresa paraestatal, el costo de una llamada telefónica era de veinte centavos. Para garantizar el pago debía introducirse la moneda en la ranura, se marcaba en número y, cuando se oía la respuesta, la moneda o **'veinte'** caía a una caja interior y entonces ambas personas ya podían hablar pudiendo ser oídas. De ahí viene este modismo idiomático: «¡*Ya nos cayó el* ***veinte***!» para indicar que los interlocutores se entienden, que ambos saben de lo que están hablando y |

| Término | Significado |
|---|---|
| | que, por fin, se ha captado la idea que ambos discuten |
| Gibbs | Josiah Willard Gibbs fue un físico estadounidense que contribuyó de forma destacada a la fundación teórica de la termodinámica. Nacimiento: 11 de febrero de 1839, New Haven, Connecticut, Estados Unidos. Fallecimiento: 28 de abril de 1903, New Haven, Connecticut, Estados Unidos. Premios: Medalla Copley, Premio Rumford |
| Mentor o profesor | mentor, ra. Del griego Μέντωρ *Méntōr* 'Méntor', personaje de la *Odisea,* consejero de Telémaco. 1. m. y f. Consejero o guía. 2. m. y f. Maestro, padrino. Fue su mentor político. 3. m. y f. ayo. (Diccionario de la lengua española, https://dle.rae.es/mentor?m=form). Profesor, ra. Del latín *professor, -ōris.* 1. m. y f. Persona que ejerce o enseña una ciencia o arte (Diccionario de la lengua española, https://dle.rae.es/profesor?m=form) |
| *Mentor* | *Mentorship is the influence, guidance, or direction given by a mentor. Mentor is someone who teaches or gives help and advice to a less experienced and often younger person. In an organizational setting, a mentor influences the personal and professional growth of a mentee* / La tutoría es la influencia, guía o dirección dada por un mentor. Mentor es alguien que enseña o brinda ayuda y consejos a una persona menos experimentada y, a menudo, más joven. En un entorno organizacional, un mentor influye en el crecimiento personal y profesional de sus educandos (Wikipedia) |
| *NRTL* | Siglas en inglés para el modelo *Non RandomTwoLiquid* de coeficientes de actividad |
| *PC-SAFT* | Siglas en inglés para *Perturbed-Chain Statistical Associating Fluid Theory*. Modelo de termodinámica estadística para moléculas no esféricas que se consideran como una cadena de esferas duras y que pueden tener asociaciones |
| *PHCT* | Siglas en inglés para *Perturbed-Hard-Chain-Theory*. Modelo de termodinámica estadística para moléculas no esféricas que se consideran como una cadena de esferas duras |
| Problema *flash* | Problema de separación de fases. Para designarlo en inglés se utiliza la palabra *flash.* No hay una traducción clara en español. Muchos autores lo llaman *Problema de separación instantánea* |
| *SAFT* | Siglas en inglés para *Statistical Associating Fluid Theory*. Modelo de termodinámica estadística para moléculas que se asocian |
| *UNIQUAC* | Siglas en inglés para el modelo *UNIversal QUAsi Chemical* de coeficientes de actividad que considera tamaño de las moléculas y fuerzas intermoleculares |
| *UNIFAC* | Siglas en inglés para el modelo *UNIquac Functional-group Activity Coefficients* de coeficientes de actividad de contribución de grupos funcionales, basado en UNIQUAC |
| van der Waals | Johannes Diderik van der Waals fue un profesor universitario y físico neerlandés. Nacimiento: 23 de noviembre de 1837, Leiden, Países Bajos. Fallecimiento: 8 de marzo de 1923, Amsterdam, Países Bajos. Es conocido por su trabajo en la ecuación del estado de los gases y los líquidos por el cual ganó el Premio Nobel de Física en 1910 |

**Reconocimientos**

Este artículo es un reconocimiento al Prof. John M. Prausnitz por su extraordinaria trayectoria, como quedó plasmado en el homenaje del AIChE que relaté en los antecedentes. Sus contribuciones sobre las aplicaciones de la termodinámica molecular a problemas relevantes es un pilar en que se soporta la ingeniería química moderna. Su influencia a través del curso de posgrado, el libro de texto y el proyecto de tesis doctoral moldearon mi carrera académica y la forma como he abordado la enseñanza de la termodinámica. Mi formación inicial y el gusto por la ingeniería química se los debo a los profesores Alejandro Purón-de-la-Borbolla y Alberto Bremauntz-Monge, con quienes aprendí la parte medular de ingeniería química: Balances de materia y energía, flujo de fluidos, transferencia de calor y procesos de separación, siempre enfatizando las aplicaciones en el mundo real. Nunca he tenido duda de que la ingeniería química es la disciplina a la que debía y debo dedicar mi esfuerzo profesional.

***Acknowledgments***

*This article is in recognition of Prof. John M. Prausnitz for his extraordinary career, as reflected in the AIChE tribute that I related in the background. His contributions on the applications of molecular thermodynamics to relevant problems is a cornerstone of modern chemical engineering. Its influence through the graduate course, the textbook and the doctoral thesis project shaped my academic career and the way I have approached the teaching of thermodynamics.My initial training and taste for chemical engineering are due to the Professors Alejandro Purón-de-la-Borbolla and Alberto Bremauntz-Monge, with whom I learned the core part of chemical engineering: mass and energy balances, fluid flow, heat transfer and separation processes, always emphasizing applications in the real world. I have never had any doubt that chemical engineering is the discipline to which I should and must dedicate my professional effort.*

**Referencias bibliográficas**

Bazúa-Rueda, E.R. 1975. Statistical Thermodynamics of Hydrocarbon Mixtures for Process Design. Tesis doctoral en Ciencias en Ingeniería Química. Universidad de California, Berkeley. Estados Unidos.

Bazúa-Rueda, E.R. 1971. Theory of the internal viscosity in polymer chain dynamics. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química. Universidad de California, Berkeley. Estados Unidos.

Bazúa-Rueda, E.R., Hernández-Castaños, D.B. 1969. Modelo matemático de un reactor de síntesis de amoniaco. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Ciudad de México, México.

Bazúa, E.R., Prausnitz, J.M. 1971. Vapor-liquid equilibria for cryogenic mixtures. *Cryogenics*. 11(2)*:*114-119.

O'Connell, J.P. 2015. Introductory Retrospective. John M. Prausnitz: Bridging abstractions and realities. AIChE J. 61(9):2675-2688. https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aic.14761

**John M. Prausnitz AIChE Institute Lecturer Award**

The Executive Board of the Program Committee invites a distinguished member of AIChE to present a comprehensive authoritative review of the chemical engineering science in his or her field of specialization.

In honor of one of chemical engineering's most extraordinary leaders, AIChE is pleased to announce the renaming of its prestigious, annual Institute Lecture to the John M. Prausnitz AIChE Institute Lecture. Dr. Prausnitz is an AIChE Fellow and 64-year member. He is a Member of the National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, and the American Academy of Arts and Sciences.

In 2003, he was presented with the National Medal of Science. The AIChE Foundation gratefully acknowledges the generosity of John's closest peers who have made lead gifts to establish an endowment to support the Lecture and ensure John's name will be recognized in perpetuity.

Prior to 2016 the John M. Prausnitz AIChE Institute Lecturer Award was named the Institute Lecturer Award.

Prausnitz, J.M., Lichtenthaler, R.N., Gomes-de-Azevedo, E. 1999. Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria. 3a. ed. Prentice Hall Intl. Series. ISBN 0-13-977745-8. New Jersey, EE.UU.

Reid, R.C., Sherwood, T.K. 1958. The Properties of Gases and Liquids: Their Estimation and Correlation. 5a. ed. McGraw-Hill. New York, EE.UU.

# La acreditación de programas de ingenieria a nivel profesional en México ante la emergencia sanitaria

## *The accreditation of engineering programs at professional level in Mexico in front of the health emergency*

**Octavio García-Madáhuar**

Evaluador del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) de México
Correo-e (*e-mail*): ogarciamad@gmail.com

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

Recibido: Abril 10, 2021

Aceptado: Mayo 15, 2021

**Resumen**

La crisis sanitaria originada por el Coronavirus ha llevado a cambios acelerados que tienen implicaciones que aún es difícil analizar en toda su amplitud. En el campo de la educación se habla de una crisis sin precedentes. El propósito de este artículo es compartir la experiencia del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) desde la perspectiva del aseguramiento de la calidad de la educación superior. Se parte de la premisa de que la pandemia produjo nuevos retos, pero también puso de manifiesto la necesidad de abordar problemas ya existentes. La complejidad y magnitud de este reto se hace evidente con la existencia en México de trece subsistemas de educación superior que presentan brechas de aseguramiento de la calidad. Para afrontar este desafío CACEI puso en marcha el Marco de Referencia 2018 de licenciatura realizando una transformación completa de su modelo y sus procesos de evaluación reenfocando los procesos de aseguramiento de la calidad en un modelo basado en los resultados de la formación profesional. De esta forma, los indicadores relacionados con profesores, insumos e infraestructura tuvieron sentido en función de su contribución al aprendizaje de los estudiantes haciendo énfasis en el trabajo colegiado como pieza clave del mejoramiento de la calidad y la mejora continua, entre otros aspectos. Cuando en marzo de 2020 el gobierno mexicano declaró la emergencia sanitaria, con las medidas de distanciamiento social y de priorización de actividades económicas esenciales, el CACEI respondió con una estrategia que incluyó varias líneas de acción. En mayo de 2020, el Comité de Acreditación aprobó el nuevo proceso de acreditación en modalidad mixta, para llevarse a cabo preponderantemente en línea. Es indudable que la emergencia sanitaria llevó al CACEI a acelerar la innovación de sus procesos para aprovechar mejor las posibilidades ofrecidas por las tecnologías de información y comunicación. Además, mostró con mayor claridad sus ventajas para permitir un enfoque más flexible, de comunicación más directa y con mayor impacto en los programas educativos.

**Palabras clave**: Acreditación, programas de ingeniería, nivel profesional, emergencia sanitaria

***Abstract***

*The health crisis caused by the Coronavirus has led to accelerated changes that have implications that are still difficult to analyze in their entirety. In the field of education, it has been saidthat is an unprecedented crisis. The purpose of this article is to share the experience of the Engineering Teaching Accreditation Council (CACEI) from the perspective of quality assurance in higher education. The starting premise is that the pandemic produced new challenges but also highlighted the need to address existing problems. The complexity and magnitude of this challenge is evident with the existence in Mexico of thirteen higher education subsystems that present quality assurance gaps. To face this challenge, CACEI launched the 2018 Undergraduate Reference Framework, carrying out a complete transformation of its model and its evaluation processes, refocusing the quality assurance processes on a model based on the results of professional training. In this way the indicators related to teachers, supplies and infrastructure made sense based on their contribution to student learning, emphasizing collegiate work as a key element in quality improvement and continuous improvement, among other aspects. When the Mexican government declared a health emergency in March 2020, with measures of social distancing and prioritization of essential economic activities, CACEI responded with a strategy that included several lines of action. In May 2020, the Accreditation Committee approved the new accreditation process in mixed modality, to be carried out predominantly online. There is no doubt that the health emergency led CACEI to accelerate the innovation of its processes in order to take better advantage of the possibilities offered by information and communication technologies. It also showed more clearly the potential of these technologies to allow a more flexible approach, with more direct communication and with greater impact on educational programs.*

***Keywords:*** *Accreditation, engineering programs, professional level, health emergency*

## Introducción

La crisis sanitaria originada por el Coronavirus ha llevado a cambios acelerados que tienen implicaciones que aún es difícil analizar en toda su amplitud. En el campo de la educación se habla de una crisis sin precedentes. El propósito de este artículo es compartir la experiencia del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) desde la perspectiva del aseguramiento de la calidad de la educación superior. Se parte de la premisa de que la pandemia produjo nuevos retos, pero también puso de manifiesto la necesidad de abordar problemas ya existentes.

Desde el año 2016, el CACEI realizó adecuaciones sustanciales en su modelo de acreditación para responder a los desafíos de la formación de profesionales de la ingeniería que los cambios en el contexto nacional e internacional demandaban. Este esfuerzo requirió reflexión, desarrollar capacidades de autoevaluación así como ajustes de carácter logístico, operativo, informático, etc.

## Actualizaciones del modelo de evaluación

El CACEI se fundó el 5 de julio de 1994, por iniciativa de representantes de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI), el Centro Nacional de Evaluación de la Educación Superior (Ceneval) y tres colegios de ingenieros: de ingenieros civiles de México, de ingenieros mecánicos y electricistas y de ingenieros químicos y químicos. Desde la creación del Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (COPAES) en el año 2000, el CACEI es reconocido en México como la agencia acreditadora autorizada para programas de ingeniería a nivel licenciatura y, desde 2010, de programas de técnico superior universitario (TSU). En 2016, contando con el acompañamiento del *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET) y del *Canadian Engineering Accreditation Board* (CEAB), el CACEI logró ingresar como miembro provisional del Acuerdo de Washington, una alianza internacional de organismos de acreditación de la enseñanza de la ingeniería, que forma parte de la *International Alliance Engineers* (IEA). En el año 2017 el CACEI aceptó el desafío de asumir criterios de calidad internacionales y renovar su enfoque de evaluación para darle mayor pertinencia e impacto.

La complejidad y magnitud de este reto se hace evidente con la existencia en México de trece subsistemas de educación superior que presentan brechas de aseguramiento de la calidad.

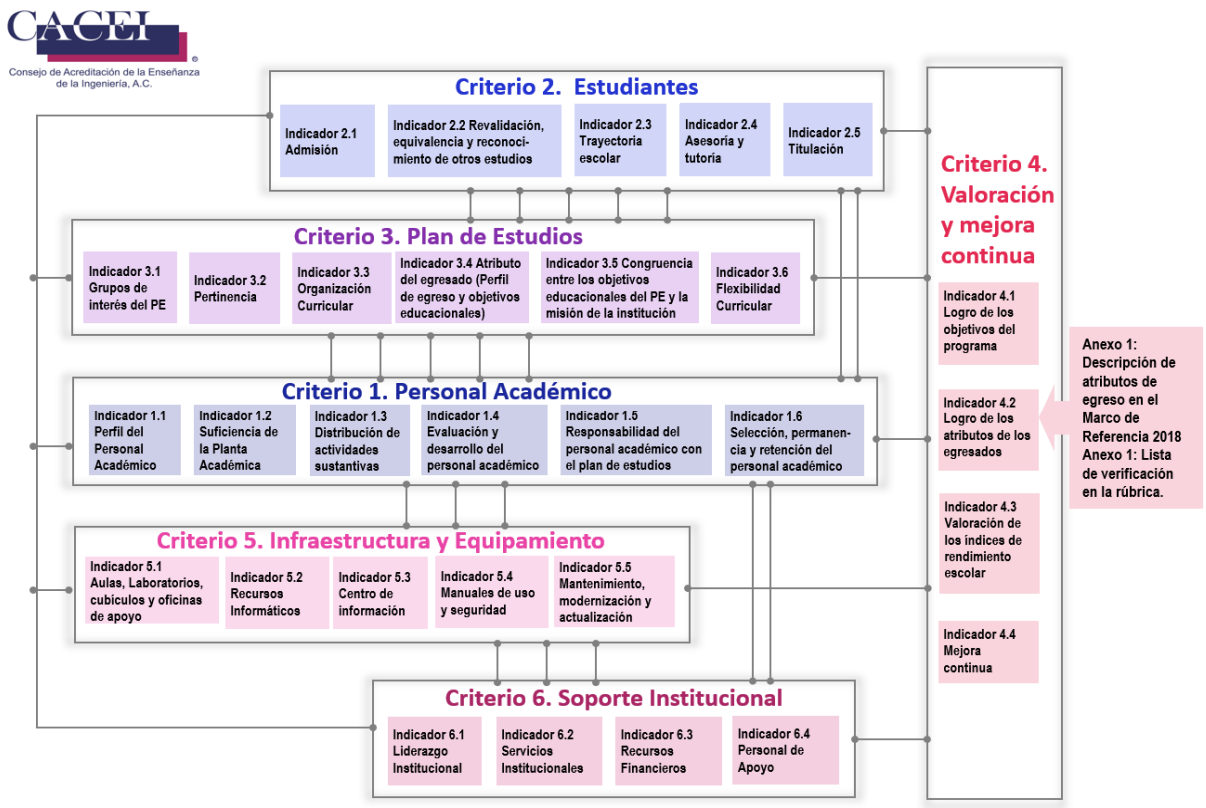
Para afrontar este desafío el CACEI puso en marcha el Marco de Referencia 2018 para el nivel de licenciatura realizando una transformación completa de su modelo y sus procesos de evaluación reenfocando los procesos de aseguramiento de la calidad en un nuevo modelo basado en los resultados de la formación profesional, de tal forma que los indicadores relacionados con profesores, insumos e infraestructura tuvieran sentido en función de su contribución al aprendizaje de los estudiantes haciendo énfasis en el trabajo colegiado como pieza clave del mejoramiento de la calidad y la mejora continua, entre otros aspectos.

## Marco de referencia 2018

De acuerdo con el MR2018 del CACEI, un programa de licenciatura que se involucra en el proceso de acreditación puede obtener uno de tres dictámenes finales:

- Acreditación o reacreditación por cinco años, si se demuestra haber alcanzado o superado los treinta indicadores de los seis criterios del MR2018 que se muestran en el Cuadro 1.
- Acreditación o reacreditación por tres años, si el programa alcanza parcialmente cuatro o menos indicadores, mientras que alcanza o supera los demás o acreditación, si no cumple ninguno de los dos casos anteriores. Para llevar a cabo esta valoración, el CACEI utiliza una rúbrica que establece las especificaciones de los niveles 1 a 4, en función de si cada uno de los indicadores "no se alcanza", "se alcanza parcialmente", "se alcanza" o "se supera", respectivamente. La rúbrica completa está disponible para descarga en el sitio 'web' del CACEI.

**Cuadro 1. Criterios e indicadores del Marco de Referencia 2018 del CACEI (documento interno del CACEI, 2018)**



Al tratarse de un proceso voluntario, el proceso para alcanzar la acreditación inicia con la solicitud de acreditación o reacreditación del programa educativo. Una vez formalizado el compromiso de proceder a la acreditación, el programa inicia el proceso de autoevaluación. En ocasiones esto es acompañado o se antecede con la capacitación a través de un taller específicamente orientado a esta etapa. Mientras tanto, la Comisión Técnica de la especialidad correspondiente, integra el comité evaluador.

Una vez que el programa ha concluido la captura de información e integración de evidencias en el Sistema Integral para la Gestión de la Acreditación, SIGA, se lleva a cabo la visita en función de una agenda acordada previamente, que incluye un recorrido por el programa y entrevistas con grupos de interés, profesores, estudiantes, responsables de la gestión, entre otros. Al concluir el proceso se entrega el reporte y predictamen correspondiente al programa educativo, para que éste aclare lo que corresponda ante el comité evaluador.

Realizada esta revisión, se entrega a la Comisión Técnica correspondiente, quien revisa y, en su caso, confirma o modifica el predictamen con base en la información recabada durante todo el proceso. Esta Comisión entrega su propuesta al Comité de Acreditación, quien emite el dictamen, sujeto al proceso de apelación.

Finalmente, si el programa acredita, debe entregar un plan de mejora para su seguimiento a través del reporte de medio término que se entrega en un plazo variable según la duración de la acreditación recibida.

Al centrarse en resultados de aprendizaje, el MR2018 incluyó la definición de siete atributos mínimos que se consideran necesarios para los egresados de los programas de ingeniería en México y que, a su vez, están alineados con los que se plantean a nivel internacional:

1. Identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería aplicando los principios de las ciencias básicas e ingeniería.

2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.

3. Desarrollar y conducir una experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones.

4. Comunicarse efectivamente con diferentes audiencias.

5. Reconocer sus responsabilidades éticas y profesionales en situaciones relevantes para la ingeniería y realizar juicios informados, que consideren el impacto de las soluciones de ingeniería en los contextos global, económico, ambiental y social.

6. Reconocer la necesidad permanente de conocimiento adicional y tener la habilidad para localizar, evaluar, integrar y aplicar este conocimiento adecuadamente.

7. Trabajar efectivamente en equipos que establecen metas, planean tareas, cumplen fechas límite y analizan riesgos e incertidumbre.

Estos atributos no se plantean en términos normativos para ser adoptados por los programas educativos sino que deben tomarse como un referente genérico frente al cual los programas deben comparar los propios atributos definidos en función de su área de especialidad, su contexto específico y el modelo educativo institucional, para analizar su equivalencia, alinear los niveles de logro gradual previstos en el plan de estudios, así como identificar y mapear los cursos que aportan dichos niveles con sus respectivos objetivos de aprendizaje. Estos atributos de egreso constituyen el eje orientador del proceso de acreditación, como pudo verse en el Cuadro 1, en el cual también se observaron los seis criterios de evaluación y los treinta indicadores del MR 2018.

**Acciones del CACEI ante la emergencia sanitaria**

El cambio de paradigma que representó la puesta en marcha del MR2018 exigió poner en marcha el Programa de Desarrollo de Capacidades para la Evaluación (PROVAL), que permitiera fortalecer conceptual y metodológicamente tanto al padrón de evaluadores vigentes como a los equipos de autoevaluación de los programas educativos.

Todos estos esfuerzos fueron fundamentales en la capacidad de respuesta del CACEI ante la pandemia de Covid-19 cuando en marzo de 2020 el gobierno mexicano declaró la emergencia sanitaria, con las medidas de distanciamiento social y de priorización de actividades económicas esenciales, el CACEI respondió con una estrategia que incluyó varias líneas de acción en paralelo:

1. Adaptación del proceso de acreditación para llevarse a cabo en modalidad mixta (en línea con opción de observación de infraestructura en forma presencial).

2. Rediseño de los cursos del PROVAL para mejorar su enfoque y dar viabilidad a su realización en línea.

3. Revisión y actualización de documentos de apoyo a la acreditación.

4. Acompañamiento y asesoría en línea a los programas educativos.

5. Reuniones en línea de las diez comisiones técnicas y del Comité de Acreditación, para dictaminar 63 programas educativos y cuatro apelaciones. Además, se revisaron 257 informes de medio término y 57 planes de mejora.

6. Apoyos financieros a los programas educativos para el pago de acreditaciones y capacitaciones con descuento o bajo otras modalidades.

7. Reorganización estratégica del CACEI, incluyendo la redistribución de funciones y responsabilidades, el desarrollo de nuevas habilidades digitales para el personal

directivo y de apoyo, y la búsqueda de un mejor posicionamiento del CACEI en redes sociales e Internet.

8. Reforzamiento de la infraestructura tecnológica del CACEI, para dar viabilidad a todo lo anterior, incluyendo el refuerzo del SIGA y la adquisición de licencias de plataformas, entre otras cosas.

En mayo de 2020, el Comité de Acreditación aprobó el nuevo proceso de acreditación en modalidad mixta, para llevarse a cabo preponderantemente en línea por parte de los 93 programas educativos que habían concluido su autoevaluación, pero aún no recibían las visitas de los comités de evaluación.

Si bien las etapas del proceso de acreditación son las mismas, la forma de realización y el enfoque difiere sustancialmente de la manera como el CACEI llevaba los aspectos operativos siendo todo el proceso en la modalidad presencial. Un factor clave para poder realizar este cambio fue la existencia previa del SIGA, la plataforma que desde hace varios años permite llevar todo el proceso acreditación en forma digital.

En la primera etapa del proceso, un programa educativo sube la información de su autoevaluación al SIGA. Una vez concluida la captura, el Comité de Evaluación cuenta con cuarenta días para revisar la información en línea, anotar sus comentarios y comunicarse entre sí con apoyo del coordinador. A partir de esa primera etapa, las principales diferencias de la modalidad mixta con la modalidad presencial son las siguientes:

- Enfoque de evaluación formativa: una vez que el comité ha revisado la autoevaluación, el proceso permite un diálogo entre el programa educativo y el comité de evaluación a lo largo de 30 días, a través de videoconferencias, para brindar la oportunidad de mejorar la argumentación y las evidencias presentadas. Además, en caso de que el programa considere que requiere más tiempo para asegurarse de que puede concluir con éxito el proceso, es posible diferir el proceso de acreditación para una fecha posterior sin perder el pago realizado. Las reuniones realizadas con este propósito se documentan en minutas.

- Agenda *ad hoc* para la visita, que incluye la realización de todas las entrevistas y reuniones que se consideraban en la modalidad presencial, ahora por videoconferencia, sin omitir actividad alguna y cuidando el rigor técnico del MR2018. Esta agenda se ajusta a lo largo de varias fechas acordadas entre el comité y el programa educativo, de acuerdo con el contexto de la institución. La visita prevé la figura del observador, quien a solicitud del Comité Evaluador puede verificar *in situ*, en forma presencial, las instalaciones, y en especial, los laboratorios y talleres que apoyan al programa educativo.

Al cierre del mes de abril de 2021 se han evaluado 157 programas educativos en esta modalidad. Tanto los evaluadores como los programas educativos consideran que la experiencia ha sido exitosa en varios sentidos. Además de que el proceso se llevó a cabo conforme a las expectativas, se encontraron aspectos muy positivos y aprendizajes que sin

duda contribuirán a mejorar el proceso de acreditación en su conjunto. Por ejemplo, la oportunidad de establecer un diálogo previo, la flexibilidad para acordar la agenda de trabajo, entre otras cosas.

En la Tabla 1 se muestra la agenda ya consensuada entre el Comité Evaluador y el Programa a evaluar. Puede observarse que se requerían, a fines del 2020, cinco días para abordar todos los aspectos de la evaluación. Actualmente con la experiencia adquirida y las mejoras, que adelante se mencionan, los comités de evaluación y los programas de las diferentes ingenierías las visitas de evaluación se realizan en dos o tres días.

Tabla 1. Agenda consensuada entre el Comité evaluador y el Programa a evaluar (CACEI, 2020)

| **AGENDA DE LA VISITA** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Institución:** Universidad | | | | |
| **Unidad Académica o Campus:** Facultad de | | | | |
| **Programa educativo:** Licenciatura en Ingeniería Química | | | | |
| **Fecha de la visita:** Lunes 7 al viernes 11 de diciembre de 2020 | | | | |
| **ACTIVIDADES 30 DÍAS PREVIOS AL INICIO DEL PROCESO DE ENTREVISTAS** | | | | |
| | **Fecha confirmada IES** | **Horario definido (hora CDMX)** | **Link de Zoom** | |
| **Actividad 1.** 1era. Recunión previa del Comité Evaluador | Lunes 16 de noviembre | 16:00-17:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **Actividad 2.** 1era. Reunión previa entre Comité Evaluador con Responsable del PE | Lunes 16 de noviembre | 17:00-18:30 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **Actividad 3**. 2da. Reunión previa del Comité Evaluador | Lunes 23 de noviembre | 16:00-17:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **Actividad 4.** 2da. Reunión previa entre Comité Evaluador con Responsable del PE | Lunes 23 de noviembre | 17:00-18:30 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **Actividad 5.** 3a. Reunión previa del Comité Evaluador | Lunes 30 de noviembre | 16:00-17:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **Actividad 3.** 3ra. Reunión previa entre Comité Evaluador con Responsable del PE | Lunes 30 de noviembre | 17:00-18:30 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **Actividad 7.** 4a. Reunión previa del Comité Evaluador | Viernes 4 de noviembre | 16:00-17:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT08 | 84 |
| **PROCESO DE VISITA, SEMANA DE ENTREVISTAS** | | | | |
| | **Fecha confirmada IES** | **Horario definido (hora CDMX)** | **Link de Zoom** | |
| **Actividad 8.** Apertura del Proceso | Lunes 7 de diciembre | 09:00-09:45 hrs | | |
| **Actividad 9.** Entrevista con el Director de la Unidad Académica | Lunes 7 de diciembre | 09:45-10:45 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | 84 |
| **Actividad 10.** Entrevista con el Responsable del PE | Lunes 7 de diciembre | 10:45-12:45 hrs | | |
| **Actividad 11**. Reunión interna del Comité Evaluador | Lunes 7 de diciembre | 16:00-18:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | |
| **Actividad 12.** Entrevista con Personal Académico | Martes 8 de diciembre | 09:00-11:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | 84 |
| **Actividad 13.** Entrevista con Estudiantes | Martes 8 de diciembre | 11:00-13:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/86394579538?pwd=WWRMVUJxMWdxMjNsUFhxRGV3cklTUT09 | 86 |
| **Actividad 14**. Reunión interna del Comité Evaludor | Martes 8 de diciembre | 16:00-18:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | |
| **Actividad 15.** Entrevista con Egresados | Martes 8 de diciembre | 18:00-20:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/86394579538?pwd=WWRMVUJxMWdxMjNsUFhxRGV3cklTUT09 | 86 |
| **Actividad 16.** Entrevista con Empleadores | Miércoles 9 de diciembre | 18:00-20:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | 84 |
| **Actividad 17.** Reunión interna del Comité Evaluador | Miércoles 9 de diciembre | 20:00-21:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | |
| **Actividad 18.** Entrevista con los Grupos de Interés | Jueves 10 de diciembre | 09:00-11:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | 84 |
| **Actividad 19.** Entrevista con responsables relevantes de los servicios de apoyo | Jueves 10 de diciembre | 11:00-13:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/86394579538?pwd=WWRMVUJxMWdxMjNsUFhxRGV3cklTUT09 | 86 |
| **Actividad 20**. Reunión interna del Comité Evaluador | Jueves 10 de diciembre | 17:00-19:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/86394579538?pwd=WWRMVUJxMWdxMjNsUFhxRGV3cklTUT09 | |
| **Actividad 21.** Visita a laboratorios y talleres y recursos tecnológicos | Viernes 11 de diciembre | 09:00-10:30 hrs | | |
| **Actividad 22.** Visita a áreas deportivas, culturales y de servicios | Viernes 11 de diciembre | 10:30-11:30 hrs | https://us02web.zoom.us/j/84143824242?pwd=Qnlwbnh3QmJIY3VqSjN1V0ZPREIvQT09 | 84 |
| **Actividad 23.** Visita instalaciones, salones y en especial biblioteca | Viernes 11 de diciembre | 11:30-13:00 hrs | | |
| **Actividad 24**. Reunión interna del Comité Evaluador | Viernes 11 de diciembre | 16:00-19:00 hrs | | |
| **Actividad 25.** Emisión del informe de salida y cierre de la visita | Viernes 11 de diciembre | 18:00-19:00 hrs | https://us02web.zoom.us/j/86394579538?pwd=WWRMVUJxMWdxMjNsUFhxRGV3cklTUT09 | 86 |

Como parte del proceso de mejora continua de los procesos de acreditación, el CACEI revisó diversos documentos de apoyo con base en las opiniones y comentarios recibidos tanto de los evaluadores como de los programas educativos. Como resultado de este trabajo:

- Se actualizaron 14 cédulas para clarificar la información requerida y facilitar su uso.
- Se ajustaron y clarificaron los descriptores de la rúbrica de evaluación.
- Se precisaron los criterios específicos por programa de ingeniería.
- Se adicionaron laboratorios mínimos para los programas en el anexo correspondiente del MR2018.

En forma paralela, el CACEI está llevando al cabo una revisión integral de MR2018 buscando reorganizar sus indicadores para una mejor alineación con el enfoque basado en resultados de aprendizaje.

## Conclusiones

En el campo de la educación, la pandemia de Covid-19 nos debe llevar a aprovechar los aprendizajes de estos meses en que las actividades de enseñanza aprendizaje se trasladaron en línea. Las inequidades educativas quedaron en evidencia mostrando la importancia de la flexibilización.

Es indudable que la emergencia sanitaria llevó al CACEI a acelerar la innovación de sus procesos para aprovechar mejor las posibilidades ofrecidas por las tecnologías de información y comunicación, TIC. Además, mostró con mayor claridad sus ventajas para permitir un enfoque más flexible, de comunicación más directa y con mayor impacto en los programas educativos.

En cuanto a la acreditación de programas de Ingeniería, el Consejo debe continuar asumiendo un enfoque de evolución y cambio sistémico de los procesos de acreditación, para cumplir con su misión de buscar la mejora constante de la calidad en la formación de profesionales de la ingeniería en México.

## Glosario de términos

| Término | Significado |
|---|---|
| *ABET* | *Accreditation Board for Engineering and Technology* (Estados Unidos) |
| *ad hoc* | Locución latina; literalmente 'para esto'. 1. Expresión únicamente para referirse a lo que se dice o hace solo para un fin determinado. **2.** Locución adjetival: Adecuado, apropiado, dispuesto especialmente para un fin (https://dle.rae.es/ad%20hoc?m=form) |
| ANFEI | Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (México) |
| CACEI | Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (México) |
| *CEAB* | *Canadian EngineeringAccreditationBoard* (Canadá) |
| Ceneval | Centro Nacional de Evaluación de la Educación Superior (México) |

| | |
|---|---|
| COPAES | Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (México) |
| *IEA* | *International Alliance Engineers* (Mundial) |
| *in situ* | Locución latina. Locución adverbial. En el lugar, en el sitio (https://dle.rae.es/in%20situ?m=form) |
| MR2018 del CACEI | Marco de referencia para el nivel de licenciatura realizando una transformación completa de su modelo y sus procesos de evaluación en 2018 |
| PROVAL | Programa de Desarrollo de Capacidades para la Evaluación (México) |
| SIGA | Sistema Integral para la Gestión de la Acreditación (México) |
| TIC | Tecnologías de información y comunicación |
| TSU | Técnico superior universitario |

## Reconocimientos

El autor agradece la valiosa colaboración de la Maestra María Elena Barrera-Bustillos, Directora del CACEI y de la Dra. Luz María Nieto-Caraveo, asesora de CACEI. También agradece la gentil invitación de los editores para presentar esta contribución en honor al Dr. John M. Prausnitz, quien es un orgullo para los ingenieros químicos del mundo por las aportaciones que ha dado a esta rama del saber humano, la termodinámica, a través de las bases científicas que han permitido que sus aplicaciones en el mundo real de la producción de bienes y servicios sirvan para mejorar la calidad de vida de las personas.

## Referencias bibliográficas

CACEI. 2020. Formato de Agenda utilizado para la visita de evaluación en modalidad híbrida. Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería. Ciudad de México, México. http://www.caceisystem.org.mx

CACEI. 2018. Documento interno del CACEI: Criterios e indicadores del Marco de Referencia 2018 del CACEI. Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería. Ciudad de México, México. http://www.caceisystem.org.mx

**Hoja intencionalmente en blanco / *Intentionally blank page***

# Cambios en la microbiota intestinal debido a *COVID-19*[1]

## *Changes in the gut microbiota due to COVID-19*[1]

**Jorge Alberto Reynoso-Amado*, Rolando Salvador García-Gómez, Samuel Mendoza-Pérez**

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Edificio E-3 Alimentos y Química Ambiental, Conjunto E, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México. Correos-e (*e-mails*): *qajorgereynoso@gmail.com, rolandoga2000_a@yahoo.com, iamzamuel@hotmail.com

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

Recibido: Abril 10, 2021

Aceptado: Mayo 15, 2021

**Resumen**

El nuevo coronavirus *SARS-CoV-2* ha sido identificado como el agente biológico causante de la enfermedad *COVID-19*, enfermedad que ha mantenido al mundo en una pandemia de casi dos años hasta el día de hoy. El coronavirus *SARS-CoV-2* pertenece a un grupo diverso de virus capaces de infectar animales y humanos. Entre los síntomas más comunes de la infección se encuentra fiebre, tos seca y cansancio. Por otro lado, algunos pacientes han reportado otros síntomas menos comunes relacionados con síntomas intestinales como náuseas, vómito y diarrea. La microbiota intestinal es un complejo sistema dinámico formado por bacterias, hongos, virus, protozoos y arqueas que habitan en conjunto el tracto intestinal de algunos mamíferos incluido el hombre. Este conjunto de microorganismos puede ser alterado debido a cambios en la dieta, antibióticos y algunas enfermedades virales como la influenza. El objetivo de esta investigación fue el de evaluar la relación entre la enfermedad *COVID-19* y los cambios en la microbiota intestinal de pacientes infectados, así como el desarrollo de la enfermedad severa y no severa relacionado con la microbiota intestinal. Los resultados señalan alteraciones en la microbiota intestinal debido a la infección por *SARS-CoV-2*, en donde los niveles de microorganismos simbióticos se reducen y especies patógenas oportunistas aumentan. Entre los mecanismos asociados a estos cambios sobre la microbiota intestinal se encuentra el daño de la integridad de los enterocitos por la infección viral. En aquellos pacientes que no desarrollan la enfermedad severa se han asociado con la riqueza y diversidad de la microbiota intestinal, mientras que aquellos pacientes que desarrollan la enfermedad severa por *COVID-19* se han asociado con microorganismos patógenos oportunistas presentes en la microbiota intestinal.

**Palabras clave:** Microbiota, disbiosis, *COVID-19*, *SARS-CoV-2*

***Abstract***

*The novel coronavirus SARS-CoV-2 has been identified as the biological agent causing the COVID-19 disease, a disease that has kept the world in an almost two-year pandemic to this day. The coronavirus SARS-CoV-2 belong to a diversity group of viruses capable of infecting to animals and humans. The most common symptoms of the infection are fever, dry cough, and fatigue. On the other hand, some patients have reported other less common symptoms related to intestinal symptoms as nausea, vomiting, and diarrhea. The intestinal microbiota is a complex dynamic system made up of bacteria, fungi, viruses, protozoa, and archaea that together inhabits the intestinal tract of some mammalians including man. This set of microorganisms can be altered due to changes in diet, antibiotics, and some viral diseases such as the influenza virus. The objective of this research was to investigate the relationship between COVID-19 and changes in the intestinal microbiota of infected patients, as well as the development of severe and non-severe disease related to the intestinal microbiota. The results indicate alterations in the intestinal microbiota due to SARS-CoV-2 infection, where the levels of symbiotic microorganisms are reduced, and the levels of opportunistic pathogenic species are increased. Among the mechanisms associated with these changes on the intestinal microbiota is the damage to the integrity of the enterocytes due to viral infection. Those patients who did not develop severe disease were associated with richness and diversity of the gut microbiota. On the other hand, those patients who developed severe disease due to COVID-19 were associated with opportunistic pathogenic microorganisms present in the gut microbiota.*

***Key words****: Microbiota, disbiosis, COVID-19, SARS-CoV-2*

1 Todos las siglas y términos están definidos en el glosario al final del artículo / *All acronyms and terms are defined in the glossary at the end of the article* [Nota de los(as) editores(as) / Editors' note]

## Introducción

En los últimos días de 2019, todo el año 2020 y lo que va de 2021 la humanidad ha sido testigo de la pandemia provocada por el virus *SARS-CoV-2*, causante de la 'enfermedad por coronavirus 2019' (*coronavirus disease '19* en inglés o *COVID-19*). Los coronavirus son un grupo de virus capaces de infectar a diversos animales, incluyendo a los humanos. Este grupo de virus pueden provocar infecciones respiratorias que van desde infecciones leves hasta graves en seres humanos (Hu et al., 2020). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), algunos de los síntomas más comunes después de contraer la infección incluyen fiebre, tos seca y cansancio, mientras que algunos síntomas como la pérdida parcial del gusto (disgeusia) y olfato (anosmia), conjuntivitis, dolor de garganta y cabeza, dolores musculares, escalofríos y vértigo, son síntomas menos comunes (OMS, 2021). Cerca del 5 al 33% de los pacientes infectados con *SARS-CoV-2* presentan síntomas intestinales, incluyendo diarrea, náuseas y vómito, lo cual indica que el tracto gastrointestinal puede ser un sitio extra-pulmonar para la infección del virus (Zuo et al., 2021).

La microbiota intestinal es un sistema dinámico complejo formado por aproximadamente 15,000 especies de bacterias de más de 1,800 géneros. Entre algunos otros microorganismos que residen en el tracto intestinal, existen cerca de 270 especies de hongos, 20 especies de arqueas, 35 especies de protozoos y 1,200 virus diferentes (Ruiz et al., 2012; Wilson, 2018).

En años recientes, la microbiota intestinal se ha considerado un órgano metabólico más gracias a las funciones que desempeña, como la hidrólisis de carbohidratos complejos y la síntesis de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). La microbiota intestinal, por tanto, ejerce un papel clave en el proceso digestivo y la regulación metabólica del hospedador (Álvarez et al., 2021).

La evidencia acumulada revela que el microbioma intestinal se ve alterado al enfermar de *COVID-19*, incluido la microbiota bacteriana, el micobioma y el viroma (Zuo et al., 2021). El estudio del microbioma intestinal de personas infectadas con *SARS-CoV-2* ha ganado interés debido a las importantes funciones que este conjunto de bacterias desempeña en simbiosis con el huésped, incluso se ha propuesto el trasplante de microbiota fecal como un tratamiento potencial para *COVID-19* (Aktas, 2021; Dhar y Mohanty, 2020; Yu et al., 2021; Zuo et al., 2021).

El presente artículo tiene por objetivo investigar la relación entre la enfermedad conocida como *COVID-19* y los cambios en la microbiota intestinal de pacientes infectados por *SARS-CoV-2*, así como el desarrollo de enfermedad severa y no severa relacionado con la microbiota intestinal.

## Metodología

La metodología consistió en la búsqueda de información de manera digital (artículos de investigación y revisión) en bases de datos de la Biblioteca Digital de UNAM (*Elsevier Scopus, ScienceDirect, Springer*) y en bases de datos *Open Access* independientes de la Biblioteca Digital de la UNAM (*Nature, PubMed, Food Science, Cell Metabolism, Journal of Food Science, BioMed Research International, CellsPress*, etc.).

Las búsquedas en las plataformas antes mencionadas se realizaron en el idioma inglés usando las siguientes palabras clave: *microbiota, changes in the gut microbiota, dysbiosis, COVID-19, pandemic, immune system*. Dichas búsquedas se realizaron mediante todas las combinaciones posibles de palabras.

Debido a las características del presente trabajo, se seleccionaron aquellos artículos relacionados con COVID-19 con una antigüedad máxima de dos años atrás al momento en que se escribió este artículo (marzo de 2021). El segundo criterio fue la selección de artículos relacionados con COVID-19 con

fecha de publicación más cercana a esta última fecha. Por último, el tercer criterio de selección se realizó mediante el análisis de la información presentada en los artículos de investigación, eliminando aquellos en donde la información presentada no se relacionó con el tema de interés y aquellos artículos en donde los resultados fueron poco claros.

## Microbiota intestinal y homeostasis del huésped

Los microorganismos colonizan prácticamente todas las superficies del cuerpo humano que se encuentran expuestas al entorno, tales como piel, cavidad oral, tracto respiratorio, sistema urogenital y el tracto gastrointestinal (Padrón, 2019). Entre las comunidades más densamente pobladas se encuentra el tracto gastrointestinal, incluso más que el suelo, el subsuelo y los océanos. Se ha estimado que un adulto alberga $10^{13}$-$10^{14}$ bacterias, $10^{15}$ virus y un número desconocido de arqueas, hongos y protozoos (Ruiz, 2012; Wilson, 2018). En cuanto al genoma de la microbiota intestinal se ha estimado que la microbiota intestinal por sí sola, tiene aproximadamente 500 veces más genes que los presentes en el genoma humano (Wilson, 2018).

Los filos representativos de la microbiota intestinal son Firmicutes, Bacteroidetes, Actinobacteria y Proteobacteria, mientras que Fusobacteria y Verrucomicrobia son los filos que se encuentran en menor proporción. Los filos Firmicutes y Bacteroidetes representan casi el 90% de la microbiota intestinal humana (Rinninella et al., 2022).

Eubiosis es el término empleado para referirse al equilibrio encontrado en la microbiota intestinal. En condiciones de eubiosis, la microbiota intestinal alcanza su máxima complejidad y diversidad. Se caracteriza por la abundancia de especies que tienen una relación de comensalismo y mutualismo con el hospedador (Álvarez et al., 2021). La eubiosis ofrece ventajas para la salud del huésped, tales como la síntesis de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), protección contra microorganismos patógenos, hidrólisis de carbohidratos complejos, protección de la integridad de la barrera intestinal, desarrollo y maduración del sistema inmunológico (Figura 1) (Krga y Glibetic, 2021).

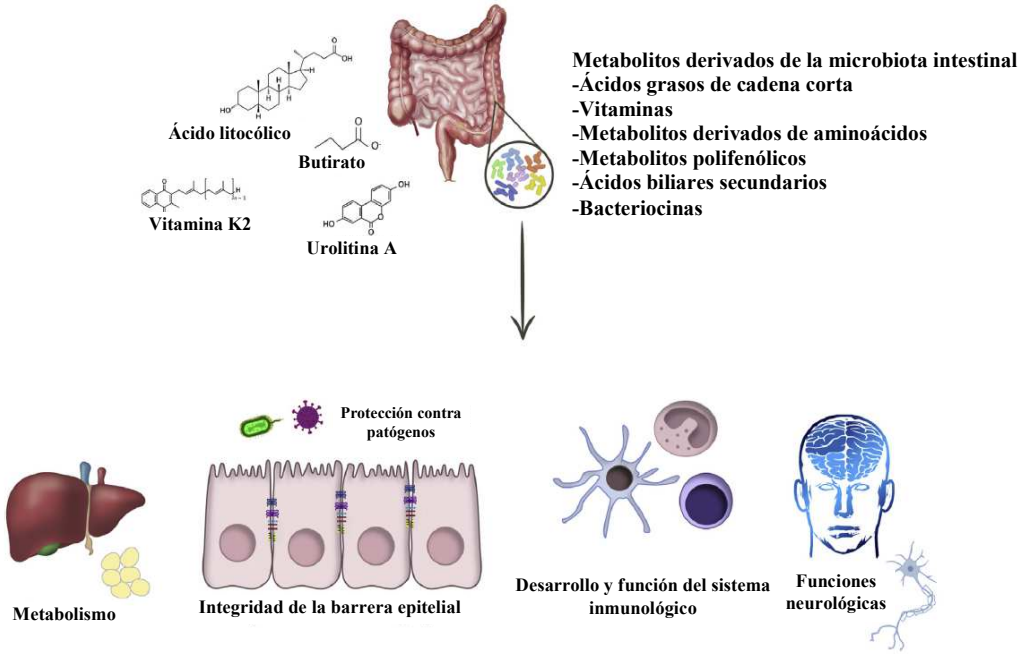



**Figura 1.** Principales funciones de la microbiota intestinal en simbiosis con el huésped (modificada de Krga y Glibetic, 2021)

De acuerdo con Krga y Glibetic (2021), los mecanismos asociados en la regulación de la homeostasis del huésped comprenden la secreción de moléculas capaces de inhibir el crecimiento de otras bacterias (bacteriocinas), vitaminas (vitamina K2), la competencia por la adhesión en el epitelio intestinal, competencia por nutrientes y la modulación de la secreción de la mucosa en el epitelio intestinal. Las interacciones del huésped con la microbiota son complejas, numerosas y bidireccionales (Dhar y Mohanty, 2020), como se puede apreciar en la Figura 1.

Para un correcto estado de homeostasis del huésped, el sistema inmunológico presente en el tracto gastrointestinal debe de distinguir entre microorganismos patógenos potenciales y microorganismos comensales (Guarner, 2007). El sistema inmunológico reconoce la presencia de microorganismos por medio de patrones moleculares asociados a patógenos (*PAMPs*), patrones moleculares asociados a microorganismos (*MAMPs*) o por medio de los metabolitos producidos por la microbiota (Álvarez et al., 2021). La homeostasis intestinal se mantiene mediante un sistema de controles y equilibrios entre las células *Th1*[2] (CD4+ y CD8+) que migran al epitelio convirtiéndose en linfocitos intraepiteliales. Las células *Th17*[3], que participan en la liberación de IL-17, IL-21 e IL-22 y las células T reguladoras *Foxp3+* antiinflamatorias (*Tregs*) participan en el desarrollo de la tolerancia a la respuesta inmune (Álvarez et al., 2021). En condiciones normales, la mucosa intestinal tiene pocas células T del fenotipo *Th1*, permitiendo así la exposición continua de bacterias presentes en la microbiota intestinal sin desencadenar reacciones inflamatorias (Guarner, 2007).

La ausencia de microbiota intestinal ha demostrado tener efectos negativos sobre la homeostasis del huésped. Uzbay (2019) señala alteraciones en un modelo murino "libre de gérmenes". Entre estas alteraciones se encuentra una menor masa corporal, crecimiento anormal del ciego, desarrollo incorrecto del intestino delgado, movimientos peristálticos más lentos, vellosidades irregulares y menor renovación de las células epiteliales comprometiendo el aprovechamiento de nutrientes.

## Cambios de la microbiota intestinal debido a *COVID-19*

Es sabido que el virus *SARS-CoV-2* afecta principalmente a los pulmones y al sistema respiratorio; sin embargo, se han descrito síntomas gastrointestinales en pacientes con *COVID-19* (Aktas, 2021). Las manifestaciones clínicas por el nuevo coronavirus *SARS-CoV-2* han demostrado ser distintas; desde condiciones asintomáticas hasta condiciones severas o críticas, dichas manifestaciones clínicas incluyen síntomas gastrointestinales (Andrade et al., 2020; Balmant et al., 2021).

Entre los síntomas causados por *COVID-19* se encuentran la presencia de diarrea, náuseas y vómito, además de la disbiosis de la microbiota intestinal (Nejadghaderi et al., 2021; Rajput et al., 2021). Observaciones de autores como Balmant et al. (2021) sugieren que una disbiosis intestinal previa puede agravarse por la infección por *SARS-CoV-2* y relacionarse con la progresión de la enfermedad por coronavirus 2019 (*COVID-19*) a etapas más graves.

De acuerdo con Dhar y Mohanty (2020), algunos virus como *MERS-CoV*, *SARS-CoV-1* y el nuevo *SARS-CoV-2*, usan los receptores de la enzima convertidora de angiotensina 2 (*ACE-2*) para entrar en las células. El *SARS-CoV-2* usa el receptor *ACE-2* para entrar en las células humanas de la misma forma que *SARS-CoV-1* lo hace, pero con una mayor afinidad (Aktas, 2021).

Además de los pulmones, los receptores *ACE-2* se encuentran en otros órganos como los riñones, tracto gastrointestinal, corazón e hígado (Aktas, 2021; Dhar y Mohanty, 2020), explicando así la presencia de genoma viral en muestras fecales de pacientes enfermos de *COVID-19* incluso 90 días después de haber hecho una prueba de reacción en cadena de la polimerasa (*PCR*) con resultado negativo (Pal et al., 2020; Park et al., 2020; Tao et al., 2021). En su estudio, Zuo et al. (2020)

2 Linfocitos que participan en la producción de citoquinas IL-2 e IFN-γ

3 Linfocitos encargados de eliminar microorganismos patógenos como hongos y micobacterias

reportaron una concentración promedio de $3.86\times10^3$ copias de ácido nucleico de *SARS-CoV-2* por cada mL de inóculo previamente hecho con muestras fecales de pacientes enfermos con COVID-19.

Rajput et al. (2021) mencionan que algunos virus, como el de la influenza, son capaces de inducir la inapetencia y llevar a un súbito cambio en el régimen alimenticio, alterando así la composición de la microbiota intestinal de forma indirecta y predisponiendo al huésped a infecciones bacterianas secundarias (Groves et al., 2020; Zuo et al., 2020).

Algunos autores (Aktas, 2021; Dhar y Mohanty, 2020; Groves et al., 2020; Mazzarelli et al., 2021) han señalado la existencia de un eje intestino-pulmón, el cual es un eje bidireccional; es decir, los metabolitos producidos en el tracto intestinal pueden llegar a los pulmones a través del torrente sanguíneo, provocando inflamación y disbiosis de la microbiota pulmonar, estado que a su vez es capaz de afectar a la microbiota intestinal (Dumas et al., 2018). De acuerdo con Dhar y Mohanty (2020), la infección provocada por el virus de la influenza llevó a un incremento de las bacterias de la familia *Enterobacteriaceae* en la microbiota de los pulmones, mientras que en la microbiota intestinal, las proporciones de bacterias de las familias *Lactococci* y *Lactobacilli* se redujeron (Dhar y Mohanty, 2020).

Vodnar et al. (2020) mencionan otro posible mecanismo por el cual la microbiota intestinal puede verse alterada. Este mecanismo implica el daño de la mucosa del tracto gastrointestinal debido a la sobreexpresión de enzimas debido a la infección por *SARS-CoV-2*, llevando a alteraciones citopáticas e inminentemente a la apoptosis de los enterocitos luego de las primeras 60 h de infección (Lamers et al., 2020).

Lv et al. (2021) investigaron los cambios en la microbiota intestinal de pacientes enfermos de influenza A (*H1N1*), pacientes enfermos de *COVID-19* y un grupo control de personas sanas. Los resultados señalaron diferencias significativas en los grupos *H1N1* y *COVID-19* en relación con el grupo control en términos de riqueza taxonómica operacional (*OTU*, en inglés, índice de Chao, etc.), en donde la riqueza decreció pero sin diferencias significativas entre ambos grupos de pacientes enfermos. La diversidad de *OTU* (usando el índice de Shannon) fue similar entre el grupo control y el grupo *COVID-19*, mientras que en ambos grupos la diversidad fue mayor con respecto del grupo infectado por el virus *H1N1* (Lv et al., 2021).

De manera similar, Mazzarelli et al. (2021) estudiaron los cambios en la riqueza y diversidad microbiana de pacientes enfermos con *COVID-19* y de pacientes sanos (controles). Los resultados mostraron que la riqueza microbiana (índice de Chao) se redujo significativamente en los pacientes enfermos con *COVID-19* en comparación con el grupo control. También se observó la misma tendencia para la diversidad microbiana (índice de Shannon) sin alcanzar la significancia estadística (Mazzarelli et al., 2021).

Comparado con el grupo control, los pacientes enfermos de *COVID-19* mostraron alteraciones en taxones fúngicos específicos como Ascomycota y Basidiomycota (Lv et al., 2021). El filo Ascomycota mostró decrementos significativos en *Aspergillaceae* como *Penicillium citrinum*, *P. polonicum* y *Aspergillus*, así como *Candida parapsilosis* y *Talaromyces wortmanni.* Para el filo Basidiomycota se observaron decrementos significativos en cinco especies, incluidas *Malassezia yamatoensis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Moesziomyces aphidis*, *Trechispora* sp. y *Wallemia sebi* (Lv et al., 2021).

En otro estudio, Zuo et al. (2020) investigaron los cambios en la microbiota intestinal de pacientes enfermos de *COVID-19*, pacientes enfermos con neumonía y controles sanos. Los resultados mostraron cambios significativos en la microbiota intestinal de pacientes enfermos de *COVID-19* a los que se les habían suministrado antibióticos empíricos y pacientes que no recibieron ningún tipo de antibióticos con respecto del grupo control. Los pacientes con *COVID-19* que no habían recibido antibióticos presentaron niveles altos en patógenos oportunistas causantes de bacteriemia, incluidos *Clostridium hathewayi*, *Actinomyces viscosus* y *Bacteroides nordii* en comparación con el grupo control

(Zuo et al., 2020). Por el contrario, los pacientes que recibieron antibióticos empíricos mostraron niveles más bajos de especies simbióticas como *Faecalibacterium prausnitzii*, *Lachnospiraceae*, *Eubacterium rectale*, *Ruminococcus obeum* y *Dorea formicigenerans*. El tratamiento con antibióticos en pacientes con *COVID-19* se asoció con una configuración heterogénea de la microbiota acompañándose de un mayor desplazamiento de la microbiota intestinal de un microbioma sano (Zuo et al., 2020).

Además de los cambios antes descritos, se encontraron un total de 23 taxones bacterianos asociados significativamente con la gravedad de la enfermedad *COVID-19* la mayoría de los cuales, pertenecen al filo Firmicutes (Zuo et al., 2020). Entre estos taxones se encuentra el género *Coprobacillus*, especie *Clostridium ramosum* y *C. hathewayi*.

Por el contrario, las especies *Alistipes onderdonkii* y *Faecalibacterium prausnitzii* se relacionaron negativamente con el desarrollo de la enfermedad grave por *COVID-19*. De acuerdo con Zuo et al. (2020), no se puede asignar un papel causal o preventivo de las dos especies bacterianas antes mencionadas en la patogénesis o el desarrollo de la enfermedad grave, sin embargo, dichas especies indican el papel potencial en la respuesta ante la infección y la intensidad de la infección por el virus *SARS-CoV-2* (Figura 2).

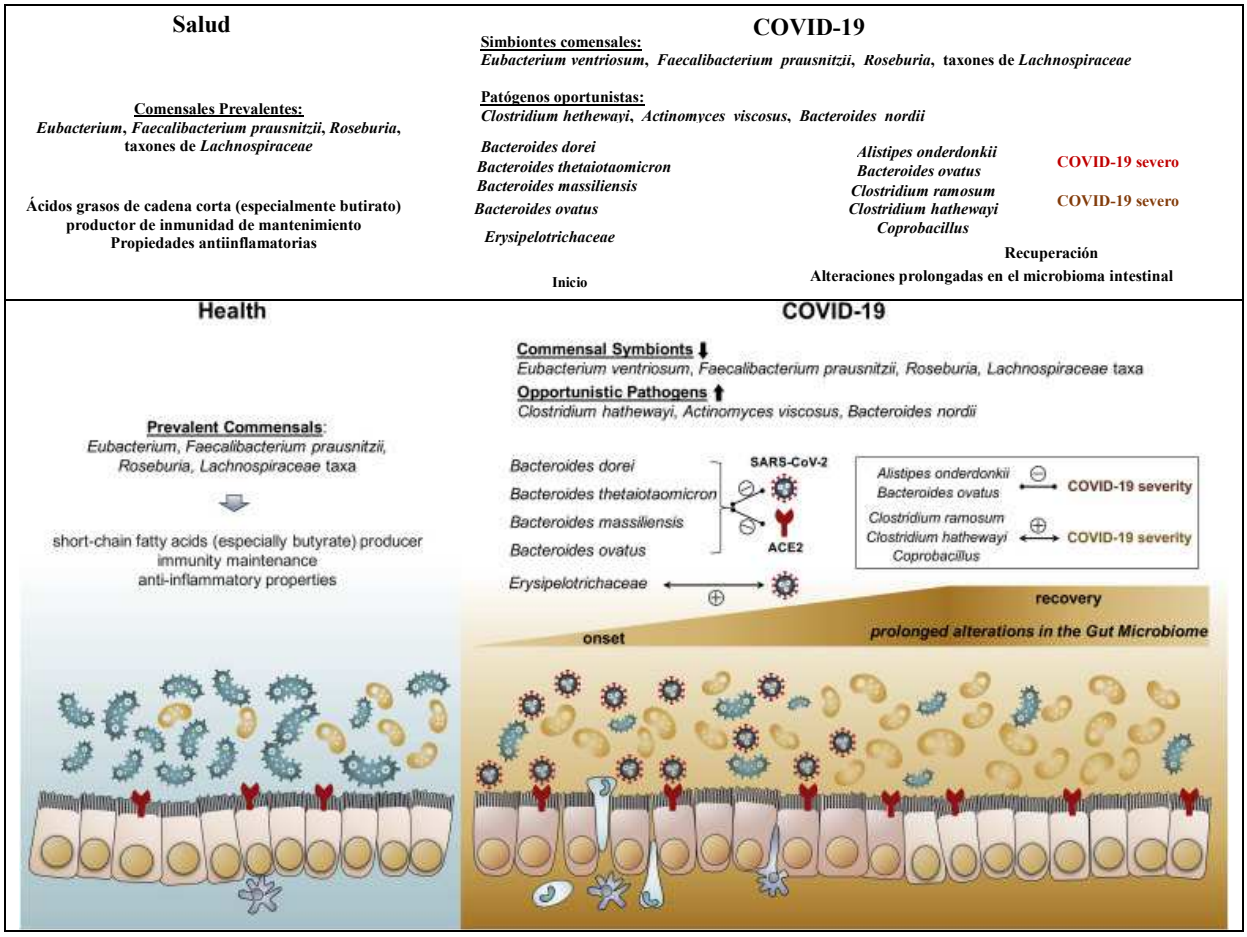



**Figura 2.** Alteraciones del microbioma intestinal provocadas por la enfermedad *COVID-19* y la relación de la microbiota intestinal con el desarrollo de *COVID-19* severo
(Modificada de Zuo et al., 2021)

Del mismo modo, Zuo et al. (2020) investigaron la recuperación del microbioma intestinal y su relación con la recuperación de la infección por *SARS-CoV-2*. Los resultados mostraron niveles estables de la microbiota intestinal de todos los pacientes enfermos de *COVID-19* pero con diferencias significativas con respecto de los controles sanos durante y después de la enfermedad, según lo definido por las pruebas negativas de *SARS-CoV-2* en hisopos nasofaríngeos o saliva de garganta profunda (Zuo et al., 2020).

Finalmente, la investigación encontró relaciones positivas entre la carga del virus en heces y en algunos taxones bacterianos. Seis especies pertenecientes al filo Bacteroidetes se relacionaron positivamente con la carga viral fecal del virus, al igual que *Erysipelotrichaceae*, mientras que *Bacteroides dorei, Bacteroides thetaiotaomicron, Bacteroides massiliensis* y *Bacteroides ovatus* se relacionaron negativamente con la carga viral fecal (Figura 2). Estos datos sugieren que algunas especies de *Bacteroides* pueden tener un papel protector potencial en la lucha contra la infección por *SARS-CoV-2* al obstaculizar la entrada al huésped a través de *ACE-2* (Zuo et al., 2020).

Otro estudio hecho por Mazzarelli et al. (2021) usó la secuenciación genética de hisopados rectales de pacientes enfermos con *COVID-19*. Los resultados mostraron el incremento en los niveles de *Proteobacterias* en comparación con controles sanos, mientras que las espiroquetas y Fusobacterias disminuyeron significativamente. En pacientes enfermos se observó el incremento de bacterias patógenas pertenecientes a familias como *Peptostreptococcaceae, Enterobacteriaceae, Staphylococcaceae, Vibrionaceae, Aerococcaceae, Dermabacteraceae* y *Actinobacteria* (Mazzarelli et al., 2021).

**Discusión final**

La bibliografía científica ha demostrado la presencia de alteraciones sobre la microbiota intestinal de pacientes enfermos con *COVID-19*. Los principales hallazgos señalan la pérdida de microorganismos simbióticos ("buenos"), llevando a la microbiota intestinal a presentar una disbiosis. Es en ese estado, donde la microbiota intestinal favorece el crecimiento de patógenos oportunistas, entre los cuales se encuentran taxones relacionados con casos severos de *COVID-19* (Farooqui y Farooqui, 2021; Mazzarelli et al., 2021; Zuo et al., 2021). Otro mecanismo asociado con el desarrollo de la enfermedad severa se relaciona con la producción de endotoxinas llamadas lipopoliglúcidos (LPG), los cuales en niveles altos favorecen el aumento de la permeabilidad intestinal y la traslocación de LPG del intestino a la circulación induciendo la respuesta inmune en el huésped (Farooqui y Farooqui, 2021).

Por otro lado, algunas especies de *Bacteroides* spp han sido relacionados con casos no severos de *COVID-19* debido a su capacidad de suprimir la expresión de *ACE-2* en modelos murinos (Farooqui y Farooqui, 2021; Geva-Zatorsky et al., 2017; Zuo et al., 2021).

Cabe mencionar que algunas investigaciones como la de Zuo et al. (2021) y Mazzarelli et al. (2021) hicieron uso de antibióticos empíricos en una enfermedad viral, induciendo alteraciones sobre las proporciones de algunos taxones de la microbiota intestinal (disbiosis). Dichas alteraciones no solamente se vieron reflejadas en la composición de la microbiota intestinal, sino también en la potencial resistencia a los antibióticos (Kang et al., 2022; Lucien et al., 2021; Yin et al., 2021). De acuerdo con Kang et al. (2022) se estima que cerca del 72% de los pacientes enfermos de *COVID-19* fueron tratados con antibióticos, mientras que Lucien et al. (2021) señalan que hasta el 95% de los pacientes, al inicio de la pandemia, recibieron antibióticos debido a la similitud de los síntomas de *COVID-19* con neumonía bacteriana o bien para evitar una infección secundaria a causa de bacterias, a pesar de que solamente el 15% de los pacientes mostró una infección secundaria (Lucien et al., 2021). No está claro si el uso de antibióticos empíricos tendrá un impacto neto positivo o negativo en la aparición y desarrollo de la resistencia a los antibióticos de la microbiota intestinal (Kang et al., 2022). Además de los efectos negativos sobre la microbiota intestinal, Yin et al. (2021) señalaron que la

exposición a antibióticos durante la infección por *SARS-CoV-2* y la liberación de citocinas proinflamatorias podrían estar asociadas con un mayor riesgo de progresión de enfermedad no grave a grave.

Al igual que en la disbiosis provocada por diversos agentes xenobióticos y biológicos, se ha propuesto mejorar la composición y diversidad de la microbiota intestinal por medio de la dieta, prebióticos y probióticos luego de la *COVID-19* (Olaimat et al., 2020). De acuerdo con Khaled (2021) y Sundararaman et al. (2020), el uso de probióticos como *L. casei, L. gasseri, B. longum, B. bifidum, L. rhamnosus, L. plantarum, B. breve, Pediococcus pentosaceus*, *Leuconostoc mesenteroides* y algunas especies de bifidobacterias podrían ayudar a regresar a la microbiota intestinal a un correcto estado (eubiosis) luego de la disbiosis provocada por *COVID-19*. Además, se ha relacionado a los probióticos con el control de la tormenta de citocinas provocadas por *COVID-19* mediante la regulación de la respuesta inmune. Otro mecanismo asociado es el uso de los metabolitos, resultado de la biotransformación de prebióticos con efecto inhibitorio en el sitio activo de la enzima *ACE-2*, evitando la entrada del virus en las células epiteliales del pulmón o los enterocitos (Khaled, 2021; Olaimat et al., 2020).

La evidencia científica reciente ha demostrado el papel de la microbiota intestinal en el desarrollo y control de enfermedades que no habían sido relacionadas con este conjunto de microorganismos, tales como el estrés (Ma et al., 2021), la depresión (Evrensel y Tarhan, 2021), el autismo (Lasheras et al., 2021), la esclerosis múltiple (Boussamet et al., 2021), el asma (Zhang et al., 2021), la aterosclerosis (Hou y Zhao, 2021), la enfermedad de Parkinson (Segal et al., 2021), la enfermedad de Alzheimer (Qian et al., 2021) y la artritis reumatoide (Kitamura et al., 2021), mostrando una nueva variable en el estudio de las enfermedades antes mencionadas.

## Conclusiones

De acuerdo con el objetivo de la presente investigación, "investigar la relación entre la enfermedad *COVID-19* y los cambios en la microbiota intestinal de pacientes infectados por *SARS-CoV-2*, así como el desarrollo de enfermedad severa y no severa", se concluye lo siguiente:

Al igual que otros virus, como el de la influenza, el virus *SARS-CoV-2* es capaz de alterar la composición de la microbiota intestinal por medio de mecanismos indirectos, tales como el de inducir la inapetencia y mecanismos directos, como son el daño sobre los enterocitos, alterando el microbioma y la microbiota intestinal.

Los principales cambios en la microbiota intestinal se han asociado con la disminución significativa en la riqueza y cambios no significativos en la diversidad microbiana.

Se observó un aumento de especies denominadas patógenos oportunistas, como son las bacterias pertenecientes a las siguientes familias: *Peptostreptococcaceae, Enterobacteriaceae, Staphylococcaceae, Vibrionaceae, Aerococcaceae, Dermabacteraceae* y *Actinobacteria*, y la reducción de especies simbióticas, como *Faecalibacterium prausnitzii*, *Lachnospiraceae*, *Eubacterium rectale*, *Ruminococcus obeum*, *Dorea formicigenerans*, *Penicillium citrinum*, *P. polonicum*, *Aspergillus* spp., *Malassezia yamatoensis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Moesziomyces aphidis*, *Trechispora* sp. y *Wallemia sebi.*

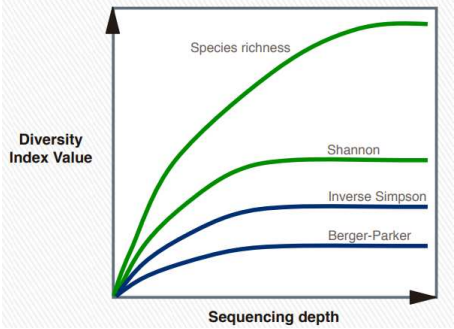
Los pacientes que no desarrollaron una enfermedad severa se asociaron con microbiotas caracterizadas por tener niveles altos de bacterias simbióticas tales como *Alistipes onderdonkii* y *Bacteroides ovatus*, mientras que los pacientes que desarrollaron la enfermedad severa se caracterizaron por niveles más altos de taxones patógenos como son *Clostridium ramosum, Clostridium hathewayi* y *Coprobacillus.*

**Glosario**

| Término | Significado |
|---|---|
| *ACE-2* | Siglas en inglés para la enzima convertidora de angiotensina 2 (*Angiotensin converter enzyme-2*) |
| AGCC | Ácidos grasos de cadena corta |
| Ageusia, disgeusia | La **ageusia** es la ausencia o pérdida casi completa del sentido del gusto. La ageusia total es realmente rara si se compara con los demás trastornos gustativos, principalmente la hipogeusia o la disgeusia o las pérdidas de percepción locales, ya que el gusto se compone de una percepción nerviosa múltiple construida sobre una red formada por tres pares de nervios craneales (Beros, Jordi (sept/oct de de 2003). Le gout et ses troubles [El gusto y sus transtornos]. En Impériali, Fabrice, ed. *CNRS Le Journal* (en francés) (París: Centre National de la Recherche Scientifique) (Nº 164)). La **disgeusia** es un trastorno en el que hay un mal sabor persistente en la boca. Dicho sabor puede ser salado, rancio o metálico. Algunas personas nacen con trastornos del gusto, pero en la mayoría de los casos inician después de una lesión o enfermedad. Entre las causas de los problemas del gusto se encuentran: Infecciones de las vías respiratorias superiores y del oído medio; radioterapia para cánceres de la cabeza y el cuello; exposición a productos químicos, como los insecticidas y algunos medicamentos, incluidos los antibióticos y los antihistamínicos; lesión de la cabeza; cirugía en el oído, la nariz o la garganta (como cirugía del oído medio) o la extracción del tercer molar (muela cordal); mala higiene bucal y problemas dentales (https://www.nidcr.nih.gov/espanol/temas-de-salud/trastornos-del-gusto). Del griego γεῦσις geysis, gustar, disfrutar, saborear con los prefijos correspondiente, alfa privativa o dis |
| Anosmia | Del latín científico *anosmia,* y este del griego ἀν- *an-* 'an-', ὀσμή *osmḗ* 'olor' y el latín *-ia* '-ia'. 1. f. Pérdida completa del olfato (Diccionario de la lengua española: https://dle.rae.es/anosmia?m=form) |
| COVID-19 | Nombre dado a la Enfermedad del **Co**rona **Vi**rus que apareció a finales de 20**19** (*Name given to the **Co**rona **Vi**rus **D**isease that appeared at the end of 20**19***) |
| Eubiosis, disbiosis | Eubiosis es el término empleado para referirse al equilibrio encontrado en la microbiota intestinal. En condiciones de eubiosis, la microbiota intestinal alcanza su máxima complejidad y diversidad. Se caracteriza por la abundancia de especies que tienen una relación de comensalismo y mutualismo con el hospedador (Álvarez et al., 2021) |
| H1N1 | En virología, el virus de la influenza A subtipo H1N1 es un subtipo del virus de la influenza A. Los brotes bien conocidos de cepas H1N1 en humanos incluyen la pandemia de gripe de 1918, la pandemia de gripe rusa de 1977 y la pandemia de gripe porcina de 2009. Es un ortomixovirus que contiene las glicoproteínas hemaglutinina y neuraminidasa.<br>Clasificación superior: virus de la influenza A<br>Familia: Orthomyxoviridae<br>Serotipo: Virus Influenza A subtipo H1N1<br>Orden: Articulavirales<br>Reino: Orthornavirae<br>Reino: Riboviria<br>Su enfermedad es conocida popularmente como "gripe porcina". El virus se reconoció por primera vez en abril de 2009 y se propagó rápidamente a 74 países de todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró al virus una pandemia mundial.<br>(https://en.wikipedia.org/wiki/Influenza_A_virus_subtype_H1N1) |
| *ICTV* | Siglas en inglés para el Comité Internacional sobre Taxonomía de Virus |

| Término | Significado |
|---|---|
| | (*International Committee on Taxonomy of Viruses*) |
| LPG endotoxina | La endotoxina es un lipopoliglúcido o LPG, o sea, una forma química que contiene glucosa. Se trata de una estructura compuesta por complejos de lípidos y glúcidos. Esta estructura es un componente necesario liberado por bacterias Gram negativas con el fin de mantener la integridad de la pared celular. La endotoxina es el componente principal de la pared celular y es importante para la supervivencia celular. La clasificación de las bacterias como Gram negativas o Gram positivas se basa en un método de coloración microscópica conocido como Tinción de Gram. Se aplican dos tinturas. El primer color es el rojo. El segundo color es el azul o el púrpura. Las bacterias que retienen el color de la primera tinción se llaman Gram positivas. Las bacterias que pierden el color de la primera tinción pero retiene el color de la segunda tinción se llaman Gram negativas. Las **endotoxinas** activan la cascada de la coagulación que produce hipotensión arterial o flujo insuficiente de sangre. También producen fiebre y activan el factor de necrosis tumoral causante de necrosis y hemorragias en varios tejidos (https://www.binasss.sa.cr/revistas/rccm/v16n3/art8.pdf) |
| *MAMPs* | Siglas en inglés para patrones moleculares asociados con microorganismos (*Microorganisms Associated Molecular Patterns*) |
| Microbioma | El microbioma (del griego antiguo μικρός (mikrós) 'pequeño' y βίος (bíos) 'vida') es la comunidad de microorganismos que normalmente se encuentran viviendo juntos en un hábitat determinado. Fue definido con mayor precisión en 1988 por Whipps et al. (Whipps, J.M., Lewis, K., Cooke, R.C. Mycoparasitism and plant disease control 161–187. In: Burge, N.M., editor. Fungi in Biological Control Systems. Manchester University Press; 1988) como "una comunidad microbiana característica que ocupa un hábitat razonablemente bien definido que tiene distintas propiedades fisicoquímicas. Por lo tanto, el término no solamente se refiere a los microorganismos involucrados sino que también abarca su esfera de actividad". En 2020, un panel internacional de expertos publicó el resultado de sus debates sobre la definición del microbioma. Propusieron una definición del microbioma basada en una reactivación de la "descripción compacta, clara y completa del término" proporcionada originalmente por Whipps et al. (1988), pero complementada con dos párrafos explicativos. El primer párrafo explicativo pronuncia el carácter dinámico del microbioma y el segundo párrafo explicativo separa claramente el término microbiota del término microbioma (***Microbiome**, from ancient Greek μικρός (mikrós) 'small', and βίος (bíos) 'life', is the community of microorganisms that can usually be found living together in any given habitat. It was defined more precisely in 1988 by Whipps et al., as "a characteristic microbial community occupying a reasonably well-defined habitat which has distinct physio-chemical properties. The term thus not only refers to the microorganisms involved but also encompasses their theatre of activity". In 2020, an international panel of experts published the outcome of their discussions on the definition of the microbiome. They proposed a definition of the microbiome based on a revival of the "compact, clear, and comprehensive description of the term" as originally provided by Whipps et al., but supplemented with two explanatory paragraphs. The first explanatory paragraph pronounces the dynamic character of the microbiome, and the second expalantory paragraph clearly separates the term microbiota from the term microbiome* [*https://en.wikipedia.org/wiki/Microbiome*]) |
| Microbiota | La microbiota está formada por todos los miembros vivos que forman el microbioma. La mayoría de los investigadores del microbioma están de acuerdo en que las bacterias, las arqueas, los hongos, las algas y los pequeños protistas deben considerarse miembros del microbioma. La integración de fagos, virus, |

| Término | Significado |
|---|---|
| | plásmidos y elementos genéticos móviles es más controvertida ya que no son considerados como seres vivos y, por tanto, no son parte de la microbiota. El "teatro de actividad" de Whipps y colaboradores incluye el papel esencial que desempeñan los metabolitos secundarios en la mediación de interacciones complejas entre especies y en la garantía de la supervivencia en entornos competitivos. La detección de quórum inducida por moléculas pequeñas permite a las bacterias controlar las actividades cooperativas y adapta sus fenotipos al entorno biótico, lo que da como resultado, por ejemplo, la adhesión célula-célula o la formación de biopelículas *(The microbiota consists of all living members forming the microbiome. Most microbiome researchers agree bacteria, archaea, fungi, algae, and small protists should be considered as members of the microbiome. The integration of phages, viruses, plasmids, and mobile genetic elements is more controversial. As phages, viruses, plasmids, prions, viroids, and free DNA are usually not considered as living microorganisms, they do not belong to the microbiota. Whipps's "theatre of activity" includes the essential role secondary metabolites play in mediating complex interspecies interactions and ensuring survival in competitive environments. Quorum sensing induced by small molecules allows bacteria to control cooperative activities and adapts their phenotypes to the biotic environment, resulting, e.g., in cell-cell adhesion or biofilm formation)* (Wikipedia) |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| *OTU* | Siglas en inglés para unidades taxonómicas operacionales (*Operational Taxonomic Units, OTU. It is an operational definition* ***used to classify groups of closely related individuals***). Mediciones de biodiversidad: *OTU*, índice de Chao, índice *ACE* [S0 es el número de taxones observados al menos una vez en una muestra, a0 es el número desconocido de especies presentes en la comunidad pero no observadas. 1. Riqueza de *OTU*: R= S0 (sin corrección para taxones no observados); 2. Índice Chao-1: supone que el número de observaciones para un taxón tiene una distribución de Poisson y corrige la varianza; R= S0 + a0. 3. *ACE* (estimadores de cobertura basados en la abundancia): Involucra un umbral de abundancia arbitrario para etiquetar $S_{abun}$ como el número de taxones abundantes, $S_{rare}$ como el número de taxones raros; La expresión básicamente infla el número de taxones raros y vuelve a inflar el número de taxones con abundancia 1. R= S0 + a0 / *S0 is the number of taxa observed at least once in a sample, a0 is the unknown number of species present in the community but not observed. 1. OTU richness: R= S0 (no correction for taxa not observed); 2. Chao-1 index: Assumes that the number of observations for a taxa has a Poisson distribution and corrects for variance; R= S0 + a0. 3. ACE (abundance-based coverage estimators): involves an arbitrary abundance threshold to label $S_{abun}$ as the number of abundant taxa, $S_{rare}$ as the number of rare taxa; The expression basically inflates the number of rare taxa and inflates again the number of taxa with abundance 1. R= S0 + a0*] |



| Término | Significado |
|---|---|
| | (https://evolution.unibas.ch/walser/bacteria_community_analysis/2015-02-10_MBM_tutorial_combined.pdf) |
| *PAMPs* | Siglas en inglés para patrones moleculares asociados a patógenos (*Pathogens Associated Molecular Patterns*) |
| *PCR* | Siglas en inglés para la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (*PCR, Polymerase Chain Reaction*), una técnica usada para hacer investigación científica sobre ADN o comprobar la presencia de un patógeno |
| *SARS-CoV-2* | *ICTV* anunció a "coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo o *SARS-CoV-2* en inglés" como el nombre del nuevo virus el 11 de febrero de 2020. Se eligió este nombre porque el virus está genéticamente relacionado con el coronavirus responsable del brote de *SARS* de 2003 siendo éste el *SARS-CoV-1*. Si bien están relacionados, los dos virus son diferentes / *ICTV announced "severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2)" as the name of the new virus on 11 February 2020. This name was chosen because the virus is genetically related to the coronavirus responsible for the SARS outbreak of 2003, SARS-CoV-1. While related, the two viruses are different* |

## Reconocimientos

El primer autor agradece a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química, especialmente a los Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, por la oportunidad de trabajar en el desarrollo de la ciencia en México. También agradece de manera especial a la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa por su tiempo, asesoría, revisión y apoyo en la realización del presente artículo de difusión en la revista *Ambiens Techné et Scientia México*. Los autores agradecen las sugerencias y cambios de los revisores que mejoraron el documento final. Cualquier error es atribuible a los autores.

## Referencias bibliográficas

Aktas, B. 2021. Gut Microbiota dysbiosis and COVID-19: Possible links. Reference Module in Food Science. Article in Press. doi: 10.1016/B978-0-12-819265-8.00072-3

Álvarez, J., Real, J.M.F., Guarner, F., Gueimonde, M., Rodríguez, J.M., De Pipaon, M.S., Sanz, Y. 2021. Microbiota intestinal y salud. Gastroenterología y Hepatología. 44(7):519-535. doi: 10.1016/j.gastrohep.2021.01.009

Andrade, M. C., Souza de Faria, R., Avelino Mota Nobre, S. 2020. COVID-19: Can the symptomatic SARS-CoV-2 infection affect the homeostasis of the gut-brain-microbiota axis? Medical Hypotheses. 144:110206. doi:10.1016/j.mehy.2020.110206

Balmant, B.D., Torrinhas, R.S., Rocha, I.M., Fonseca, D.C., Formiga, F.F.C., Bonfá, E.S.D.O., Borba E.F., Waitzberg, D.L. 2021. SARS-CoV-2 infection, gut dysbiosis, and heterogeneous clinical results of hydroxychloroquine on COVID-19 therapy—Is there a link? Nutrition. 85(2021):111115. doi: 10.1016/j.nut.2020.111115

Boussamet, L., Montassier, E., Soulillou, J. P., Berthelot, L. 2021. Anti α1-3gal antibodies and gal content in gut microbiota in immune disorders and multiple sclerosis. Clinical Immunology. Article in Press. doi: 10.1016/J.Clim.2021.108693

Dhar, D., Mohanty, A. 2020. Gut microbiota and COVID-19- possible link and implications. Virus Research. 285:198018. doi: 10.1016/j.virusres.2020.198018

Dumas, A., Bernard, L., Poquet, Y., Lugo-Villarino, G., Neyrolles, O. 2018. The role of the lung microbiota and the gut-lung axis in respiratory infectious diseases. Cellular Microbiology. 20(12):e12966. doi: 10.1111/cmi.12966

Evrensel, A., Tarhan, K.N. 2021. Emerging role of gut-microbiota-brain axis in depression and therapeutic implication. Progress In Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry. 106:110138. doi: 10.1016/j.pnpbp.2020.11013

Farooqui, T., Farooqui, A.A. 2021. Gut Microbiota in Neurologic and Visceral Diseases. Ed. Academic Press. Pp. 255-266. Londres, Reino Unido.

Geva-Zatorsky, N., Sefik, E., Kua, L., Pasman, L., Tan, T.G., Ortiz-Lopez, A., Yanortsang, T.B., Yang, L., Jupp, R., Mathis, D., Benoist, C., Kasper, D.L. 2017. Mining the human gut microbiota for immunomodulatory organisms. Cell. 168(5):928-943. doi: 10.1016/j.cell.2017.01.022

Groves, H.T., Higham, S.L., Moffatt, M.F., Cox, M.J., Tregoning, J.S. 2020. Respiratory viral infection alters the gut microbiota by inducing inappetence. mBio. 11(1):e03236-19. doi: 10.1128/mbio.03236-19

Guarner, F. 2007. Papel de la flora intestinal en la salud y en la enfermedad. Nutrición Hospitalaria. 22:14-19. ISSN 0212-1611

Hou, H., Zhao, H. 2020. Epigenetic factors in atherosclerosis: DNA methylation, folic acid metabolism, and intestinal microbiota. Clinica Chimica Acta. 512:7-11. doi: 10.1016/j.cca.2020.11.013

Hu, B., Guo, H., Zhou, P., Shi, Z.L. 2020. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nature Reviews Microbiology*. *19*(2021):141-154. doi: 10.1038/s41579-020-00459-7

Kang, Y., Chen, S., Chen, Y., Tian, L., Wu, Q., Zheng, M., Li, Z. 2022. Alterations of fecal antibiotic resistome in COVID-19 patients after empirical antibiotic exposure. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 240:113882. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113882

Khaled, J.M. 2021. Probiotics, prebiotics, and COVID-19 infection: A review article. Saudi Journal of Biological Sciences. 28(1):865-869. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.11.025

Kitamura, K., Sasaki, M., Matsumoto, M., Shionoya, H., Iida, K. 2021. Protective effect of bacteroides Fragilis LPS on Escherichia coli LPS-induced inflammatory changes in human monocytic cells and in a rheumatoid arthritis mouse model. Immunology Letters. 233:48-56. doi: 10.1016/j.imlet.2021.03.008

Krga, I., Glibetic, M. 2021. Gut microbiota in health and diseases. Reference Module in Food Sciences. Article in press. doi: 10.1016/b978-0-12-819265-8.00045-0

Lamers, M.M., Beumer, J., van der Vaart, J., Knoops, K., Puschhof, J., Breugem, T.I., Ravelli, R.B.G., Paul, van Schayck, J., Mykytyn, A.Z., Duimel, H.Q., van Donselaar, E., Riesebosch, S., Kuijpers, H.J.H., Schipper, D., van de Wetering, W.J., de Graaf, M., Koopmans, M., Cuppen, E., Peters, P.J., Haagmans, B.L., Clevers, H. SARS-CoV-2 productively infects human gut enterocytes. Science. 369(6499):50-54. doi: 10.1126/science.abc1669

Lasheras, I., Gracia-García, P., Santabárbara, J. 2021. Modulation of gut microbiota in autism spectrum disorders: A systematic review. The European Journal of Psychiatry. 35(2):107-121. doi: 10.1016/j.ejpsy.2020.12.003

Lucien, M.A.B., Canarie, M.F., Kilgore, P.E., Jean-Denis, G., Fénélon, N., Pierre, M., Cerpa, M., Joseph, G.A., Maki, G., Zervos, M. J., Dely, P., Boncy, J., Sati, H., del Rio, A., Ramon-Pardo, P. 2021. Antibiotics and antimicrobial resistance in the COVID-19 era: Perspective from resource-limited settings. International Journal of Infectious Diseases. 104:250-254. doi: 10.1016/j.ijid.2020.12.087

Lv, L., Gu, S., Jiang, H., Yan, R., Chen, Y., Chen, Y., Luo, R., Huang, C., Ku, H., Zheng, B., Zhang, H., Xia, J., Tang, L., Sheng, G., Li, L. 2021. Gut mycobiota alterations in patients with COVID-19 and H1N1 infections and their associations with clinical features. Communications Biology. 4(1):1-11. doi: 10.1038/s42003-021-02036-x

Ma, T., Jin, H., Kwok, L.Y., Sun, Z., Liong, M.T., Zhang, H. 2021. Probiotic consumption relieved human stress and anxiety symptoms possibly via modulating the neuroactive potential of the gut microbiota. Neurobiology Of Stress. 14:100294. doi: 10.1016/j.ynstr.2021.100294

Mazzarelli, A., Giancola, M.L., Farina, A., Marchioni, L., Rueca, M., Gruber, C.E. M., Bartolini, B., Bartoli, T.A., Maffongelli, G., Capobianchi, M.R., Ippolito, G., Di Caro, A., Nicastri, E., Pazienza, V., INMI COVID-19 study group. 2021. 16S rRNA gene sequencing of rectal swab in patients affected by COVID-19. PLOS ONE. 16(2):e0247041. doi: 10.1371/journal.pone.0247041

Nejadghaderi, S.A., Nazemalhosseini-Mojarad, E., Aghdaei, H.A. 2021. Fecal microbiota transplantation for COVID-19; a potential emerging treatment strategy. Medical hypotheses. 147:110476. doi: 10.1016/j.mehy.2020.110476

Olaimat, A.N., Aolymat, I., Al-Holy, M., Ayyash, M., Ghoush, M.A., Al-Nabulsi, A. A.,Osaili, T., Apostolopoulos, V., Liu S-Q., Shah, N.P. 2020. The potential application of probiotics and prebiotics for the prevention and treatment of COVID-19. npj Science of Food. 4(1):1-7.

OMS, 2021. Información básica sobre la COVID-19. Dirección electrónica (redes internacionales): https://bit.ly/3tno5WG

Padrón, P.C.A. 2019. Human gut microbiota and diet. Food Sciences. 1:31-42. doi: 10.18779/cyt.v12i1.176

Pal, M., Berhanu, G., Desalegn, C., Kandi, V. 2020. Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 (SARS-CoV-2): An update. Cureus. 12(3):1-13. doi: 10.7759/cureus.7423

Park, S.K., Lee, C.W., Park, D.I., Woo, H.Y., Cheong, H.S., Shin, H.C., Ahn, K., Kwon, M.J., Joo, E.J. 2021. Detection of SARS-CoV-2 in fecal samples from patients with asymptomatic and mild COVID-19 in Korea. Clinical Gastroenterology and Hepatology. 19(7):1387-1394. doi: 10.1016/j.cgh.2020.06.005

Qian, X. H., Song, X. X., Liu, X. L., Tang, H. D. 2021. Inflammatory pathways in Alzheimer's disease mediated by gut microbiota. Ageing Research Reviews. 68:101317. doi: 10.1016/j.arr.2021.101317

Rajput, S., Paliwal, D., Naithani, M., Kothari, A., Meena, K., Rana, S. 2021. COVID-19 and gut microbiota: A potential connection. Indian Journal of Clinical Biochemistry. 36(3):266–277. doi: 10.1007/s12291-020-00948-9

Rinninella, E., Cintoni, M., Raoul, P., Ianiro, G., Laterza, L., Ponziani, F.R., Pulcinie, G., Gasbarrinic, A., Mele, M.C. 2022. Diet-Induced alterations in gut microbiota composition and function. *Reference Module in Food Science*. Article in press, doi: 10.1016/b978-0-12-819265-8.00035-8

Ruiz, A.V., Puig P., Rodríguez A.M. 2012. Microbiota intestinal, sistema inmune y obesidad. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 29*:364-397. ISSN 1561-3011

Segal A., Zlotnik Y., Moyal-Atias, K., Abuhasira R., Ifergane G. 2021. Fecal microbiota transplant as a potential treatment for Parkinson's disease – A case series. Clinical Neurology and Neurosurgery. Article in Press. doi: 10.1016/J.Clineuro.2021.106791

Sundararaman, A., Ray, M., Ravindra, P.V., Halami, P.M. 2020. Role of probiotics to combat viral infections with emphasis on COVID-19. Applied Microbiology and Biotechnology. 104(2020):8089-8104. doi: 10.1007/s00253-020-10832-4

Tao, W., Wang, X., Zhang, G., Guo, M., Ma, H., Zhao, D., Sun, Y., He, J., Liu, L., Zhang, K., Wang, Y., Weng, J., Ma, X., Jin, T., Zhu, S. 2021. Re-detectable positive SARS-CoV-2 RNA tests in patients who recovered from COVID-19 with intestinal infection. Protein & Cell. 12(3):230-235. doi: 10.1007/s13238-020-00778-8

Uzbay, T. 2019. Germ-free animal experiments in the gut microbiota studies. Current Opinion in Pharmacology. 49:6–10. doi: 10.1016/j.coph.2019.03.016

Vodnar, D.C., Mitrea, L., Teleky, B.E., Szabo, K., Călinoiu, L.F., Nemeș, S.A., Martău, G.A. 2020. Coronavirus disease (COVID-19) caused by (SARS-CoV-2) infections: A real challenge for human gut microbiota. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 10:786. doi: 10.3389/fcimb.2020.575559

Whipps, J.M., Lewis, K., Cooke, R.C. 1988. Mycoparasitism and plant disease control. In: Burge, N.M., editor. Fungi in Biological Control Systems. Pp 161–187. Manchester University Press. United Kingdom

Wilson, M. 2018. The human microbiota in health and disease: An ecological and community based approach*.* Ed Garland Science. Pp. 101-103. New York City, EE UU.

Yin, X., Xu, X., Li, H., Jiang, N., Wang, J., Lu, Z., Xiong, N., Gong, Y. 2021. Evaluation of early antibiotic use in patients with non-severe COVID-19 without bacterial infection. International Journal of Antimicrobial Agents. Article in Press. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2021.106462

Yu, Z., Yang, Z., Wang, Y., Zhou, F., Li, S., Li, C., Li, L., Zhang, W., Li, X. 2021. Recent advance of ACE2 and microbiota dysfunction in COVID-19 pathogenesis. Heliyon. 7(7):e07548. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07548

Zhang, J., Ma, J., Li, Q., Su, H., Sun, X. 2021. Exploration of the effect of mixed probiotics on microbiota of allergic asthma mice. Cellular Immunology. 367:104399. doi: 10.1016/j.cellimm.2021.104399

Zuo, T., Wu, X., Wen, W., Lan, P. 2021. Gut microbiome alterations in COVID-19. Genomics, Proteomics & Bioinformatics. Article in Press. doi: 10.1016/j.gpb.2021.09.004

Zuo, T., Zhang, F., Lui, G.C., Yeoh, Y.K., Li, A.Y., Zhan, H., Wan,Y., Chung, A.C.K., Cheung, C.P., Chen, N., Lai, C.K.C., Chen, Z., Tso, E.Y.K., Fung, K.S.C., Chan, V., Ling, L., Joynt, G., Hui, D.S.C., Chan, F.K.L., Chan, P.K.S., Ng, S.C. 2020. Alterations in gut microbiota of patients with COVID-19 during time of hospitalization. Gastroenterology. 159(3):944-955. doi: 10.1053/j.gastro.2020.05.048

# Obtención y caracterización de quitosana mineralizada a partir de residuos de camarón

## *Obtaining and characterizing mineralized chitosan from shrimp waste*

***Tania Campos-Rodríguez, Martha Maura De-La-Cruz-Ochoa, Aranys del Carmen Borja-Urzola*, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa***

UNAM, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Edificio E-3 Alimentos y Química Ambiental, Conjunto E, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México
Correos-e (*e-mails*): crtania506@gmail.com, 2marthadlcruz.ochoa@gmail.com, araborurz@hotmail.com, mcduran@quimica.unam.mx

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia

Recibido: Abril 10, 2021

Aceptado: Mayo 15, 2021

**Resumen**

La extracción en fase sólida es la técnica más empleada como opción para la extracción líquido-líquido, en muestras acuosas de triazinas permitiendo la retención de analitos específicos con la finalidad de obtener extractos limpios para el análisis cromatográfico. Uno de los materiales alternativos que puede ser empleado como fase sólida es la quitosana, la cual se obtiene de forma ecológica mediante la desacetilación de la quitina a partir de residuos de camarón de la especie *Farfantepenaeus aztecus* y del uso de una mezcla saturada de cloruro de calcio en metanol y agua (sistema $CaCl_2$-MeOH-$H_2O$), ultrasonido y agitación. La quitosana mineralizada producto de la aplicación del sistema $CaCl_2$-MeOH-$H_2O$ se usó como adsorbente en la extracción en fase sólida para la preconcentración y cuantificación de herbicidas triazínicos (metribuzina, prometrina y terbutilazina) por cromatografía de gases con detector de ionización de flama. La metodología propuesta en esta investigación incluyó la extracción en fase sólida, a partir de la saturación de la mezcla de plaguicidas con NaCl, la aplicación del tipo de disolvente y volumen de elución, la cantidad de fase adsorbente y la comparación de la quitosana mineralizada con dos cartuchos comerciales. La quitosana mineralizada obtenida de forma ecológica puede ser utilizada como fase sólida en las columnas de EFS, ya que los resultados finales de la extracción e identificación fueron comparables con dos cartuchos comerciales.

**Palabras clave:** Residuos de camarón, quitosana mineralizada, caracterización, plaguicidas triazínicos

***Abstract***

Solid phase extraction is the most widely used technique as an option for liquid-liquid extraction in aqueous samples of triazines, which allows the retention of specific analytes in order to obtain clean extracts for chromatographic analysis. One of the alternative materials that can be used as a solid phase is chitosan, which is obtained in an ecological way through the deacetylation of chitin from shrimp residues of the species *Farfantepenaeus aztecus* and the use of a saturated mixture of chloride of calcium in methanol and water ($CaCl_2$-MeOH-$H_2O$ system ©), ultrasound, and stirring. The mineralized chitosan product of the application of the $CaCl_2$-MeOH-$H_2O$ system © was used as an adsorbent in the solid phase extraction for the preconcentration and quantification of triazine herbicides (metribuzin, promethrin, and terbutylazine) by gas chromatography with a flame ionization detector. The methodology proposed in this research included solid phase extraction, from the saturation of the pesticide mixture with NaCl, the application of the type of solvent and elution volume, the amount of adsorbent phase and the comparison of mineralized chitosan with two commercial cartridges. The mineralized chitosan obtained in an ecological way can be used as a solid phase in the EFS columns, since the final results of the extraction and identification were comparable with two commercial cartridges.

***Keywords:*** *Shrimp residues, mineralized chitosan, characterization, triazine pesticides*

## INTRODUCCIÓN

La degradación del ambiente es uno de los principales problemas relacionados con la producción de grandes cantidades de residuos orgánicos e inorgánicos (Akdogan et al., 2013). Como parte de la búsqueda de soluciones a esta problemática, en esta investigación se plantea el aprovechamiento de los residuos del camarón, cefalotórax y exoesqueleto, a partir de la extracción ecológica de quitina y su conversión a quitosana mediante el uso de una mezcla saturada de cloruro de calcio en metanol y agua (sistema $CaCl_2$-MeOH-$H_2O$ ©). Además, se plantea la posibilidad de emplear a la quitosana como fase sólida, para elaborar los denominados "cartuchos de extracción" usados en la preparación de muestras acuosas para determinar y cuantificar sustancias problema mediante la técnica de extracción en fase sólida (EFS o *SPE* por sus siglas en inglés).

La quitosana al ser un biopolímero de cadena lineal que se caracteriza por su alto contenido de nitrógeno, por ser renovable, biocompatible, bioadsorbente, biodegradable, biofuncional y no tóxico (Conislla-Bello et al., 2016; Malafaya et al., 2007) le brinda la capacidad de participar en procesos de adsorción de sustancias como los herbicidas tan usados en la agricultura.

Las triazinas son plaguicidas pertenecientes al grupo de los herbicidas utilizados para el control del crecimiento de malezas o plantas no deseadas, por lo que son aplicados directamente en el suelo (Gutiérrez, 2005; Morales et al., 2014). En general, los herbicidas triazínicos son compuestos efectivos y económicos. Dicha característica ha generado su uso indiscriminado yendo a dar a cuerpos de agua. Por ello, se busca emplear técnicas de preconcentración que permitan su identificación y cuantificación de manera económica y efectiva.

## METODOLOGÍA

### Elaboración de harina de camarón

Se emplearon residuos de camarón fresco como materia prima para la producción de quitosana mineralizada. Los residuos fueron lavados y secados. Posteriormente, se licuaron con agua destilada, lo que permitió obtener un compuesto parcialmente desproteinizado. Concluida la molienda, se filtró y secó el material. El material seco fue remolido y tamizado a 149 µm de tamaño promedio de partícula para garantizar una mayor área superficial de las partículas para la disolución de uno de sus componentes más valiosos, conservando el material para la sepraración de otros más (Flores-Ortega, 2008).

### Preparación del sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$ ©

La preparación del sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$ © se realizó de acuerdo con Flores-Ortega et al. (2004). Se pesaron en un matraz 277.5 g de $CaCl_2$, 180 mL de agua (en un baño de hielo, debido a que se trata de una reacción exotérmica) y 99 mL de metanol. La mezcla se colocó en un sistema de reflujo. Concluido el tiempo se dejó reposar la mezcla a temperatura ambiente. Finalizado el tiempo de reposo se decantó el disolvente y se guardó en un recipiente de vidrio hermético.

### Obtención de quitosana mediante el sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$ ©

Se mezclaron la harina de camarón y el sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$. La mezcla se agitó, se llevó a un baño ultrasónico y se dejó en reposo a temperatura ambiente, se filtró y el precipitado se lavó con agua destilada hasta obtener un polvo blanquecino.

### Caracterización química de la quitosana

Se efectuó la caracterización química de la quitosana mineralizada comparándola con quitosana comercial Sigma-Aldrich y con quitosana obtenida por el método convencional con NaOH (Borja-Urzola et al., 2021). Se empleó la metodología descrita por la AOAC para su análisis bromatológico. La determinación de humedad y cenizas se hizo siguiendo los métodos convencionales (Horwitz, 2005; Nielsen, 2009; Nollet, 2004). La caracterización se complementó con un análisis elemental (contenido total CNHS), además de espectroscopía infrarroja (FTIR), difracción de Rayos X (DRX) y microscopía

electrónica de barrido (SEM) realizadas también para la quitosana comercial Sigma-Aldrich usada como control (Borja-Urzola et al., 2021).

**Elaboración de soluciones patrón de plaguicidas**
Se elaboraron tres soluciones patrón de metribuzina, prometrina y terbutilazina. Se envasaron en un recipiente ámbar y se almacenaron a una temperatura de -22°C (Borja-Urzola et al., 2021).

**Condiciones de la cromatografía de gases**
Previo a la cuantificación de los analitos eluidos se obtuvieron las condiciones óptimas de operación del cromatógrafo de gases Agilent 7890 A (Borja-Urzola et al., 2021).

**Extracción en fase sólida de plaguicidas triazínicos**
**Preparación de cartuchos.** Se utilizaron columnas para EFS de polipropileno en donde se colocó una cantidad conocida de fase sólida en medio de dos papeles filtro.

**Proceso de extracción en fase sólida con quitosana mineralizada como adsorbente**
**1. Acondicionamiento.** Se agregaron 7 mL de n-hexano al cartucho de extracción y se dejó en contacto durante 5 min. Después de este tiempo, se abrió la llave de regulación y con vacío se dejó pasar el disolvente (sin dejar secar). Posteriormente, se agregaron 7 mL de mezcla acetona:metanol (50:50 v/v) y se realizó el mismo procedimiento.
**2. Carga de la muestra (Extracción de los plaguicidas).** Se conectaron las mangueras a los frascos de vidrio que contenían la mezcla de plaguicidas y del otro extremo se conectó en los cartuchos, se dejó abierto el vacío y se reguló el flujo del líquido en goteo hasta pasar todo el volumen de muestra.
**3. Enjuague.** Se agregaron en el cartucho 4 mL de n-hexano, de forma rápida y con vacío.
**4. Secado.** Se secaron los cartuchos en una centrífuga Eppendorf 5810R.
**5. Elución.** Se agregaron 4 mL de acetona y se dejó en contacto. Después de este tiempo se abrió la llave y el contenido se recolectó en un vial. Posteriormente, se agregaron 2 mL de metanol y se repitió el mismo procedimiento recolectando las fracciones en un mismo vial.

**Optimización del proceso de extracción en fase sólida de la metribuzina, prometrina y terbutilazina**
**Efecto de la saturación de la matriz.** Se prepararon tres disoluciones de 50 mL de mezcla de plaguicidas a una concentración de 50 µg/L de agua desionizada. Se emplearon tres variaciones de saturación con NaCl: sin saturar, saturación al 20% y saturación al 40%.
**Efecto del disolvente de elución (tipo y volumen).** Se realizaron diferencias en la elución y los tiempos de extracción. En cada uno de los cinco cartuchos, se agregaron 2 mL de diferentes disolventes, cada uno por separado: Acetonitrilo (ACN), metanol (MeOH), acetato de etilo (AcET), isopropanol (iPrOH) y acetona (AcTN) dejando en contacto 2 min. Después de este tiempo se abrió la llave y el contenido se recolectó en un vial.
**Efecto de la cantidad de adsorbente.** Se utilizaron seis columnas para EFS que contenían quitosana mineralizada en diferentes proporciones 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg.

**Comparación de la quitosana mineralizada con los cartuchos comerciales C18 y OASIS HLB**
Se utilizaron cartuchos comerciales de la marca HLB Oasis ® y $C_{18}$ CHROMABOND®. Los cartuchos elaborados con quitosana mineralizada y los cartuchos comerciales se prepararon para el proceso de extracción.

## Resultados y discusión

**Caracterización química de la quitosana**
La evaluación de las muestras de quitosana incluyó una serie de análisis divididos en dos etapas, en primer lugar se incluyó la caracterización fisicoquímica de las muestras de quitosana y finalmente se

contempló la optimización del proceso de extracción en fase sólida mediante el uso de la quitosana como adsorbente.

Se evaluaron las tres diferentes muestras de quitosana: La muestra control Sigma-Aldrich, la quitosana mineralizada y la quitosana obtenida por método convencional con NaOH concentrada. Las tres muestras se caracterizaron mediante un análisis bromatológico de humedad y cenizas, complementado con un análisis elemental, espectroscopía infrarroja, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido, como ya se mencionó en la sección de metodología.

El porcentaje de N-acetilación se determinó por medio de los espectros infrarrojos. Se evaluó la capacidad de extracción o porcentaje de recobro de la quitosana mineralizada analizando la influencia de la saturación de la matriz con NaCl, del disolvente de elución (tipo y volumen) y de la cantidad de adsorbente.

Posteriormente, se comparó la capacidad de extracción de la quitosana mineralizada con las fases sólidas presentes en los cartuchos comerciales $C_{18}$ y OASIS HLB.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 1 se puede observar para el caso de la humedad porcentajes menores al 8% para todas las muestras, permitiendo suponer que debido a que el contenido de agua es bajo las muestras pueden ser empleadas como adsorbentes en la EFS y por lo tanto, la retención de los analitos no se vería afectada.

Por otra parte, para el caso de las cenizas (Tabla 1) el resultado está influenciado por la presencia de impurezas de tipo mineral, como el calcio, contenido como sales de $CaCO_3$ o incluso la presencia de contaminantes metálicos (Hernández et al., 2009). En la Tabla 1 se aprecia que la quitosana mineralizada presenta el mayor porcentaje de cenizas (32.47 ± 1.59%) en comparación con las otras muestras. Esta diferencia se debe a que en el proceso para extraer la quitosana mineralizada con el sistema $CaCl_2$-MeOH-$H_2O$, parte del calcio contenido en el disolvente puede quedar como remanente del producto final.

**Tabla 1**. Caracterización química de diversas muestras de quitosana

| | **Muestras** | | |
|---|---|---|---|
| | **Quitosana mineralizada** | **Quitosana (Método convencional)** | **Quitosana comercial (Sigma Aldrich)** |
| Humedad | 2.79 ± 0.08 | 7.32 ± 0.65 | 6.43 ± 0.19 |
| Cenizas | 32.47 ± 1.59 | 4.95 ± 0.03 | 0.89 ± 0.01 |
| Carbono | 27.43 ± 0.01 | 39.38 ± 0.02 | 39.16 ± 2.67 |
| Hidrogeno | 4.05 ± 0.00 | 6.86 ± 0.00 | 6.99± 0.19 |
| Nitrógeno | 5.21 ± 0.00 | 7.60 ± 0 00 | 7.22 ± 0.07 |
| Azufre | 0.00 ± 0.00 | 0.01 ± 0.01 | 0.21 ± 0.06 |

Por su parte, la quitosana Sigma-Aldrich presentó menor contenido de minerales (0.89 ± 0.01%) en comparación con las demás muestras analizadas. Esta característica hace referencia tanto al grado de pureza como a la aplicación de tratamientos drásticos de ácidos y bases fuertes y, por lo tanto, el contenido de compuestos inorgánicos disminuye.

El porcentaje de nitrógeno presente en la quitosana comercial fue de 7.60 ± 0.00% (Tabla 1). La literatura indica que cuando este valor es mayor a 8.69% se debe a la presencia de proteínas, pero si es menor, se debe a la presencia de materiales inorgánicos (Kaya et al., 2015). La comparación de este valor con el de la quitosana mineralizada (5.21 ± 0.00%) muestra que el contenido de proteínas

disminuyó después del tratamiento con el disolvente y la aplicación de ultrasonido. Por lo tanto, se obtuvo un compuesto completamente desproteinizado y parcialmente desacetilado.

La presencia de minerales remanentes en la quitosana mineralizada se puede ver reflejada en los análisis de espectroscopía infrarroja, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido (Borja-Urzola et al., 2021). De acuerdo con los resultados de espectroscopía infrarroja (Figura 1) presentados a continuación, se puede observar una banda característica con definición a 870 $cm^{-1}$ indicando la presencia de carbonato de calcio para el caso de la quitosana mineralizada. En general, para las tres muestras evaluadas (Figuras 1 a 3, modificadas de Borja-Urzola et al., 2020) se pueden observar las bandas de los grupos funcionales característicos de la molécula de quitosana a 1650 $cm^{-1}$ correspondiente al grupo amino, las bandas de los grupos -OH a 3434$cm^{-1}$ y -N-H a 3269$cm^{-1}$, las bandas de grupo -C-H a 2898 cm-1, el grupo piranósico en 1070 $cm^{-1}$, y el grupo -C-O-C a 1014$cm^{-1}$.

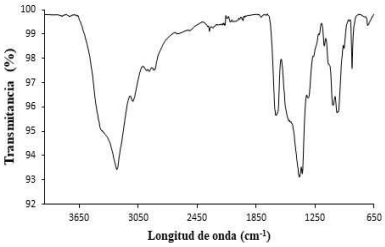



**Figura 1**. Espectro de FTIR de quitosana mineralizada (QM) (Borja-Urzola et al, 2020)

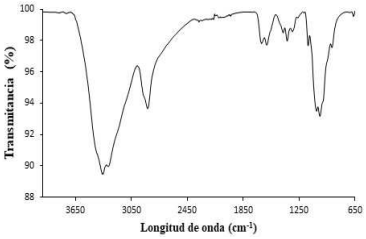



**Figura 2**. Espectro FTIR de quitosana obtenida por método convencional (QNaOH) (Borja-Urzola et al, 2020)

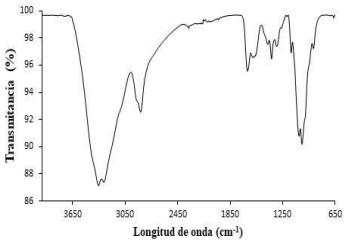



**Figura 3**. Espectro FTIR de quitosana comercial Sigma Aldrich (QS) (Borja-Urzola et al, 2020)

Una vez obtenidos los resultados de la espectroscopía infrarroja se pudo determinar mediante las Ecuaciones 2 y 3 el porcentaje de N-acetilación y N-desacetilación de las muestras de quitosana (Tabla 2). Las muestras presentaron porcentajes máximos y mínimos de N-desacetilación de 80.61% para la quitosana Sigma Aldrich y 80.22% para la quitosana mineralizada. De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró extraer quitosana (mineralizada y obtenida por método convencional) con un porcentaje de N-desacetilación superior al 40%. Además, las quitosanas extraídas presentaron porcentajes de N-desacetilación y N-acetilación similares a la muestra control Sigma Aldrich (El-Knidri et al., 2018; Escobar y Vergara, 2013; Hernández et al., 2009). Es importante señalar que el porcentaje de acetilación calculado por FTIR depende de las bandas de adsorción seleccionadas como la banda analítica y de referencia, por lo que este valor puede variar si se emplea otro método:

$$\frac{A_M}{A_R} = (0.3822 + 0.03133) * N - acetilación\ (\%) \qquad r = 0.99 \qquad (1)$$

$$N - acetilación\ (\%) = 31.92\left(\frac{A_M}{A_R}\right) - 12.20 \qquad (2)$$

$$N - desacetilación\ (\%) = 100 - N - acetilación\ (\%) \qquad (3)$$

donde $A_M$ es la intensidad de la banda característica o de prueba y $A_R$ es la intensidad de la banda de referencia.

**Tabla 2**. Determinación del grado de N-acetilación y N-desacetilación de las muestras de quitosana evaluadas

| Muestras | Grado de N-acetilación (%) | Grado de N-desacetilación (%) |
|---|---|---|
| Quitosana mineralizada | 19.78 | 80.22 |
| Quitosana método convencional | 19.55 | 80.45 |
| Quitosana (Sigma Aldrich) | 19.39 | 80.61 |

La comparación de los patrones de difracción de rayos X (Borja-Urzola et al., 2021) de la quitosana Sigma-Aldrich con la quitosana mineralizada, muestran picos característicos en 2θ=20° de mayor intensidad que el 2θ=10°, ambos son congruentes con los reportados para la quitosana en otras investigaciones (Yen et al., 2009). La intensidad de los picos de la quitosana mineralizada muestra la cristalinidad del biopolímero obtenido (Escobar y Vergara, 2013). Los picos en 2θ=30° hasta 50° corresponden a la presencia de minerales provenientes de la aplicación del sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$. La quitosana Sigma-Aldrich presentó un patrón de difracción similar a la quitosana obtenida por el método convencional (QNaOH). Esto se atribuye al incremento en el porcentaje de desacetilación de la QNaOH, además de poseer los picos característicos en 2θ=10° y en 2θ=20°. El método convencional permitió obtener quitosana con un mayor grado de pureza debido a la eliminación de proteínas y minerales con los procesos de desproteinización y desmineralización, respectivamente (Figura 4).

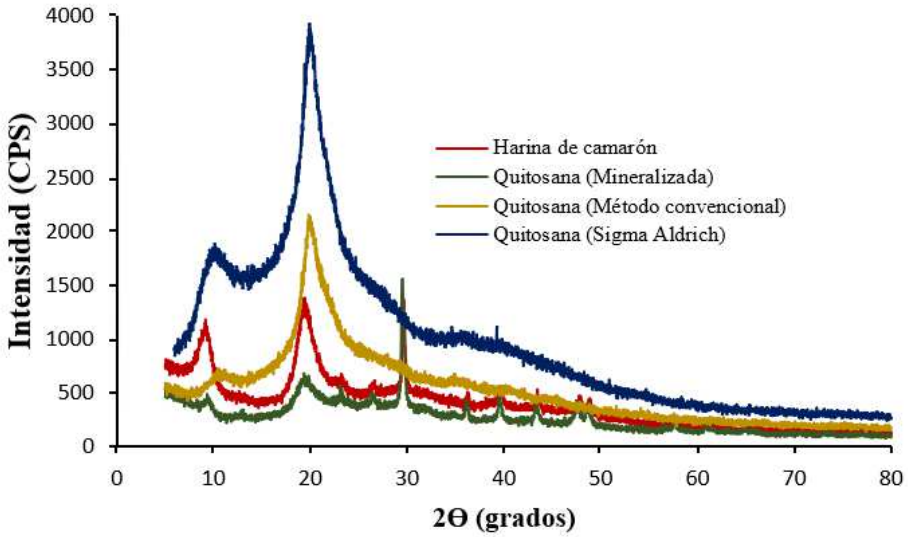



**Figura 4**. Difractogramas de harina de camarón, de la quitosana obtenida por método convencional (QNaOH), quitosana mineralizada (QM) y quitosana Sigma-Aldrich (QS)

Las micrografías electrónicas de barrido de los tres tipos de quitosana evaluadas a magnitudes de 100x y 5000x se presentan en la Figura 5. Las Figuras a y b, corresponden a las micrografías de la quitosana mineralizada. A una magnitud de 100x, la Figura 5a mostró formas de tamaño y distribución irregular con superficies ligeramente lisas. La Figura 5b presentó una superficie rugosa y globular con incrustaciones o aglomerados de partículas amorfas. De igual manera, se observaron poros irregulares en toda la superficie asociadas al carbonato de calcio ($CaCO_3$) residual obtenido al emplear el sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$. La quitosana elaborada por el método convencional presentó, partículas de tamaño y forma irregular con una superficie en su mayoría lisa o semicristalina. La quitosana de la Figura 5d tuvo una estructura rugosa, agrietada y microfibrilar con partículas porosas de diferentes tamaños. Para las Figuras correspondientes a la quitosana Sigma Aldrich, se observó una estructura heterogénea con aglomeración de partículas irregulares. También mostro una superficie microfibrilar, áspera y semi uniforme con copos amorfos incrustados de manera aleatoria en toda la superficie estudiada.

Los análisis elementales de espectroscopía de energía dispersa (Borja-Urzola et al., 2020) de las muestras de quitosana analizadas obtenidas de los espectros de rayos X producidos por el barrido de electrones en lugares puntuales de las micrografías. Para el caso de la quitosana obtenida por método convencional (Figura 6c, d) y la quitosana Sigma-Aldrich (Figura 6e, f) no se encontraron trazas de minerales, lo que le permite generar una estructura más lisa e impermeable. Para ambos casos se puede asegurar un adecuado proceso de desmineralización. En ellos, se grafica el número (conteo) de

rayos X recibidos y procesados por el detector en función de la energía de los niveles atómicos de los elementos detectados.

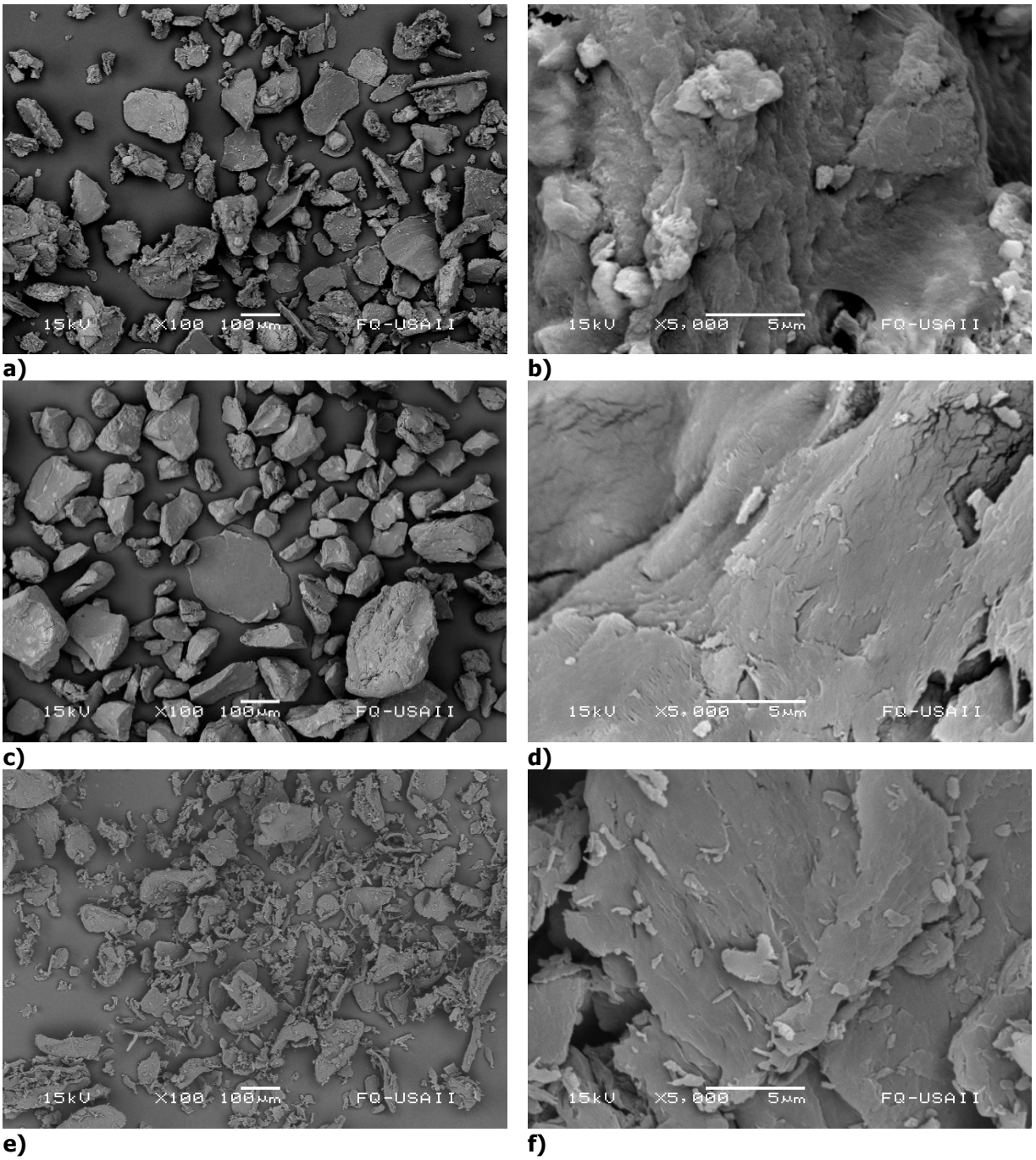



**Figura 5**. Microscopía electrónica de barrido (SEM, en inglés): a), b) Quitosana mineralizada a 100x y 5000x, respectivamente; c), d) Quitosana obtenida por método convencional a 100x y 5000x, respectivamente; e), f) Quitosana Sigma Aldrich convencional a 100x y 5000x, respectivamente

De acuerdo con lo expuesto en la Figura 5 y lo observado en la Figura 6 se puede confirmar para la quitosana mineralizada (Figura 6a, b) la presencia de calcio en su forma de ion $Ca^{2+}$. Por otro lado, la

identificación de carbono y oxígeno en la estructura podría favorecer la formación del anión $CO_3^{2-}$ y a su vez, generar carbonato de calcio ($CaCO_3$).

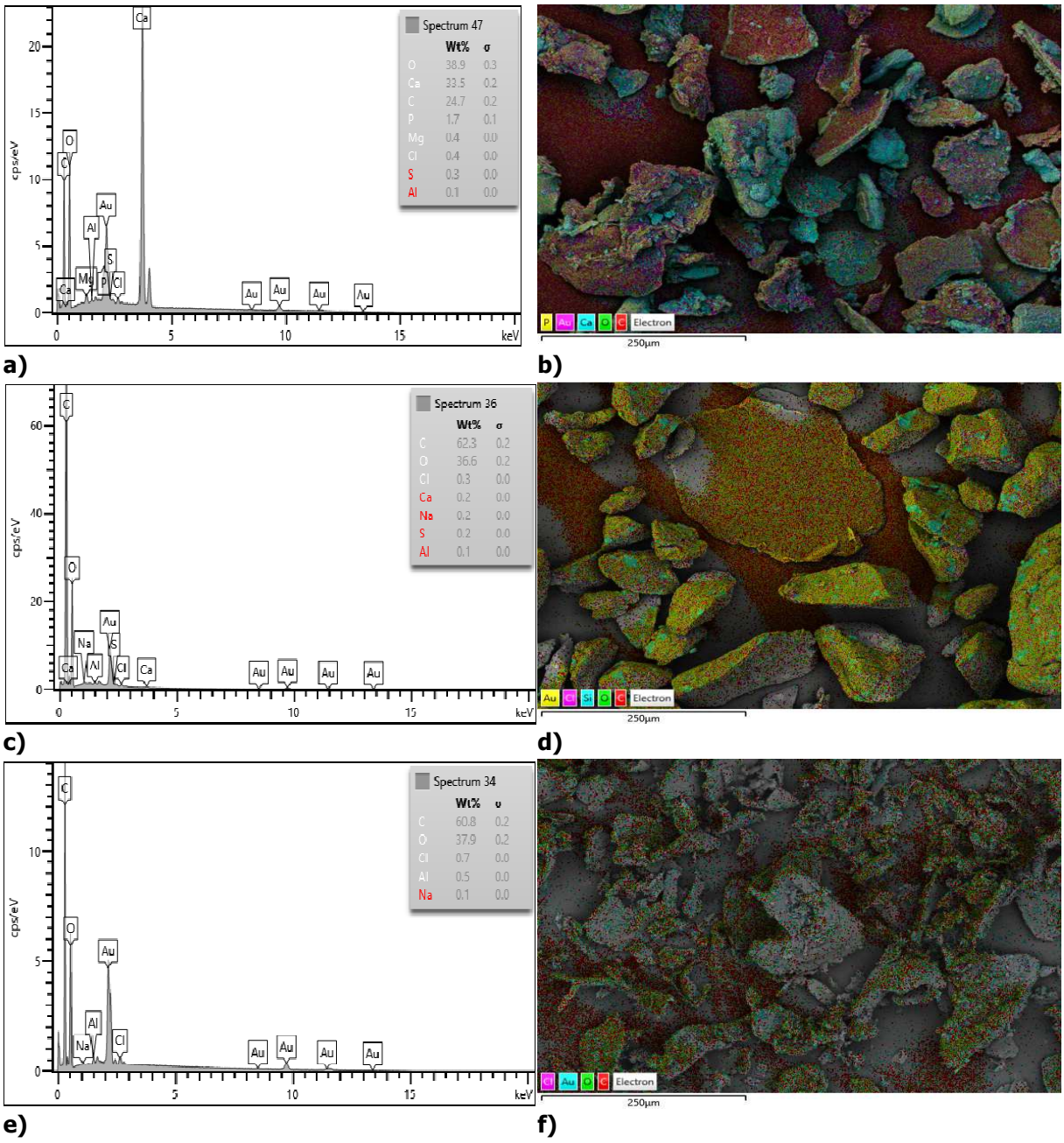



**Figura 6**. Espectroscopía de energía dispersa (*EDS*, en inglés). a), b) Espectros de quitosana mineralizada; c), d) Quitosana obtenida por método convencional; e), f) Quitosana Sigma Aldrich

La mineralización o formación de carbonato de calcio en la estructura puede atribuirse a la nucleación cinética y termodinámica generada a partir de la interacción entre la quitosana producida y el alto contenido de calcio en el disolvente (Rojas, 2008). La estructura rugosa y porosa de la quitosana mineralizada podría considerarse favorable para el uso de la quitosana como adsorbente en la

extracción en fase sólida, pues, confiere permeabilidad a la estructura y permite un mejor fluido de la muestra a través del cartucho.

**Optimización del proceso de extracción en fase sólida de la metribuzina, prometrina y terbutilazina**

**Efecto de la saturación de la matriz**

Se calculó el porcentaje de recuperación de los plaguicidas (Ecuación 4) como indicador de la eficiencia de proceso de extracción. Al saturar la muestra con NaCl (Figura 7), se incrementó la capacidad de adsorción de los analitos en el adsorbente de quitosana mineralizada.

$$\%\ de\ recuperación\ (\%R) = \frac{Área\ obtenida}{Área\ esperada} * 100 \qquad (4)$$

Para los tres plaguicidas analizados se obtuvo la misma tendencia. Cuando la matriz no se saturó con NaCl los porcentajes de recuperación fueron menores al 0.5%, indicando que los plaguicidas no formaron interacciones químicas con el adsorbente. Esto se debe a que los sitios activos de la quitosana (-$NH_2$ y -OH) formaron enlaces de hidrógeno con el agua impidiendo la retención de los analitos en el adsorbente contenido en la columna de extracción.

La influencia de la saturación mostró que al agregar 20 y 40% de NaCl se incrementa de forma significativa el porcentaje de recuperación de la metribuzina, terbutilazina y prometrina. Esto se debe a que las moléculas de agua solvatan a los iones de la sal y, por lo tanto, se reduce la capacidad del agua de formar puentes de hidrógeno con otros grupos OH; lo que se manifiesta en el aumento de la transferencia de los analitos de la matriz al adsorbente (Kharbouche et al., 2019).

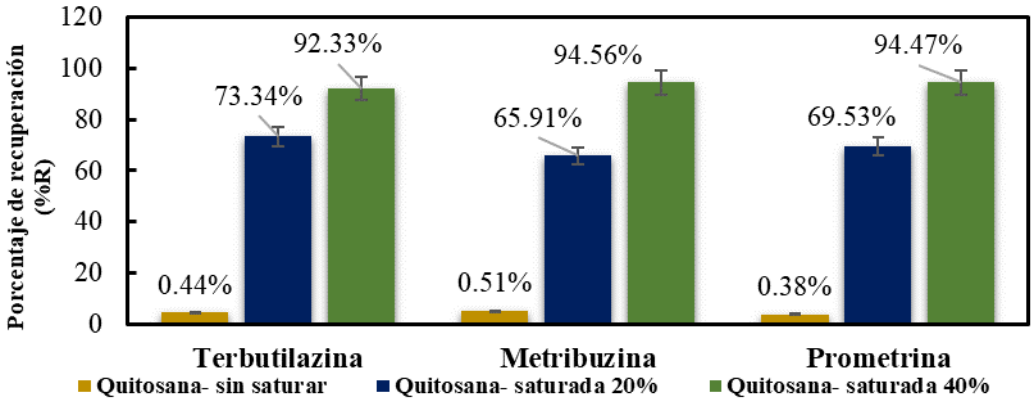
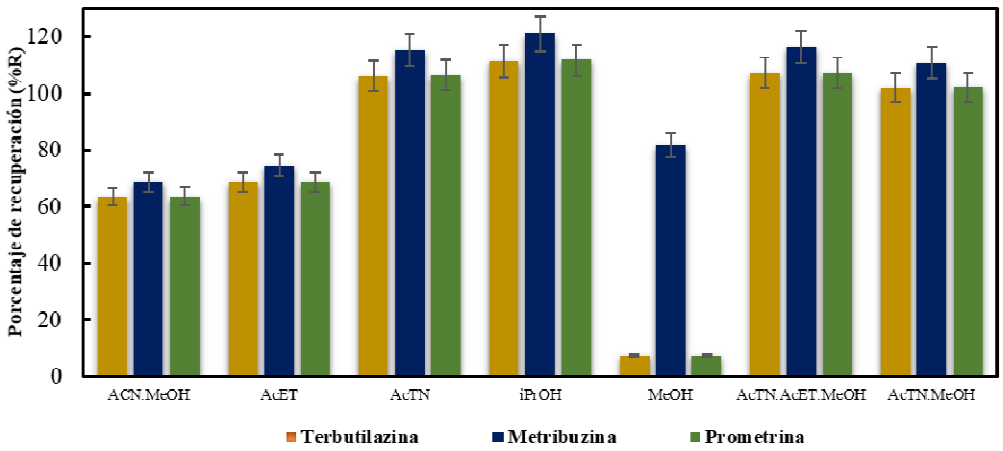



**Figura 7**. Efecto de la saturación del agua de las mezclas de plaguicidas con NaCl

**Efecto del disolvente de elución (tipo y volumen)**

Estos disolventes fueron evaluados de forma separada (Figura 8) y los resultados mostraron que los disolventes con mayor porcentaje de recuperación para los tres plaguicidas fueron el isopropanol, la acetona y el acetonitrilo. Por otro lado, el metanol presentó mejores porcentajes de recuperación para la metribuzina, mientras que para la prometrina y terbutilazina el porcentaje de recuperación fue del 10%. Para el caso de la metribuzina, la interacción quitosana-plaguicida fue a través de enlaces de hidrógeno entre el grupo amino libre y carboxilo presente en la estructura de la metribuzina y los grupos hidroxilos y aminos de la quitosana. Por esta razón, debido a la naturaleza química del metanol, que es un disolvente altamente polar, este fue capaz de romper la interacción adsorbente-analito, al formar puentes de hidrógeno con la metribuzina.




*ACN: Acetonitrilo, MeOH: Metanol, AcET: Acetato de etilo, iPrOH: isopropanol y AcTN: acetona

**Figura 8**. Efecto del tipo de disolvente en la elución de los analitos

Las interacciones que predominaron en el caso de la prometrina y terbutilazina fueron interacciones polares débiles como las interacciones hidrofílicas o dipolo-dipolo y debido a esto, estos analitos no lograron ser eluidos con el metanol, pero se eluyeron con disolventes de mediana polaridad como el isopropanol o con los disolventes apróticos como la acetona, acetato de etilo y acetonitrilo que fueron incapaces de interaccionar a través de la formación de puentes de hidrógeno. Por esto, se seleccionó una mezcla de acetona:metanol en proporciones 80:20 para la elución de los compuestos una vez retenidos. El volumen de elución (Figura 9) del disolvente seleccionado (acetona:metanol, 80:20, v/v) se estudió entre un rango de 2 a 10 mL. Los resultados obtenidos mostraron que el volumen de 6 mL de la mezcla acetona:metanol permitió la elución completa de los plaguicidas del adsorbente. Es importante mencionar que, a partir de este volumen, la respuesta de los compuestos fue nula lo que significa que las triazinas, se eluyeron en su totalidad.

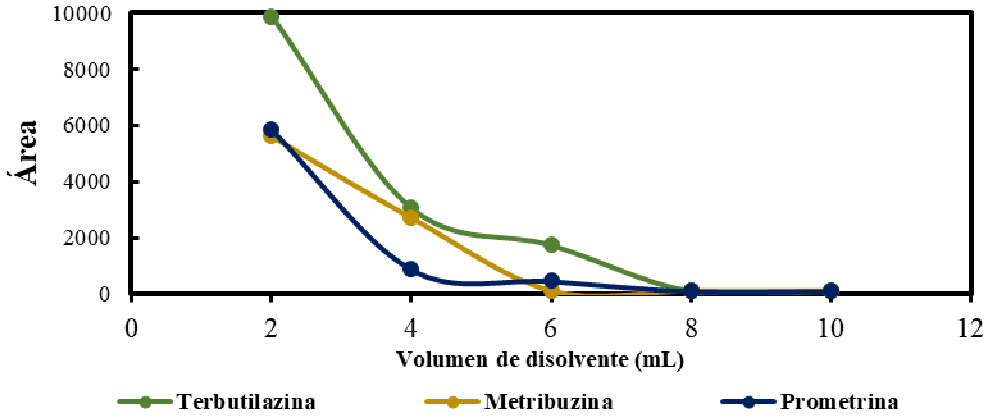



**Figura 9**. Efecto del volumen de disolvente

**Efecto de la cantidad de adsorbente**

Debido a que la cantidad de adsorbente es un parámetro de gran importancia para lograr buenos porcentajes de recuperación en la EFS, se evaluó la cantidad óptima de adsorbente en los cartuchos. Estos fueron empacados con 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg de la quitosana mineralizada en los cuales, se hizo pasar una solución de 50 µg (Figura 10). El efecto de la cantidad de quitosana mineralizada (Figura 10) como adsorbente empacado en cartuchos de EFS mostró que al incrementar

la cantidad de adsorbente se incrementó el porcentaje de recuperación para los tres plaguicidas. Lo anterior se debió a que la capacidad de adsorción se incrementó a medida que aumentaba la cantidad de adsorbente. De esta manera, se obtuvo una mayor disponibilidad de sitios activos en la fase sólida para que se produjera la retención de los compuestos.

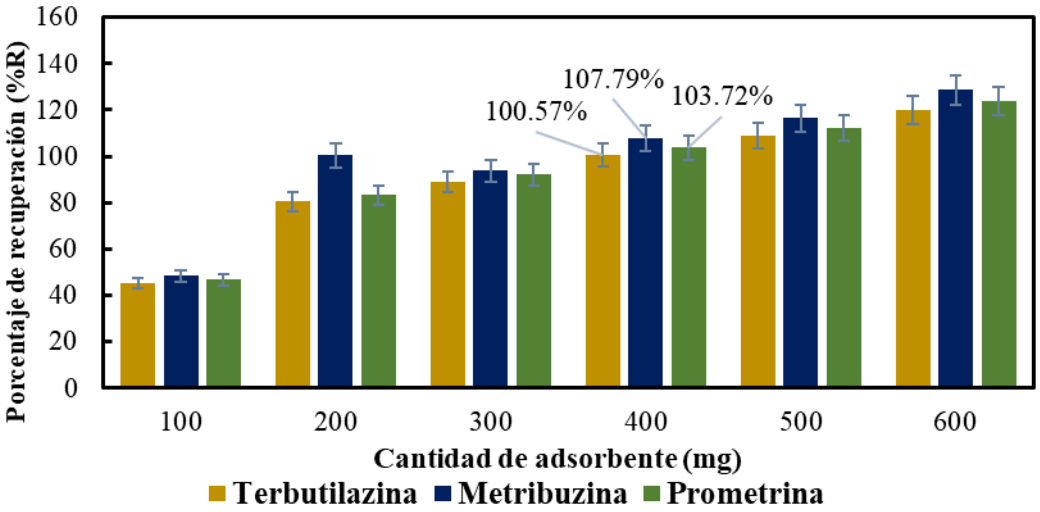



**Figura 10**. Porcentaje de recuperación debida a la variación en la cantidad de adsorbente

A partir de los cartuchos de 400 mg los porcentajes de recuperación resultaron mayores que el 100% (por cuestiones analíticas y de cálculos). Debido a los altos porcentajes de recuperación, se decidió trabajar con cartuchos de 500 mg ya que con esta cantidad es necesario emplear los 6 mL de la mezcla acetona:metanol para eluir a los analitos en su totalidad y es la cantidad de adsorbente promedio que los cartuchos comerciales emplean para extracción en fase sólida

**Comparación de la adsorbente quitosana mineralizada con cartuchos comerciales $C_{18}$ y OASIS HLB**

Algunas de las características de los cartuchos para EFS de la marca HLB Oasis ® fueron las siguientes: "El adsorbente es un polímero muy hidrofílico, humectable con agua, posee equilibrio hidrofílico-lipofílico único, mantiene capacidad de retención elevada incluso si se seca después del acondicionamiento. Este adsorbente de fase reversa es ideal para analitos neutros o básicos" (como es el plaguicida prometrina) "y ácidos" (como la metribuzina) (Waters, 2020).

El cartucho $C_{18}$ CHROMABOND ® (f= flujo rápido) posee las siguientes características: "Es de material elaborado con sílice ligado a octadecilo, con contenido de carbono del 14%. Proporciona interacciones hidrofóbicas y no polares con una amplia variedad de compuestos orgánicos. Es útil para la limpieza de muestras con grandes variaciones estructurales" (diferencias de polaridad) (Waters, 2020).

Las características mencionadas muestran que los cartuchos comerciales HLB Oasis® y C18 CHROMABOND® son útiles para la EFS de la metribuzina, prometrina y terbutilazina. Con lo anterior se logró hacer la comparación con los cartuchos elaborados a base de quitosana mineralizada.

El porcentaje de retención es del 100% para los tres tipos diferentes de adsorbentes (Figura 11.0). Esto demuestra que la quitosana mineralizada obtenida de forma ecológica puede ser utilizada como fase sólida en las columnas de EFS, y que los resultados finales de la extracción e identificación son comparables con los cartuchos comerciales.

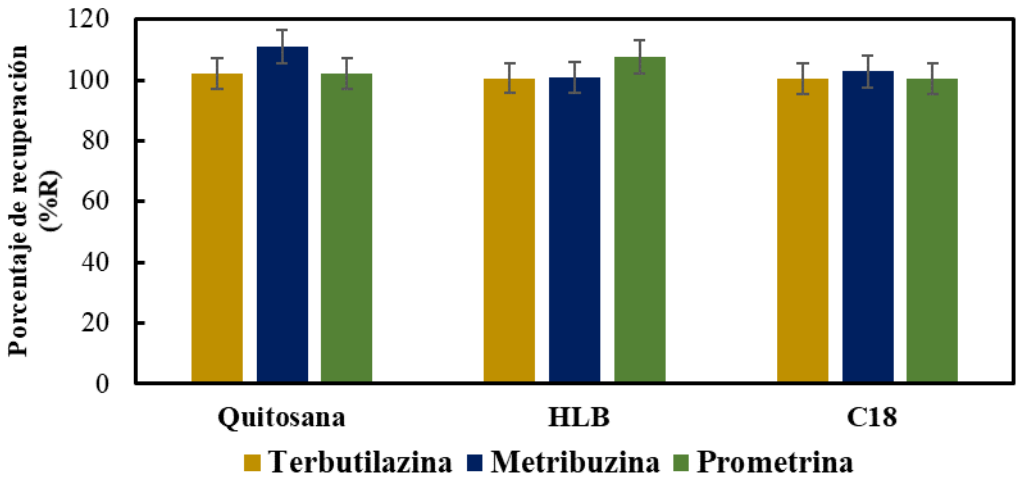



**Figura 11**. Comparación de la SPE con quitosana obtenida con el sistema MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$ y cartuchos comerciales (HLB y $C_{18}$)

## CONCLUSIONES

Fue posible la obtención de quitosana mineralizada a partir de los residuos de camarón café (*Farfantepenaeus aztecus*) al utilizar el sistema $CaCl_2$-MeOH-H2O, ultrasonido y agitación.

En comparación con las propiedades químicas y físicas de la quitosana Sigma-Aldrich usada como control y la quitosana obtenida con el método químico convencional, la quitosana mineralizada presentó propiedades diferentes. Por ejemplo, contiene minerales, carbonato de calcio y una superficie porosa. Por tanto, el disolvente patentado por la UNAM (MAC-141©) como acrónimo de la mezla molar 1:4:1 de MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$, además de ser utilizado en la obtención de quitina, también puede ser utilizado junto con la agitación y el ultrasonido para inducir la reacción de desacetilación y obtener quitosana con un porcentaje de desacetilación superior al 40% (Borja-Urzola *et al.,* 2020, 2021)

La quitosana mineralizada, debido a su permeabilidad, fue aplicada de manera satisfactoria como adsorbente en la extracción en fase sólida para aislar, preconcentrar y cuantificar metribuzina, terbutilazina y prometrina desde el agua. Debido a la alta polaridad del agua y a la polaridad de la quitosana, la aplicación se logró gracias a la saturación de las muestras con NaCl. Obteniéndose mejores porcentajes de recuperación al saturar la muestra al 40%.

La quitosana mineralizada tiene potencial para ser utilizada como adsorbente de bajo costo en procesos de preparación de muestras previos al análisis cromatográfico.

## GLOSARIO

| | |
|---|---|
| AcET | Acetato de etilo |
| ACN | Acetonitrilo |
| AcTN | Acetona |
| *AOAC* | Asociación de Químicos Analíticos Estadounidenses por sus siglas en inglés, *Association of Official Analytical Chemists* |
| $C_{18}$ | Fase adsorbente de octadecilo ligado a sílice |
| C N H S | Carbono, Nitrógeno, Hidrógeno y Azufre |
| DRX | Difracción de Rayos X |

| | |
|---|---|
| *EDS* | Espectroscopía de energía dispersa o dispersión de energía de rayos X por sus siglas en inglés, *energy dispersive spectroscopy* |
| EFS | Extracción en fase sólida (*SPE* por sus siglas en inglés: s*olid phase extraction*) |
| *FTIR* | Espectroscopía infrarroja por sus siglas en inglés, *Fourier-transform infrared spectroscopy* |
| iPOH | Isopropanol |
| MeOH | Metanol |
| *OASIS HLB* | Fase adsorbente de polidivinilbenceno-N-vinilpirrolidona |
| QM | Quitosana mineralizada |
| QNaOH | Quitosana obtenida por método convencional |
| QS | Quitosana Sigma Aldrich |
| *SEM* | Microscopía electrónica de barrido por sus siglas en inglés, s*canning electron microscopy* |
| SISTEMA MeOH-$H_2O$-$CaCl_2$ © | Disolvente elaborado con Metanol, Agua y Cloruro de calcio en proporciones molares 1:4:1, respectivamente, conocido como MAC-141© (Flores-Ortega et al., 2004) |

## RECONOCIMIENTOS

Las autoras agradecen el apoyo colegiado de la Dra. Marisela Bernal-González y del M. en C. Rolando Salvador García-Gómez a lo largo de esta investigación. Asimismo, la tercera autora agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la beca de posgrado otorgada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akdogan, A., Divrikli, U., Elci, L. 2013. Determination of triazine herbicides and metabolites by solid phase extraction with HPLC analysis. Anaytical Letters. 46(15): 2464-2477.

Borja-Urzola, A.d.C., García-Gómez, R.S., Bernal-González, M., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2021. Chitosan-calcite from shrimp residues: A low-cost adsorbent for three triazines removal from aqueous media. Materials Today Communications. Available online 14 February 2021, 102131. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102131

Borja-Urzola, A.d.C., García-Gómez, R.S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2020. Chitosan from shrimp residues with a saturated solution of calcium chloride in methanol and water. Carbohydrate Research. 497 108116. https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108116.

Conislla-Bello, J., Jacinto, C., Maza, I., Jahuira, M., Pando, A., Mayta, H., Valderrama, A. 2016. Desarrollo de micropartículas de "quitosano" cuaternizado y entrecruzado para la adsorción de ácido desoxirribonucleico (ADN). Revista Social Química de Perú. 82(4): 467-479.

El-Knidri, H. Belaabed, R., Addaou, A., Laajeb, A., Lahsini, A. 2018. Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan. International Journal of Biological Macromolecules. 120(1): 1181-1189.

Escobar, P., Vergara, A. 2013. Determining the relation between the proportion of the amino group and the degree of deacetylation of chitosan. Revista de Ciencias. 18(1): 73-88.

Flores-Ortega, R. 2008. Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax de camarón. Tesis de doctorado en Ciencias. UNAM, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Ciudad de México. México.

Flores-Ortega, R.A., Barrera-Rodríguez, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2004. Extracción ecológica de quitina y subproductos. Patente Núm. 264482. Otorgada el 12 de febrero de 2009. Solicitud de Registro: Octubre 1, 2004. UNAM, Facultad de Química. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. PA/a/2004/009517. Ciudad de México, México.

Gutiérrez, M. 2005. Urgencias toxicológicas. Capítulo 1, Triazinas. CIATOX. (En línea) Disponible en: http://www.encolombia.com/medicina/Urgenciastoxicologicas/Triazinas.htm

Hernández, H., Águila, E., Flores, O., Agustín, E., Viveros, E., Ramos, E. 2009. Obtención y caracterización de 'quitosano' a partir de exoesqueletos de camarón. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. 22(3): 57-60.

Horwitz, W. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. Maryland: AOAC International (En línea) Disponible en: https://www.waters.com/waters/es_ES/Waters-Oasis-Sample-Extraction-SPE

Kaya, M., Baran, T., Asan-Ozusaglam, Y., Tozak, O., Abbas-Mol, A., Mentes, A. 2015. Extraction and characterization of chitin and chitosan with antimicrobial and antioxidant activities from cosmopolitan Orthoptera species (Insecta). Biotechnology and Bioprocess Engineering. 20(1): 168-179.

Kharbouche, L., Gil-García, M.D., Lozano, A., Hamaizi, H., Galera, M.M. 2019. Solid pase extraction of pesticides from environmental waters using an MSU-1 mesoporous material and determination by UPLC-MS/MS. Talanta. 199(1): 612-619.

Malafaya, P., Silva, G., Reis, R.L. 2007. Natural-origin polymers as carriers and scaffolds for biomolecules and cell delivery in tissue engineering applications. Advanced Drug Delivery Reviews. 59(1): 207-233.

Morales, Y., Miranda, L., Bernardo, M. 2014. Neurotoxicidad de los plaguicidas como agentes disruptores endocrinos: Una revisión. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. 45(2): 5-12.

Nielsen, S. 2009. Fat Analysis. En: Food Analysis. Ed. Springer Science. Pp. 117-133. New York, Estados Unidos.
Nollet, L. 2004. Determination of moisture and ash contents of foods. Ed. Handbook of food analysis. Pp. 55-83. New York, Estados Unidos.
Rojas, J. 2008. Estudio de la mineralización de carbonato de calcio usando como matriz 'quitosano' y mezclas de 'quitosano' con polímeros sintéticos hidrosolubles. Tesis de Licenciatura en Químico. Universidad de Chile, Departamento de Química Orgánica y Fisicoquímica. Santiago. Chile.
Waters. 2020. Productos Oasis para extracción de muestras. (En línea). Disponible en: http://www.waters.com/waters/nav.htm?locale=103&cid=513209
Yen, M-T., Yang, J.-H., Mau, J.-L. 2009. Physicochemical characterization of chitin and chitosan from crab shells. Carbohydrate Polymers. 75(1): 15-21.

# Entre salones y ferrocarriles: Un acercamiento al piano del México porfiriano como instrumento educativo y objeto de importación

## *Family rooms and railways: An approach at piano's use in Mexican 'porfiriato'[4], as an educational tool and as an import item*

**Bernardo Jiménez-Casillas***

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Facultad de Música, Programa de Doctorado en Música (Musicología). Correo-e (*e-mail*): bechstein7_7@hotmail.com

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

Recibido: Abril 10, 2021

Aceptado: Mayo 15, 2021

**Resumen**

El piano, en su andar entre las familias mexicanas acaudaladas de finales del siglo XIX y principios del XX, ha dejado tras de sí una serie de significados que trascienden la esfera puramente musical. Eslabón entre diversas actividades sociales y culturales de la época, con el paso del tiempo este instrumento cedió su condición sonora para convertirse en documento indispensable, en fuente insustituible de todo estudio sobre la vida cotidiana de las clases acomodadas mexicanas de aquella época. Dos de estos significados se abordarán en el presente artículo: La de ser un instrumento idóneo en la educación de toda señorita de alcurnia y la de ser un bien cultural cuya importación de los Estados Unidos se vio ampliamente favorecida por los sistemas ferroviarios inaugurados por el régimen porfirista. Las fuentes primarias que se han utilizado para abordar ambas significaciones provienen de la literatura costumbrista mexicana, de diversos documentos de carácter económico emitidos por instituciones de México y su vecino país del norte y de una selecta compilación de anuncios de pianos estadounidenses que entonces circularon por territorio mexicano. Cabe señalar que, a diferencia de su estudio como instrumento educativo, la musicología mexicana no solamente apenas se ha interesado por el examen del piano en cuanto objeto comercial, sino que el análisis pertinente siempre ha sido en relación con el mercado trasatlántico. Debido a ello, la investigación realizada eneste artículo sobre las importaciones de pianos desde los Estados Unidos podría considerarse pionera en la materia.

**Palabras clave:** Piano, porfiriato, educación femenina, comercio de pianos, Estados Unidos

***Abstract***

*The piano, in its route through wealthy Mexican families from late 19th Century to the early 20th, has left a trail of important historic indicators which transcend the purely musical. It turned into a link between multiple social and cultural activities. Meanwhile, this instrument transcended its sound properties to become an essential document, an irreplaceable source for studying the daily lives of wealthy Mexican families of the time. The present article will expand two of the many qualities: The piano as an ideal tool for every young high-class miss' education; and the piano as an economic resource being transported from the United States to Mexico, via the railway system in the* porfiriato *(1876-1911). The primary sources that were used in supporting said piano traits come from Mexican literary* costumbrismo*, multiple documents gathering trade and price information between theUnited States and Mexico, and a special compilation of printed American piano advertisements which was spread throughout the Mexican territory. It is also important to recognize the fact that Mexican musicology has not given enough attention to piano as a source of commercial trade, while it has been busy analyzing transatlantic sales almost exclusively. This is why the research in this article about U.S. piano importation may be considered the first approach.*

***Keywords:*** *Piano, 'porfiriato', women's education, piano trade, United States*

4 *Porfiriato. The* ***Porfiriato*** *is a term given to the period when General Porfirio Díaz ruled Mexico as president in the late 19th and early 20th centuries, coined by Mexican historian Daniel Cosío Villegas*/ El Porfiriato es el nombre dado al lapso en que el general Porfirio Díaz gobernó a México como Presidente desde fines del siglo XIX y principios del siglo XX (Daniel Cosío Villegas)

## Introducción

En septiembre de 1880, pocos meses antes de que finalizara su primer mandato presidencial, Porfirio Díaz dio un giro radical a la política ferroviaria de su régimen. Hasta ese entonces, el plan porfirista se cimentaba en la conjunción de recursos de los estados de la federación y de los capitales locales, a los cuales el Estado les otorgaba subvenciones. Los lentos y moderados resultados obtenidos mediante esta política hicieron prever que dicha estrategia ferroviaria, lejos de fomentar una sólida red de comunicación nacional, a lo sumo proporcionaría una serie aislada de entramados regionales. De allí que se optara por un cambio de dirección: El nuevo proyecto —que sería seña de identidad del gobierno de Manuel González (1880-1884)— estaría orientado hacia la apuesta por una inversión extranjera no exenta de fuertes subsidios federales (Kuntz-Ficker, 1994).

Los Estados Unidos[5] (EE. UU.) vieron en esta política una oportunidad inmejorable para expandir su red ferroviaria —y con ella, los límites de su mercado capitalista— hacia territorio mexicano, por lo que no tardaron en convertirse en el principal inversionista de la nueva política de Díaz. Fue tal su empeño que, aún antes de iniciar la presidencia de González, a dos compañías estadounidenses se les otorgarían las concesiones para la construcción tanto del Ferrocarril Central Mexicano como del Ferrocarril Nacional Mexicano[6]. Evidentemente, las redes ferrocarrileras favorecieron los intercambios comerciales entre ambos países norteamericanos, como lo demuestra el hecho de que ya para 1894 los mexicanos se convirtieron en los mayores consumidores latinoamericanos de productos estadunidenses (Rodríguez-Centeno, 1996).

A decir verdad, esta situación no hubiera sido posible sin la bonanza económica que México disfrutó durante el porfiriato. Para dar una idea de la entonces privilegiada situación del país se ha de mencionar que, entre 1875 y 1910, el Producto Interno Bruto real *per capita* de los Estados Unidos creció a razón de 2% anual, con lo cual rebasó y superó al Reino Unido —cuya tasa de crecimiento durante este periodo fue de tan solo 0.9%— como líder industrial del mundo. Durante este periodo, México creció a un ritmo incluso un poco más acelerado con respecto a su vecino del norte, con una tasa de crecimiento del 2.1% anual (Kehoe y Meza, 2013).

Esta prosperidad hizo emerger, entre las clases acomodadas de México, una cultura del consumo que pronto se identificaría con los valores de una supuesta modernidad: Los patrones consumistas no sólo subrayaron "la pertenencia a determinado estrato social", sino que revelaron, sobre todo, "el aprecio a ciertos bienes materiales y a un estilo de vida en el que el progreso y el bienestar"—valores ambos asociados con el entonces imperante positivismo— eran fundamentales (Ortiz-Gaitán, 2013).

Así pues, la cultura del consumo reflejó la idea que de sí mismas tenían las capas acomodadas del porfiriato, a saber: Su propia consideración como "grupos progresistas que veían en la modernización del país un impulso de carácter nacionalista", lo cual no les impedía declararse "partidarios de adelantos tecnológicos, aparatos, gustos, modas, hábitos y costumbres fuertemente influenciados por modelos culturales europeos y estadounidenses" (Ortiz-Gaitán, 2013). Podría decirse, entonces, que el cosmopolitismo formó parte de la modernidad a la que todo burgués mexicano aspiraba en el umbral del siglo XX.

5 El gentilicio para este país, Estados Unidos, es estadounidense y no 'norteamericano' ya que los canadienses y los mexicanos también son norteamericanos [nota de los(as) editores(as)]

6 En esos años, la expansión ferrocarrilera de los EE. UU. por suelo mexicano no se limitaría a estas dos compañías, pues otras tantas empresas estadounidenses lograrían conectar sus vías con diversas estaciones ferroviarias ubicadas en la frontera mexicana: "… el *Southern Pacific* llegó a El Paso en 1881; el *Atchison Topeka and Santa Fe* enlazó con el anterior en Deming, en 1881, y llegó a Nogales en 1882; el *Texas and Pacific* enlazó con el *Southern Pacific* en 1882; el *International and Great Northern* llegó a Laredo en 1881; y el *Galveston, Houston and San Antonio* llegó a Eagle Pass en 1883" (García-de Fuentes, 1987)

## El piano: Alegoría de la virtud femenina y de la opulencia

Una de las manifestaciones más evidentes de esta pretensión internacionalista —tal y como puede apreciarse en la historiografía musical que trata sobre las prácticas socio-culturales propias de las élites porfirianas— fue el gusto por la interpretación y escucha de obras para piano, las cuales se encontraban adscritas, en su amplia mayoría, a la estética del romanticismo musical europeo.[7] Ahora bien, se ha de aclarar que estas actividades musicales no posicionaron, sino que reafirmaron al piano como indispensable bien cultural de la vida familiar y social, pues desde hacía décadas que este instrumento fascinaba a las clases acaudaladas.

La literatura costumbrista da cuenta de que, al menos para el segundo tercio del siglo XIX, el piano ya era un instrumento habitual entre las élites mexicanas. Así, por ejemplo, Madame Calderón de la Barca (1804-1882) en su obra *La vida en México* (1843), dejó constancia de que en cualquier "lugar de México, de la ciudad o la provincia, [había] un piano en cada casa" (Calderón de la Barca, 1959). Si bien la aceptación literal de esta afirmación es sin duda alguna exagerada, revela en cambio que ya para aquel entonces dicho instrumento era bastante popular al menos entre la alta sociedad, a cuyos integrantes frecuentaba la autora (Figura 1).

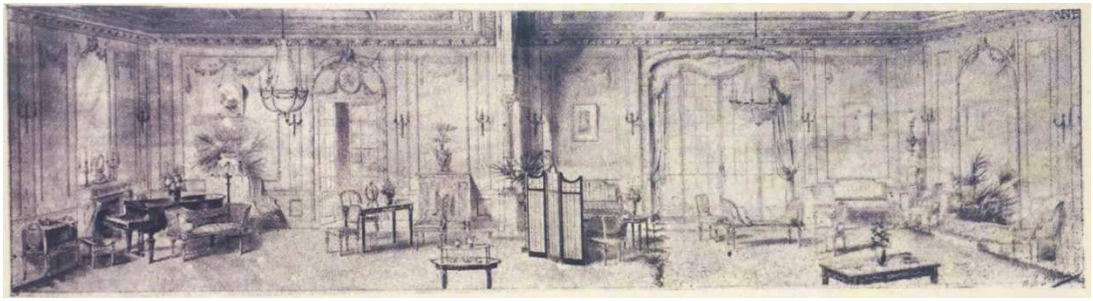


**Figura 1.** Interior de una casa burguesa de finales del siglo XIX, en la cual puede apreciarse la existencia de un piano -extremo izquierdo de la imagen- (Matabuena-Peláez et al., 2016)

Esta literatura también ha legado descripciones sobre el lugar privilegiado que ocupaba el piano en la casa de una familia pudiente. En este sentido, Manuel Payno (1810-1894) en *Los bandidos de Río Frío* (1891-1893), dice lo siguiente:

> *… el gran salón era el que reunía invariablemente los jueves a la familia y a los amigos. Era la pieza más grande y también la más curiosa de la casa.Dos grandes balcones a la calle, dos puertas a los costados que comunicaban a las recámaras y dos enfrente de los balcones, que conducían al interior de la habitación, y esas seis puertas con grandes cortinas de damasco franjeadas de galón amarillo, del corte y hechura de las cortinas de iglesia.[…] Entre los dos balcones, un piano o forte piano, como se le llamaba entonces; es decir un instrumento tan bueno como podía encontrarse en México y en Europa (Payno, 2011).*

Las reuniones sociales en los salones de las casas burguesas, a las que Payno hace referencia, fueron una de las formas de socialización más importantes a lo largo de todo el siglo XIX, pues propiciaban "la oportunidad ideal para comentar los recientes acontecimientos, intercambiar recetas, ponerse al día con las obras de teatro u óperas [y] organizar bailes"; así mismo, constituía para los jóvenes "la ocasión esperada para encontrarse con los pretendientes" (Pérez-Salas, 2005). Por supuesto, en estas

7 Un ejemplo historiográfico de dichas prácticas socio-culturales sería el artículo de Ricardo Miranda titulado *A tocar señoritas: Una mirada al repertorio mexicano para piano durante el siglo XIX* (2000), el cual será citado varias veces en este apartado. Vale la pena señalar que las obras para canto con acompañamiento de piano también fueron recurrentes dentro de estas prácticas, siendo las piezas pertenecientes a la tradición operística italiana decimonónica las más requeridas por el gusto de las élites

tertulias se pedía a las jóvenes que hicieran lucimiento de sus habilidades en el piano, actividad que realizaban mientras "los caballeros respetuosamente escuchaban atentos los progresos musicales de las bellas asistentes" (*Idem*) (Figura 2).

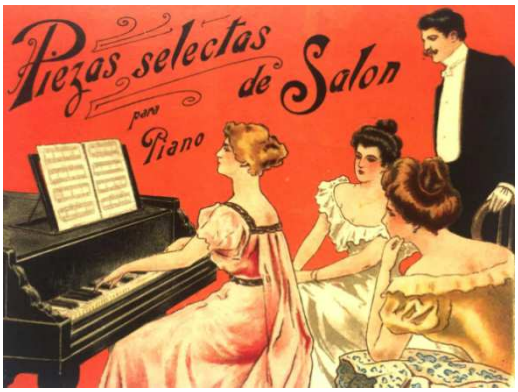



**Figura 2.** Detalle de la portada de una partitura de principios del siglo XX integrada por obras para piano correspondientes al género "de salón". En esta imagen puede apreciarse uno de los roles sociales establecidos para los participantes de una tertulia de la época (Matabuena-Peláez et al., 2016)

Tanto este tipo de actividad femenina como su correspondiente recepción masculina también fueron recogidas por diversas obras literarias costumbristas, tales como *Clemencia* (1868) de Ignacio Manuel Altamirano (1834-1893), en la que se puede leer:

> *Isabel, ya repuesta y con semblante risueño y ruboroso, acompañada también de Flores, obedeció a su amiga y fue a buscar en el aparador un libro ricamente encuadernado […] Era una colección de melodías alemanas. Isabel eligió una muy a propósito para interpretar el estado de su corazón. Era una de esas piezas en que la ternura y la melancolía están unidas a las más difíciles combinaciones de la ciencia musical. Enrique estaba conmovido y admirado. Isabel realmente era una artista, y una artista que habría brillado en el salón más aristocrático de Europa. […] Enrique se entusiasmaba gradualmente y manifestaba de mil modos su admiración. Isabel, tocando, se había transformado de la niña tímida y dulce que era, en un ángel seductor e irresistible (Altamirano, 2013).*

Vale la pena detenerse un momento en este fenómeno social, pues es clara expresión de la educación propia de la época. Durante todo el siglo XIX el cultivo del piano se insertó dentro de un modelo de enseñanza que, como afirma Miranda, era casi en exclusiva un asunto femenino:

> *… eran [las mujeres] quienes tomaban clases y quienes, llegado el día de la tertulia, hacían alarde de sus avances musicales. Para ellas estaba destinado un repertorio que no buscaba explayarse en avances técnicos ni en novedad alguna, sino simplemente ofrecer una página de música que favoreciera el efímero deleite de una tarde de tertulia (Miranda, 2000).*

El orden sociocultural del siglo XIX dictaba que el aprendizaje del piano debía formar parte de la educación de toda mujer de alcurnia; y es que al arte musical se le consideraba idóneo para desarrollar el sentido innato de lo bello, asociado entonces con lo femenino:

> *La Música es sin duda uno de los adornos más bellos que pueden acompañar la educación de una señorita. Ella refina y perfecciona aquella dulzura de genio, buen gusto y sensibilidad que la caracteriza y que, formando el consuelo de la casa paterna, acaba por ser la delicia del esposo (Galli, 1826).*

A partir de esta concepción, se entiende por qué el ejercicio musical de una dama instruida en el arte del piano quedaba circunscrito al ámbito privado o, más en específico, al espacio doméstico; así mismo, se explica por qué una mujer del siglo XIX, salvo raras excepciones, no podía aspirar a la consolidación pública similar a la de un pianista varón.

Como puede verse, la cultura gestada en torno a los salones domésticos de las clases acaudaladas no escapó a los discursos sociales sobre las funciones y destinos reservados a mujeres y hombres. No obstante, la riqueza musical de este espacio, su razón de ser "no fue precisamente el cultivo desinteresado de la música sino la manifestación del status social, la representación de una especie de rito social en el que todos los participantes estaban sujetos a una serie de normas de comportamiento particulares" (Miranda, 2000). Dicho en otras palabras, el salón decimonónico constituyó "un espacio social en el que se desplegaron una serie de convenciones genéricas y sociales tendientes a reafirmar la hegemonía social que nada [tenía] que ver con el cultivo intrínseco de la música" (Miranda, 2000).

**El piano estadounidense: Un deseado objeto de consumo**

Además de unimpacto social, el salón tuvo también repercusiones en el ámbito económico. Dado que la música y el baile eran actividades fundamentales en las referidas tertulias, la demanda del piano se incrementó al ofrecerle, a todo anfitrión, la posibilidad de "contar con música de manera permanente y a un costo mucho menor que el [que implicaba] alquilar conjuntos musicales de manera consuetudinaria" (Miranda, 2000).

Durante prácticamente todo el siglo XIX la importación de pianos a México fue de carácter trasatlántico; sin embargo, esto cambiaría hacia los últimos años de dicha centuria debido a que, para aquel entonces, las líneas de ferrocarril ya unían a los Estados Unidos con la República Mexicana. Y es que a partir de ese momento el monopolio de los pianos europeos —que desde finales del siglo XVIII se exportaban a la Nueva España—comenzó a verse amenazado por la irrupción estadounidense en este particular mercado, fenómeno del que dan cuenta, por ejemplo, los cada vez más frecuentes anuncios de pianos estadounidenses en periódicos y revistas que entonces circularon en territorio mexicano (Figura 3).

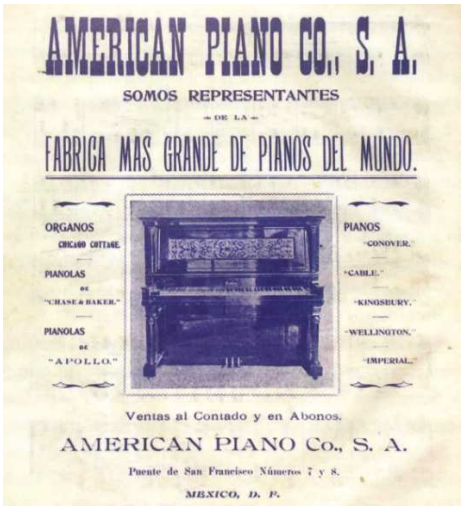



**Figura 3.** Anuncio publicitario de principios del siglo XX de una sucursal, ubicada en la Ciudad de México, de la empresa de pianos estadounidenses *American Piano Co., S. A.* (Matabuena-Peláez et al., 2016)

La recepción que desde el principio tuvieron los pianos estadounidenses en México fue tan favorable que, no obstante, la competencia que suponían sus homólogos europeos, ya para los últimos años de la década de 1900 se encontraban firmemente establecidos en el mercado mexicano (USDCL, 1908a). Según la documentación disponible, fue la empresa *Heuer & Co. E.*, con domicilio en la calle Alcaicería 27 de la Ciudad de México, la primera en introducir a territorio mexicano los pianos fabricados en EE.

UU. (USDS, 1903). Si bien no se sabe el año exacto en que esto ocurrió, los datos vertidos por Arthur B. Butman —que en 1908 era agente especial en México del Departamento de Comercio y Trabajo de los Estados Unidos— señalan que debió suceder en algún momento del último lustro del siglo XIX (USDCL, 1908a).

Desde un inicio, la demanda mexicana de pianos fabricados en los EE.UU. creció en exponencial ascenso, como demuestran los siguientes datos: 158 pianos se exportaron a México en 1902, representando un gasto total de $36,197 dólares; 192 en 1904 ($43,694); 380 en 1906 ($85,050) y 443 en 1907 ($110, 805)[8]. Vale la pena mencionar que ya para 1906 México se había posicionado como el segundo país más grande de importadores de pianos estadounidenses, superando al Reino Unido, que en ese año gastó un total de $84,717 dólares (USDCL, 1908a)[9].

Ahora bien ¿Cuáles eran las marcas de pianos estadounidenses que en aquel entonces las élites mexicanas podían adquirir? Un buen referente de esta oferta lo constituye la edición de 1893 del libro *De México a Chicago y Nueva York. Guía para el viajero en la que se describen las principales ciudades y ferrocarriles de México y los Estados Unidos 'del Norte'*. Publicado originalmente en 1892, por S. Adalberto de Cardona, este libro buscaba "estrechar las relaciones de amistad y comercio entre [México] y los Estados Unidos del Norte", en un momento en que los ferrocarriles mexicanos habían dejado en el olvido "los peligros y las incomodidades del antiguo modo de viajar", al tiempo que acercaban "las hermosas a la par que populosas" ciudades estadounidenses a las crecientes "corrientes de turistas mexicanos" (De-Cardona, 1893).[10]

Dentro de la ingente cantidad de información que proporciona De-Cardona (1893) en las centenares de páginas que constituyen su obra, existe una sección titulada *Anuncios de los Estados Unidos*, en donde se incluye la publicidad de varias compañías estadounidenses constructoras de pianos que tenían su sede en Chicago. Si bien es evidente que estas empresas no agotaban la oferta entonces existente, dan una idea de aquellas que gozaban de un mejor posicionamiento, al menos en la década de 1890.

El que la totalidad de estos promocionales provinieran de la gran urbe de Illinois obedecía a dos hechos: El primero, a que esta ciudad era entonces sede de una floreciente industria fabricante de pianos; el segundo, a que la edición de 1893 de la *Guía para el viajero* buscaba convertirse, a ojos de los mexicanos, en un extraordinario promocional para la Exposición Mundial Colombina, que se celebraría entre el 1 de mayo y el 30 de octubre de 1893. En ella se darían "muestras de cuanto ha descubierto la fecunda imaginación del hombre y de cuanto notable ha sido ejecutado por sus manos" (De-Cardona, 1893). El piano, por supuesto, era uno de estos últimos objetos.

Cuatro eran las compañías fabricantes de pianos que la *Guía para el viajero* publicitaba: *Chicago Cottage Organ & Piano Company*, *Smith & Barnes Piano Company*, *Emerson Piano Company* y *Steger Piano Company*. Dentro de la producción de pianos de la primera de ellas, el Conover constituía la joya de la corona (Figura 4). Con una producción anual cifrada en al menos 2,000 ejemplares, la *Chicago Cottage* lo anunciaba como el "verdadero favorito en todas partes donde se [sabía] apreciar un piano

8 En ese entonces, el impuesto de entrada a México para un piano estadounidense era de 55 centavos por kilogramo, considerado éste en cuanto a su masa legal, es decir, en cuanto a la masa del piano incluyendo su envoltorio o cualquier otro tipo de embalaje excepto la caja de envío (USDCL, 1908a) [Nota de los(as) editores(as): La masa y el peso no son sinónimos. Ver Glosario]

9 El primer lugar lo ocuparía Canadá, con un muy superior costo de importación tasado en $211,340 dólares (USDCL, 1908a)

10 Para el momento en que la *Guía para el viajero* fue publicada, se podían realizar viajes desde la Ciudad de México hasta Chicago y Nueva York por medio del Ferrocarril Central Mexicano —que llegaba hasta El Paso, donde entroncaba con el *Atchison, Topeka & Santa Fe*— o el Ferrocarril Nacional Mexicano —que finalizaba su recorrido en Laredo, donde enlazaba con el *International & Great Northern*—. Así mismo, el Ferrocarril Internacional Mexicano también comunicaba a la capital mexicana —mediante su entronque con la estación El Torreón, del Ferrocarril Central— con ciudades como Nueva Orleans, Filadelfia o Nueva York. Por su parte, si bien el Ferrocarril de Sonora no incluía a la Ciudad de México dentro de su itinerario, también comunicaba a ambos países al trazar su recorrido una línea recta entre el puerto de Guaymas, Sonora, y Nogales, Arizona (De-Cardona, 1893; Nieves-Medina, 2009)

de alto grado", al tiempo que se le ensalzaba por haber "dejado su justamente adquirida reputación siempre bien sentada en todas partes" (De-Cardona, 1893).[11]

**Figura 4.** Ilustración que representa un piano de cola Conover (De-Cardona, 1893)

Si bien este anuncio publicitario no da muchos detalles sobre el célebre instrumento, se sabe que para principios del siglo XX existían cinco grandes modelos Conover, todos ellos producidos por la sucesora de la *Chicago Cottage*: *The Cable Piano Company*, que desde 1890 se había unido a *The Conover Piano Company*. Los pianos en cuestión eran los siguientes:

> *… el Modelo 66, que medía 5 pies y 5 pulgadas, el cual también se llamaba 'Fairy Grand'; el Modelo 77, de alrededor de 5 pies y 10 pulgadas; el Modelo 88, que medía 6 pies y 4 pulgadas; […] el Modelo 99, que era el Mason BB; y el Modelo 100, que era el Mason &Hamlin CC1 de 9 pies y 4 pulgadas. El 'Fairy Grand' tenía el borde Crownstay, el cual contaba con un resonador de tensión de barra única y un sistema circular de vigas para soporte del borde. Los otros modelos no tenían resonador de tensión, pero, en cambio, usaban mucha madera. El lado largo del borde, a menudo de ceniza blanca laminada, tenía 8 pulgadas de espesor (Anónimo, 2021b).*[12]

11 La *Chicago Cottage Organ & Piano Company* fue fundada en 1879 por un grupo de socios apellidados Wolfinger, Comstock y Cable, quienes en un principio la denominaron *Wolfinger Organ Company*. Su cambio de nombre se produjo en 1885, año en que la empresa comenzó a fabricar pianos. Este corporativo se disolvería a principios del siglo XX para convertirse en *The Cable Piano Company* (Anónimo, 2021a)

12 Los modelos Mason BB y Mason & Hamlin CC1 pertenecían a *The Mason & Hamlin Piano Company*, empresa que en 1904 fue parcialmente adquirida por la ya para entonces denominada *The Conover Cable Company* (Anónimo, 2021a)

La segunda de estas compañías, la *Smith & Barnes Piano Company*, se anunciaba como fabricante de pianos verticales "de elegante, esmerada y durable construcción", todos ellos con una garantía de 5 años. Los instrumentos que fabricaba esta empresa tenían como reputación poseer un gran volumen y una inmejorable "dulzura de voz", virtudes a las que achacaban su general aceptación. Cabe mencionar que, no obstante su excelente cualidad, estos pianos se vendían "a precios mucho más reducidos que otros", a los que además consideraban "muy lejos de poseer [los] méritos" de un *Smith & Barnes* (De-Cardona, 1893).[13]

La *Emerson Piano Company* se preciaba de haber vendido, tras casi medio siglo de existencia, 60,000 instrumentos, y de encontrarse "entre las más grandes y prósperas fábricas de pianos de América". Para la década de 1890, la empresa se jactaba de exportarsus productos "no solamente a todas partes de los Estados Unidos, sino […] también a Europa, Australia, Sud-América y las Indias Occidentales". Es importante señalar que su anuncio publicitario llamaba la atención sobre "la elegante ornamentación de las cajas de [sus] pianos verticales", las cuales se construían "de hermosísimas y costosas maderas, tales como nogal, caoba, cedro español, madera lustrosa de color de limón, fresno de Hungría y roble, así como también de ébano y palo de rosa" (De-Cardona, 1893).[14]

Por último, la *Steger Piano Company* anunciaba sus instrumentos como aquellos que preferían y compraban "los más eminentes profesores", así como "los seminarios y escuelas debido a su gran durabilidad y excelente tono" (Figura 5). Esta empresa también publicitaba "pianos de segunda mano, de todas […] las fábricas y casi tan buenos como [los] nuevos", que podían adquirirse "desde cincuenta duros" (De-Cardona, 1893).[15]

Estas cuatro empresas ofrecen un pequeño muestrario de los pianos estadounidenses que podía comprar un mexicano a principios de la década de 1890. Acerca de sus costos, solamente la *Steger Piano Company* brinda una referencia al mencionar que un piano de segunda mano costaba como mínimo 50 duros.[16] Habría que ver cuáles eran las condiciones de un piano vendido en 1893 por semejante cantidad, pues en ese año 1.6 pesos equivalían a 1 dólar (INEGI, 1986), lo cual vendría a figurar que uno de estos instrumentos de segunda mano vendido por la compañía *Steger* podía ser adquirido a partir de poco más de 30 dólares. Este valor resulta insignificante comparado con el del promedio de las citadas exportaciones de los años 1902, 1904, 1906 y 1907, que puede fijarse en $232 dólares por instrumento, y se vuelve irrisorio respecto al que menciona Arthur B. Butman en su reporte de 1908, que ubica hasta en 400 dólares el precio por un piano estadounidense de alta calidad (USDCL, 1908a).[17]

Observando estos costos queda claro que, durante el porfiriato, la adquisición de un piano se encontraba fuera del alcance de buena parte de la población, por lo que la posesión de uno de estos instrumentos siguió siendo distintivo de la riqueza de una familia mexicana de la época.[18] El piano

13 La *Smith & Barnes Piano Company* se fundó en 1884 como la *C. A. Smith Piano Company*. En 1891, Barnes se unió a la firma, por lo que su apellido se agregaría al nombre de la compañía. En 1906, Strohber haría lo mismo, por lo que el corporativo se convertiría en la *Smith, Barnes & Strohber Piano Company*, empresa que fabricaría los pianos de marca: Smith & Barnes, Strohber, Hoffmann y Lessing & Willard (Anónimo, 2021c)

14 Esta empresa fue fundada en Boston, en 1849, como *W. P. Emerson Piano Company*. A finales de la década de 1870, tras la muerte de su creador, William P. Emerson, el nombre de la compañía cambió a *Emerson Piano Company*. La empresa adquirió tal prestigio que llegó a construir pianos bajo contrato para firmas estadounidenses tales como *Thomas Goggan & Brother*, ubicada en San Antonio o *Junius Hart Piano House*, establecida en Nueva Orleans (Anónimo, 2021d)

15 El nombre completo de esta empresa era: *Steger & Sons Piano Manufacturing Company*. Fundada en 1879 por John V. Steger, la compañía dejaría Chicago en 1897 para establecerse en Steger, un pueblo ubicado en el mismo estado de Illinois que sería fundado por el creador de esta compañía de pianos (Anónimo, 2021e)

16 En aquel entonces, al peso mexicano también se le conocía popularmente como "peso duro" o, simplemente, "duro" (Muñoz, 1984)

17 En 1908, 1 peso mexicano equivalía a 0.498 dólar—es decir, había una equivalencia de prácticamente 2 pesos por 1 dólar—, con lo cual se puede afirmar que en aquel año un piano estadounidense de primera clase podía rebasar los 800 pesos (USDCL, 1908b)

18 Durante el porfiriato, el salario mínimo variaba según la ocupación y la zona geográfica en que aquella se desarrollaba. Así, por ejemplo, para el año de 1900, un agricultor del centro de la República Mexicana ganaba diariamente 0.27 pesos, mientras que uno ubicado en el

durante esta época se terminaría consolidando como un deseado objeto de importación que le daría a sus pretendientes no sólo un estatus entre los demás miembros de su clase social, sino también los aires de modernidad que tan apremiantes eran en aquel entonces.

**Figura 5.** Anuncio publicitario de la compañía *Steger Piano Company* (De-Cardona, 1893)

## Consideraciones finales

En este artículo se ha visto cómo el piano, en cuanto objeto cultural, es capaz de arrojar luz no solamente sobre el comportamiento de un determinado estrato social, sino incluso sobre aquella función que cada género debía desempeñar, especialmente, en la alta sociedad mexicana decimonónica. Al respecto, se mencionó la participación de las mujeres en una tertulia musical, tema que, no obstante los diversos acercamientos que se le han dado, tiene aún mucho que ofrecer.[19]

Responder a una pregunta tan básica como la de por qué el piano terminó por convertirse en el instrumento por excelencia de una mujer de familia acaudalada o documentar la vida de aquellas mujeres que, rompiendo el *corset* socio-cultural, gozaron de una trayectoria como pianistas, son solamente dos ejemplos de temas aún pendientes de estudio para la comunidad musicológica.

Por otra parte, los esbozos aquí realizados sobre el piano en cuanto objeto comercial importado de los Estados Unidos, abren un abanico de posibilidades cuya trascendencia apenas puede vislumbrarse. Entre ellas se podría mencionar que las redes nacionales de distribución de dicho instrumento serían, tanto un extraordinario asistente para la construcción de las historias musicales regionales —que tanta falta hacen para diversificar la visión, aún muy centralizada, de la historia de la música en México— como una inmejorable ayuda paraestablecerlos patrones de consumo de un estrato social que fue determinante para el desarrollo del arte del piano en México.

Golfo era remunerado por 0.50 pesos; en cambio, el pago diario que obtenía un minero por laborar en estas dos regiones era de 0.38 y 0.46 pesos, respectivamente. Es decir, para el mejor de los ejemplos proporcionados —un agricultor del Golfo—el más barato de los pianos americanos de segunda categoría vendido por la compañía *Steger* equivalíaa 100 días de salario mínimo. Tomando en cuenta de que en 1900 los agricultores representaban el 56% del total de mano de obra de todo el país, puede afirmarse que las importaciones de los mexicanos no estaban dirigidas, especialmente, hacia bienes suntuarios tales como los pianos (INEGI, 1986)

19 Como ejemplos de estas aproximaciones se pueden citar las abordadas en la tesis doctoral deYael Bitrán-Goren, titulada:*Musical Women and Identity-Building in Early Independent Mexico (1821-1854)* (2012). En este trabajo se analiza la música de las primeras décadas del México independiente en relación con las mujeres, dando como resultado el acercamiento a este arte sonoro en cuanto concepto romántico, instrumento educativo, objeto de consumo y ejercicio tanto doméstico como público

Así pues, sirva el presente artículo para estimular el acercamiento al piano desde sus muy variadas significaciones—algunas de ellas incluso extra-musicales— con el fin de abonar a la comprensión de una época que tuvo a dicho instrumento de teclado como uno de sus bienes materiales y culturales más preciados: Las recompensas por explorar tierras aún ignotas para la musicología mexicana prometen ser cuantiosas.

**Reconocimientos**

Ninguno.

**Glosario de términos**

| Término | Significado |
|---|---|
| a la par | 1. Locución adverbial. Juntamente o a un tiempo. 2. Locución adverbial. Igualmente, sin distinción o separación. 3. Locución adverbial. En monedas, efectos públicos u otros negociables, con igualdad entre su valor nominal y el que obtienen en cambio (https://dle.rae.es/par?m=form#8YPqh16) |
| Masa | Propiedad intrínseca de los cuerpos, su unidad en el sistema internacional es el kilogramo, kg |
| Peso | En física moderna, el peso es una medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre un objeto, su unidad en el sistema internacional es el Newton, N |
| Porfiriato | The **Porfiriato** is a term given to the period when General Porfirio Díaz ruled Mexico as president in the late 19th and early 20th centuries, coined by Mexican historian Daniel Cosío-Villegas.[20] [21] [22] Seizing power in coup in 1876, Díaz pursued a policy of "order and progress," inviting foreign investment in Mexico and maintaining social and political order, by force if necessary. There were tremendous economic, technological, social, and cultural changes during this period. As Díaz approached his 80th birthday in 1910, having been continuously elected since 1884, he still had not put in place a plan for his succession. The fraudulent 1910 elections are usually seen as the end of the Porfiriato. Violence broke out, Díaz was forced to resign and go into exile, and Mexico experienced a decade of regional civil war, the Mexican Revolution |

**Referencias bibliográficas**

Altamirano, I.M. 2013. Clemencia. Ed. Tomo. Pp. 79-81. Ciudad de México, México.
Anónimo. 2021a. Chicago Cottage Organ. https://antiquepianoshop.com/online-museum/chicago-cottage-organ/
Anónimo. 2021b. Conover. https://antiquepianoshop.com/online-museum/conover/
Anónimo. 2021c. Smith & Barnes. https://antiquepianoshop.com/online-museum/smith-barnes/
Anónimo. 2021d. Emerson. https://antiquepianoshop.com/online-museum/emerson/
Anónimo. 2021e. Steger&Sons. https://antiquepianoshop.com/online-museum/steger-sons/
Bitrán-Goren, Y. 2012. Musical women and identity-building in early independent Mexico(1821-1854). Tesis doctoral. Royal Holloway, University of London. Londres, Inglaterra.
Calderón-de-la-Barca, M. 1959. La vida en México. Ed. Porrúa. P. 237. Ciudad de México, México.
De-Cardona, S.A. 1893. De México a Chicago y Nueva York. Guía para el viajero en la que se describen las principales ciudades y ferrocarriles de México y los Estados Unidos del Norte. Imprenta de Moss Engraving Co. Puck Building. Pp. III, 1-2,145, 371, 507, 521, 768, 776, 784, 786 y 788. Nueva York, Estados Unidos.

20 Camp, R.A. 1996."Porfiriato". In Encyclopedia of Latin American History and Culture. Vol. 4, p. 440. Charles Scribner'sSons. Nueva York, EE.UU.

21 Cosío Villegas, Daniel. 1955. Historia Moderna de México. El porfiriato. La vida social [Modern History of Mexico. El Porfiriato, social life] (in Spanish). Editorial Hermes. México

22 Speckman-Guerra, Elisa. 2011. "El Porfiriato". Nueva historia mínima de México (in Spanish). El Colegio de México. p. 200. ISBN 968-12-1139-1. México

Galli, F. 1826. Música. El Iris. 4:32.
García-de-Fuentes, A. 1987. La construcción de la red férrea mexicana en el porfiriato: Relaciones de poder y organización capitalista del espacio. Investigaciones Geográficas. 17:137-154.
INEGI. 1986. Estadísticas históricas de México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. Vol. 1. Pp. 155, 180 y 182. Vol. 2. P. 810. Ciudad de México, México.
Kehoe, T.J., Meza, F. 2013. Crecimiento rápido seguido de estancamiento: México (1950-2010). El Trimestre Económico. 80(318):237-280.
Kuntz-Ficker, S. 1994. Algunos efectos de la comunicación ferroviaria en el porfiriato. Sociológica. 9(26):149-176.
Matabuena-Peláez, M.T. (Coord.), Rodríguez-Lobato, M., Palacios-Franco, J.E., Sánchez-De-la-Vara, M.C. 2016. La reina del baile. Una selección de portadas de partituras ilustradas. 1860-1935. Universidad Iberoamericana.Pp. 21, 27, 35. Ciudad de México, México.
Miranda, R. 2000. A tocar señoritas: Una mirada al repertorio mexicano para piano durante el siglo XIX. En Música Iberoamericana de Salón. Peñín, J., ed. Fundación Vicente Emilio Sojo-Ministerio de Educación, Cultura y Deportes-Consejo Nacional de Cultura. Vol. 1. Pp. 131-171. Caracas, Venezuela.
Muñoz, M.L. 1984. La moneda llamada un peso. Jurídica. Anuario del Departamento de Derecho de la Universidad Iberoamericana. 16:179-185.
Nieves-Medina, A. 2009. Los ferrocarriles en Sonora. Mirada Ferroviaria (en línea). 7. https://museoferrocarrilesmexicanos.gob.mx/sites/default/files/adjuntos/mirada_ferroviaria_7_digital.pdf
Ortiz-Gaitán, J. 2013. La Ciudad de México durante el Porfiriato: "… el París de América". En MéxicoFrancia: Memoria de una sensibilidad común. Siglos XIX-XX.Pérez-Siller,J., Cramaussel, Ch., eds. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos. Vol. 2. Pp. 179-196. Ciudad de México, México.
Payno, M. 2011. Los Bandidos de Río Frío. Ed. Porrúa. P. 657. Ciudad de México, México.
Pérez-Salas, M.E. 2005. El trajín de una casa. En Historia de la vida cotidiana en México.A. Staples, ed. El Colegio de México-Fondo de Cultura Económica. Vol. 4. Pp. 179-212. Ciudad de México, México.
Rodríguez-Centeno, M. M. 1996. México y las relaciones comerciales con Estados Unidos en el siglo XIX: Matías Romero y el fomento del café. Historia Mexicana. 45(4):737-757.
USDCL. 1908a. American Musical Instruments. United States Department of Commerce and Labor. Monthly Consular and Trade Reports. 333:13-16.
USDCL. 1908b. Winning Foreign Markets. United States Department of Commerce and Labor. Government Printing Office. P. 22. Washington, EstadosUnidos.
USDS. 1903. Commercial relations of the United States with foreign countries during the year 1902. United States Department of State. Government Printing Office. Vol. 1. P. 464. Washington, EstadosUnidos.

**Hoja intencionalmente en blanco / *Intentionally blank page***

## Instructivo para autores(as)[23]

La revista ***Ambiens Techné et Scientia México*** es una revista científico-tecnológica bianual editada por la Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México y la Red Internacional de Ciencias Ambientales. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja el punto de vista de las entidades que la publican. Está en proceso de ser indizada en el catálogo Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal y otros.

La revista ***Ambiens Techné et Scientia México*** podrá aceptar para su publicación los siguientes tipos de manuscritos:

a) Investigación y desarrollo. Se presentan aportaciones de estudios experimentales y/o teóricos de investigación básica y/o aplicada o de desarrollo humanístico o tecnológico. Su objeto será difundir los avances de las ciencias y las tecnologías derivadas así como aquellas que protejan al ambiente, de tal forma que resulten de interés para los profesionales de la ciencia, la tecnología y las humanidades teniendo como referente a la protección del ambiente (ciencias y tecnologías verdes)

b) Artículos técnicos. Deben abordar temas de interés práctico para investigadores de las ciencias y las ingenierías y tecnologías, así como para investigadores de las humanidades y las ciencias sociales, educativas y de la salud tales como procedimientos de cálculo, criterios de selección de equipo, predicción de propiedades, técnicas de simulación y optimización u optimación de procesos, instrumentación y control, etc.

c) Actualización profesional y educación. Presentarán los aspectos fundamentales de la enseñanza en la ingeniería y las tecnologías, así como para las ciencias exactas, naturales y humanísticas y de todos los ámbitos del conocimiento humano, de forma clara y accesible. Su propósito será mantener actualizados, a los profesionales, académicos y estudiantes, proporcionando material didáctico útil.

Los manuscritos deberán ser **inéditos y contener material original** para los y las lectores(as). Los autores serán los únicos responsables del contenido de sus trabajos. Si son aceptados para su publicación en la revista, los autores ceden de manera automática sus derechos autorales a la revista para facilitar su publicación en formatos físicos y/o electrónicos, incluido *Internet*. Una versión electrónica ya sea en español o en inglés deberá ser enviada a:

Marisela Bernal-González, Directora de la revista (Editora-en-Jefe), UNAM, Facultad de Química
Beatriz Espinosa-Aquino, Directora adjunta de la revista (Editora-en-Jefe adjunta), BUAP, Instituto de Ciencias
Rolando Salvador García-Gómez, Director administrativo de la revista (Editor técnico), UNAM, Facultad de Química
Samuel Mendoza-Pérez, Director administrativo adjunto (Editor técnico adjunto), UNAM, Facultad de Química

Consejo Editorial de la Revista ***Ambiens Techné et Scientia México***
UNAM, Facultad de Química

## *Authors instructions*[24]

*The journal* ***Ambiens Techné et Scientia México*** *is a biannual scientific-technological journal edited by the* Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México *(Network for the Analysis of Environmental Quality in Mexico) and the* Red Internacional de Ciencias Ambientales *(International Network of Environmental Sciences). The content of the articles is the sole responsibility of the author(s) and does not reflect the point of view of the entities that publish it. It currently is in the process of being indexed in the Latindex catalog, the Regional Online Information System for scientific journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal, and others.*

*The journal* ***Ambiens Techné et Scientia México*** *can accept for publication the following type of contributions:*

*a) Research, investigation and development. They present contributions from experimental and/or theoretical studies of basic and/or applied research or humanistic or technological development. Their objective is the dissemination of the advances in science and derived technologies as well as those related to environmental protection, in such a way that they are of interest to scholars in the fields of science, technology and humanities with reference to environmental protection(green sciences and technologies)*

*b) Technical articles. They address topics of practical interest to scientists, to engineers, to researchers in the humanities and the social, educational, and health sciences, such as calculation procedures, equipment selection criteria, property prediction, simulation techniques and process optimization or optimization, instrumentation and control, etc.*

*c) Professional updating and education. Contributions will include the fundamental aspects of teaching in engineering and technologies, as well as for the exact, natural and humanistic sciences and all areas of human knowledge, in a clear and accessible way. Its purpose will be to keep professionals, academics, and students updated, providing useful didactic material.*

*Manuscripts should be* ***unpublished and contain original material for readers****. The author(s) are solely responsible for the content of their work. If accepted for publications in the journal, the author(s) automatically assign their copyrights to the journal to facilitate publication in physical and/or electronic formats, including the Internet. An electronic version in either Spanish or English should be sent to:*

*Marisela Bernal-González, Director of the Journal (Editor-in-Chief),* UNAM, Facultad de Química
*Beatriz Espinosa-Aquino, Adjunct Director of the Journal (Adjunct Editor-in-Chief),* BUAP, Instituto de Ciencias
Rolando Salvador García-Gómez*, Administrative Director of the Journal (Technical Editor),* UNAM, Facultad de Química
Samuel Mendoza-Pérez, *Adjunct Technical Director of the Journal (Adjunct Technical Editor),* UNAM, Facultad de Química

*Editorial Council of the Journal* ***Ambiens Techné et Scientia México***

23 **Los artículos han sido arbitrados por pares -modalidad doble ciego- y reflejan opiniones de la exclusiva responsabilidad del(a) o de los(as) autores(as). Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización**

***24 The articles were peer-reviewed in the double-blind modality and their content is the exclusive responsibility of the author(s). The total or partial reproduction of the contents and images of the publication without prior authorization is prohibited***

Facultad de Química de la UNAM
Circuito de la Investigación Científica s/n, Cd. Universitaria
04510 Ciudad de México.
Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México
Correos-e: marisela_bernal2000@yahoo.com.mx,
marisela_bernal2000@quimica.unam.mx,
bett_espinosa@hotmail.com, rolandoga2000_a@yahoo.com,
rolandogarciagomez@quimica.unam.mx,
zamuel@comunidad.unam.mx

Cada manuscrito tendrá un número de archivo. Una vez aceptado, el(los) autor(es) deberá(n) enviar la versión final en forma electrónica (como un archivo adjunto en un correo electrónico empleando paquetería Word para Windows 97-2003 para evitar incompatibilidades). En el texto deberán insertarse las tablas y material gráfico con una resolución alta en donde correspondan. El documento deberá seguir el formato que se describe a continuación. El idioma oficial de la revista es el español y deberá contar con un resumen en inglés y al menos tres palabras clave en ambos idiomas para ser incluidas en los índices internacionales. Si la contribución se encuentra en el idioma inglés, estas deberán contener además del título, el resumen y las palabras clave en español. En este caso, si la lengua materna de los autores no es el inglés, el texto deberá ser revisado por una persona conocedora del tema y cuya lengua materna sea el inglés.

***Título y autores(as)***
La primera página deberá contener el título del trabajo, su traducción al inglés, los nombres completos de los autores como deseen que aparezcan, sin grados ni títulos. Si usan sus dos apellidos, paterno y materno, se deberán unir con un guión para evitar confusiones a los lectores sobre cuál es el apellido del(a) autor(a). Debe contener también el nombre y la dirección de la institución donde se realizó el trabajo. Debe indicarse con un asterisco al autor a quien debe dirigirse la correspondencia, con la dirección, teléfono, fax y correo electrónico. Si se desea, en un pie de página se pueden indicar la o las direcciones actuales de los autores. El título debe reflejar el objetivo principal del trabajo en forma concisa. Utilice un título complementario sólo cuando sea estrictamente necesario.

***Resumen***
La segunda página debe contener un breve resumen del trabajo (un párrafo entre 200 y 400 palabras), donde se establezcan los objetivos metodología, resultados y conclusiones. Se recomienda encarecidamente que todas y cada una de las traducciones sean realizadas por traductores expertos. Se deberá de presentar en español e inglés. Se incorporarán de tres a cinco palabras clave en español e inglés.

***Texto***
El texto comenzará en la tercera página. Deberá estar escrito de una manera concisa y coherente, utilizando enunciados cortos y simples en estilo impersonal y evitando la información detallada previamente de libros, tesis, artículos previos o cualquier material publicado de fácil acceso. El(los) autor(es) deberá(n) dividir el texto en secciones, las cuales pueden incluir introducción o antecedentes, técnicas experimentales / teoría, procedimientos, resultados, discusión y conclusiones. En la introducción se establecerá el objeto del artículo, evitando una relación demasiado extensa de la literatura existente. Las referencias a las ecuaciones, figuras y tablas deberán hacerse con un número entre paréntesis. Las ecuaciones incluirán su número entre paréntesis, a la derecha. Los resultados se presentarán, de preferencia, en tablas o figuras, limitando el texto exclusivamente al análisis e interpretación de las mismas. Como norma, las tablas con datos que han sido incluidos en figuras (o viceversa) deberán evitarse. Se limitará el número de tablas y figuras al mínimo requerido para que el trabajo se entienda en forma clara y correcta. El texto no debe incluir símbolos escritos a mano sino con el propio procesador de palabras evitando que se presten a confusión, debiendo ser claramente identificados la primera vez que se utilicen.

UNAM, Facultad de Química
Facultad de Química de la UNAM
Circuito de la Investigación Científica s/n, Cd. Universitaria
*04510 Ciudad de México. MÉXICO*
*Correos-e: marisela_bernal2000@yahoo.com.mx,*
*marisela_bernal2000@quimica.unam.mx,*
*bett_espinosa@hotmail.com, rolandoga2000_a@yahoo.com,*
*rolandogarciagomez@quimica.unam.mx,*
*zamuel@comunidad.unam.mx*

*Each manuscript will have a file number. Once accepted, the author (s) must send the final version electronically (as an attachment in an email using Word for Windows 97-2003 packages to avoid incompatibilities). Tables and graphic material with high resolution should be attached where applicable. The document must follow the format described below. The official language of the journal is Spanish and it must have an additional abstract in English and at least three keywords in both languages to be included in the international indexes. If the contribution is in the English language, these must also contain the title, the abstract and the keywords in Spanish. In this case, if the authors' mother tongue is not English, the text must be reviewed by a person familiar with the subject and whose mother tongue be English.*

***Title and author(s)***
*First page should contain the contribution title in Spanish, its translation into English, and the full names of the author(s) without degrees or honorific titles. If paternal and material last names are used, then they should be separated by a hyphen. It should also contain the name and address of the institution where the research was carried out. An asterisk will indicate the author to whom correspondence should be addressed, including full postal address, phone and fax numbers, and e-mail. If desired the present addresses of the author(s) can be included. The title of the contribution should reflect the main objective in a concise form. The use of complementary titles will be accepted only when strictly necessary.*

***Abstract***
*The second page will contain the abstract of the contribution (between 200 and 400 words), which clearly establishes the objectives, methodology, results, and the conclusions. It should be presented in Spanish and English. It is strongly advised that any and all translations be conducted by knowledgeable translators. It also should include between three and five key words in Spanish and English.*

***Text***
*The text will start on the third page. It should be written in a concise and coherent manner, using simple short sentences, an* ***impersonal*** *style, and avoiding the inclusion of detailed information from previously published accessible books, theses, and articles. The author(s) may divide the text into unnumbered sections, such as the introduction, theoretical background, procedures and/or experimental techniques, results and discussion, and the conclusions. In the introduction, the subject of the contribution will be presented, avoiding a long review of existing literature. Reference to equations, figures, and tables should be included in parentheses. Equations will include its number in parenthesis in the right side of the text. Methodology should be precise enough for the readers to be able to replicate the experimental work or the mathematical development of the contribution. Results will be either presented in tables or figures, with analysis and interpretation in the text. As a rule, tables with data already included in figures (or vice versa) should be avoided. The number of tables and figures will be kept to the minimum required for the contribution to be clearly understood. The final part of the text should present in a*

Al final del texto deberán presentarse en forma concisa las conclusiones generales del trabajo. Si fuera estrictamente necesario incluir símbolos de un procesador de texto que pudieran resultar confusos, deberán estar claramente identificados en el margen la primera vez que se utilicen. Al final del texto, se deberán numerar para su rápida búsqueda como se indica a continuación.

***Nomenclatura***
Los símbolos usados en el texto y en las ecuaciones deberán ser reunidos e identificados nuevamente en una tabla de nomenclatura que se colocará después del texto entre las conclusiones y los reconocimientos y si estos no existieran seguiría la bibliografía citada en el texto. Los caracteres romanos deben listarse primero y, a continuación, los griegos. Los símbolos utilizados serán los de uso común en las ciencias exactas y las ingenierías, así como en las ciencias naturales, sociales y humanísticas y en el área específica del artículo. Esta revista usa el PUNTO decimal (DOF, 2009) y los °C y % junto al guarismo. Las abreviaturas de las locuciones latinas *et altere*, et al., así como *et cetera*, etc., no van en cursivas.

***Unidades***
El sistema de unidades que deberá emplearse es el Sistema Internacional (SI). Si se desea, se pueden poner entre paréntesis los valores de otras unidades o factores de conversión.

***Figuras y fotografías. Tablas***
Las figuras deberán de ser de buena calidad y nítidas (fotografías en color: mínimo 300 ppp / CMYK en formato Tiff, dibujos de líneas en color: mínimo 300 ppp / mapa de bits, fotografías en blanco y negro: escala de grises, mínimo 450 ppp en formato Tiff, líneas en blanco y negro Dibujos: mínimo 1000 ppp / mapa de bits o EPS o SVG). Todas las palabras y números en cifras deberán imprimirse, evitando pegar copias escaneadas con una definición débil. Las fotografías deberán de ser nítidas y legibles. Una vez aceptado el artículo, deberán insertarse en su lugar correspondiente ya que se reproducirán a partir de estos originales y se reducirán su tamaño si es necesario. Cada tabla debe de tener como título: Tabla 7. Frecuencia. (Pérez et al., 1989) o Tabla 9. Frecuencia. si son datos tomados de otro (s) autor (es) o si son datos de esta contribución, respectivamente, y sin un punto final

***Bibliografía***
La literatura citada en el texto o referencias a trabajos anteriores serán señaladas en el texto en orden alfabético por el apellido del(os) autor(es) y el año de publicación, separados por una coma y entre paréntesis. Si son más de dos autores se pondrá et al., después del apellido del primer autor (P. ej.: Stoker et al., 1981). En caso de citarse varios trabajos simultáneamente, se separarán por punto y coma entre cada cita (P. ej.; Pérez et al., 1989; Stoker et al., 1981) por orden alfabético. En el caso de que el nombre del(os) autor(es) forme parte de la redacción del escrito, únicamente se pondrá entre paréntesis el año de publicación. La lista de referencias se insertará después de las conclusiones, nomenclatura y agradecimientos, si es que estos existen y se hará también por orden alfabético, sin numeración y cuando se mencionen varios artículos del mismo autor, estos se presentarán cronológicamente, del más reciente al más antiguo. Si hay dos o más referencias del o los autores para un mismo año agregar las letras a,b, etc., al año (Stoker et al., 2006a,b).

Cada una de las referencias contendrá los siguientes datos (para revistas periódicas): Nombre del(os) autor(es), comenzando con el apellido paterno seguido de las iniciales de los nombres (si se desea incluir el apellido materno éste deberá estar unido por un guión al paterno). Año de la publicación. Título completo de la publicación (usando mayúsculas solamente cuando sea necesario gramaticalmente). Nombre completo de la revista en que apareció. Volumen seguido por el número (si hay) entre paréntesis y, después de dos puntos las páginas de iniciación y conclusión del artículo separadas por un guión. Ejemplo: Hegg, D.A., Hobbs, P.V. 1978.

*concise manner the general conclusions. If it were strictly necessary to include word processor symbols that might be confusing, they should be clearly identified in the margin the first time they are used. At the end of the text they should be listed for its quick finding as indicated below.*

***Nomenclature***
*Symbols used in the text and in the equations should be gathered and identified in a table of nomenclature to be placed at the end of the text, between the conclusions and the references. Latin characters should be listed first, and then Greek ones. Symbols employed will be those of common use for each discipline and the specific area of the contribution. This journal uses the DECIMAL POINT and °C and % next to the number. The abbreviations of the Latin phrases et altere, et al., and et cetera, etc., are not underlined.*

***Units***
*Units system to be employed is the International System (SI). If it is considered important, numerical values in other units or conversion factors may be added in parenthesis.*

***Figures and photographs. Tables***
*Figures should be of good quality and sharp (Color Photographs: Minimum 300 dpi/CMYK in Tiff format, Color Line Drawings: Minimum 300 dpi/bitmap, B & W Photographs: Gray Scale, minimum 450 dpi in Tiff format, B & W Line Drawings: Minimum 1000 dpi/bitmap or EPS or SVG). All words and numbers in figures should be printed, avoiding pasting scanned copies with weak definition. Photographs should be sharp and legible. Upon acceptance of the article, they should be inserted in its proper place; they will be reproduced from these originals and reduced if required. Each table should have the title as a heading: Table 7. Frequency ... (Pérez et al., 1989) or Table 9. Frequency ..., if they are data taken from other author(s) or if these are data from this contribution, respectively, and with no final point*

***References***
*References cited in the text should be in alphabetical order of the author(s) last name and the year of publication separated by a comma and in parenthesis, and separating with semicolon (;) each reference. If there are more than two authors, et al. will be added to the first author last name (Pérez, 1998; Ramírez and López, 2001; Stoker et al., 2006). In case the last name(s) is (are) part of the text, only the year of publication will appear in parenthesis (... the experiments carried out by Stoker et al. (2006) ...). The list of references will be inserted after the conclusions, nomenclature, and acknowledgements, if these exist, and they will appear in alphabetical order without numbering. When there are several works by the same author they will be presented chronologically, with the newest reference appearing first. If two or more are from the same year a letter a, b, etc., should be added to the year (Stoker et al., 2006a,b).*

*Each reference will have the following information. For periodical journals: Last name of the author(s) followed by his/her/their initials (first, second names). For Spanish speaking people wishing to include the mother's full last name or initial, a hyphen should be added between both last names. Year of publication. Full title of the publication. Full name of the journal. Volume followed by the number (if there is any) in parenthesis and, after a colon the starting and ending pages numbers separated by a hyphen. Example: Hegg, D.A., Hobbs, P.V. 1978. Oxidation of sulfur dioxide in aqueous systems with*

Oxidation of sulfur dioxide in aqueous systems with particular reference to the atmosphere. Atmospheric Environment. 12(1-3):241-253. doi[25]: doi.org/10.1016/0004-6981(78)90204-4.

En el caso de libros, el título debe ir primero. Después, debe indicarse la casa editorial. Posteriormente, la o las páginas que fueron consultadas (P. 25, si fue solamente una o Pp. 237-242, si fueron varias). Finalmente, la ciudad y país de edición, separados por una coma. Ejemplo: Stoker, M.S., Stone, R., Seager, S.L. 1981. Química ambiental; contaminación del aire y del agua. Ed. Blume. P. 320. Barcelona, España. Cuando se trate de artículos dentro de volúmenes conmemorativos, memorias de simposia o congresos o libros en que colaboren varios autores, se citará según el siguiente ejemplo. Underbrink, A.C., Sparrow, A.H. 1973. A radiobiological test system. En Chemical mutagens: Principles and methods for their detection. Hollander, A., ed. Plenum Press. Vol. 3. Pp. 71-203. Nueva York, EE. UU.

Si se citan tesis se seguirá el siguiente ejemplo. López-Pérez, R. 1994. Uso de un programa computarizado para determinar propiedades termodinámicas. Tesis profesional. UNAM, Facultad de Química. Ciudad de México. México.

Si la cita es a una norma se pondrá la fuente, el año, el título de la norma, la entidad que la emitió, la ciudad y el país de edición. Ej.: DOF. 2009. Diario Oficial (Primera Sección). Modificación del inciso 0, el encabezado de la Tabla 13, el último párrafo del Anexo B y el apartado Signo decimal de la Tabla 21 de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida. CUARTO.- Se modifica el encabezado de la tabla 13 para quedar como sigue: Tabla 21 - Reglas para la escritura de los números y su signo decimal. Signo decimal El signo decimal debe ser una coma sobre la línea (,) o un punto sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero. Diario Oficial de la Federación: Jueves 24 de septiembre de 2009. Poder Ejecutivo Federal. Ciudad de México. México.

Si se citan patentes, se debe dar el título y después el número asignado, la ciudad y el país de registro, como sigue: Martínez, C. 1970. Procedimiento para cocer sorgo por extrusión. Registro: Abril 7. Pat. No. 17253384. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Ciudad de México. México.

Si la cita proviene de las redes internacionales se pondrá el autor (si existe) o la palabra Anónimo, el año de la consulta y la "dirección" como puede ser consultada: Anónimo, 2007. Presentación. http://www.ambiental.unam.mx. Si viene de una revista electrónica se pondrá el nombre del(os) autor(es), el año, el título de la contribución, el título de la revista seguido de las palabras entre paréntesis (en línea) y su número de ISSN y doi, si lo tiene, el volumen y entre paréntesis el número y después de dos puntos las páginas inicial y final separadas por un guión si las tiene. Finalmente, la dirección electrónica.

*particular reference to the atmosphere. Atmospheric Environment. 12(1-3):241-253. doi[26]:* doi.org/10.1016/0004-6981(78)90204-4.

*In the case of books, the title should be first. Afterwards, the editorial house should appear. Then, the page(s) consulted (P. 25, if it was only one or Pp. 237-242, if there were several of them). Finally, the city and country of edition, separated by a comma. Example: Stoker, M.S., Stone, R., Seager, S.L. 1981. Química ambiental; contaminación del aire y del agua. Ed. Blume. P. 320. Barcelona, España. When the reference comes in commemorative volumes, proceedings from symposia or congresses, or they are chapters of books, they will be cited as follows: Underbrink, A.C., Sparrow, A.H. 1973. A radiobiological test system. In Chemical mutagens: Principles and methods for their detection. Hollander, A., ed. Plenum Press. Vol. 3. Pp. 71-203. New York, U. S.*

*If a thesis is cited, the following example is given: López-Pérez, R. 1994. Uso de un programa computarizado para determinar propiedades termodinámicas. Professional Thesis. UNAM, Facultad de Química. Ciudad de México. Mexico.*

*If the citation is for an act or normativity the source, year, title, entity that emitted it, city and country of edition should be given. Example: DOF. 2009. Official Gazette (First Section). Modification of subsection 0, the heading of Table 13, the last paragraph of Annex B and the Decimal sign section of Table 21 of the Official Mexican Standard NOM-008-SCFI-2002, General system of measurement units. FOURTH.- The heading of table 13 is modified to read as follows: Table 21 - Rules for writing numbers and their decimal sign. Decimal sign The decimal sign must be a comma on the line (,) or a point on the line (.). If the magnitude of a number is less than unity, the decimal sign must be preceded by a zero. Official Gazette of the Federation: Thursday, September 24, 2009. Federal Executive Branch. Mexico City. Mexico.*

*If patents are cited, the title will be given, then the number assigned to it, the city and country of registration, as follows: Martínez, C. 1970. Procedimiento para cocer sorgo por extrusión. Registration: April 7. Pat. No. 17253384. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Ciudad de México. Mexico.*

*If the citation comes from international networks, the author (if it exists) or the word Anonymous, the year of the consultation and the "address" as it can be consulted will be entered: Anonymous, 2007. Presentation. http://www.ambiental.unam.mx. If it comes from an electronic journal, the name of the author (s), the year, the title of the contribution, the title of the journal, followed by the words in parentheses (online) and their ISSN and doi number will be entered, if it has it, the volume and in parentheses the issue, and after a colon the initial and final pages separated by a hyphen if it has them. Finally, the*

25 El desarrollador y administrador del sistema DOI es la International DOI Foundation (IDF), que lo introdujo en 2000 (Paskin, Norman. 2010. "Digital Object Identifier (DOI®) System". Encyclopedia of Library and Information Sciences, 3a ed., Taylor y Francis, pp. 1586-1592). Las organizaciones que cumplen con las obligaciones contractuales del sistema DOI y están dispuestas a pagar para convertirse en miembros del sistema pueden asignar DOI (Davidson, Lloyd A.; Douglas, Kimberly. 1998. "Identificadores de objetos digitales: promesa y problemas para la publicación académica". Revista de publicación electrónica. 4(2). DOI: 10.3998 / 3336451.0004.203). El sistema DOI se implementa a través de una federación de agencias de registro coordinadas por la IDF ("Bienvenido al sistema DOI". Doi.org. 28 de junio de 2010. Consultado el 7 de agosto de 2010). A finales de abril de 2011, unas 4,000 organizaciones habían asignado más de 50 millones de nombres DOI ("Noticias DOI®, abril de 2011: 1. El sistema DOI supera los 50 millones de identificadores asignados". doi.org. 20 de abril de 2011. Consultado el 3 de julio de 2011) y en abril de 2013 este número había aumentado a 85 millones de nombres DOI asignados a través de 9,500 organizaciones (Wikipedia, 2013)

26 *The developer and administrator of the DOI system is the International DOI Foundation (IDF), which introduced it in 2000 (Paskin, Norman. 2010. "Digital Object Identifier (DOI®) System". Encyclopedia of Library and Information Sciences (3rd ed.), Taylor and Francis, pp. 1586–1592). Organizations that meet the contractual obligations of the DOI system and are willing to pay to become a member of the system can assign DOIs (Davidson, Lloyd A.; Douglas, Kimberly. 1998. "Digital Object Identifiers: Promise and problems for scholarly publishing". Journal of Electronic Publishing. **4**(2). doi:10.3998/3336451.0004.203). The DOI system is implemented through a federation of registration agencies coordinated by the IDF ("Welcome to the DOI System". Doi.org. 28 June 2010. Retrieved 7 August 2010). By late April 2011 more than 50 million DOI names had been assigned by some 4,000 organizations ("DOI® News, April 2011: 1. DOI System exceeds 50 million assigned identifiers". Doi.org. 20 April 2011. Retrieved 3 July 2011), and by April 2013 this number had grown to 85 million DOI names assigned through 9,500 organizations (Wikipedia, 2013)*

***Material complementario***
Las deducciones matemáticas, datos experimentales extensos, programas computacionales y las partes del manuscrito de menor importancia serán enviados por separado como material adicional. Este material quedará depositado en la administración de la Revista ATSM y en un pie de página en el artículo publicado se darán las indicaciones necesarias para obtener una copia de dicho material en caso de ser requerido. El material complementario contendrá solamente información relevante que no sea incluida en la publicación.

***Archivo en pdf***
Cada autor recibirá libre de costo una copia de su contribución en formato electrónico .pdf como aparece publicado en el ejemplar.

*electronic address.*

***Supplementary Material***
*Mathematical deductions, profuse experimental data, computer programs, and those parts of the manuscript of lesser importance will be sent as separate additional material. This material will be deposited with the IMIQ administration and a foot note in the printed contribution will indicate to those readers interested in obtaining a copy of it, the instructions to get it. This supplementary material will only contain relevant information that has not been included in the publication.*

***File in pdf***
*Each author will receive free of charge a copy of his/her contribution in electronic format .pdf as it is in the exemplar.*

## Lista de comprobación del envío por parte del(a) autor(a) responsable de la publicación

## *Submission checklist by the author(s) responsible for the publication*

## Aviso de derechos de autor(a)

## *Copyright notice*

Marque los siguientes elementos para indicar que este envío está preparado para que la revista lo examine y más abajo se pueden añadir comentarios al(a) editor(a):

*Please check the following items to indicate that this submission is ready for the journal to review and comments to editors can be added below:*

| | | | |
|---|---|---|---|
| | El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al(a) editor(a) | | *The submission has not been previously published or previously submitted to another journal (or an explanation has been provided in Comments to the editor)* |
| | Esta revista mantiene los códigos de ética y las buenas prácticas editoriales científicas, tecnológicas y humanísticas (por ejemplo, COPE, CSE, CSIC, etc.). En caso de detectar alguna falta de ética y/o de buenas prácticas la o las personas perderán automáticamente el derecho a enviar contribuciones | | *This journal maintains the codes of ethics and good scientific, technological, and humanistic editorial practices (for example, COPE, CSE, CSIC, etc.). In case of detecting any lack of ethics and/or good practices, the person or persons will automatically lose the right to send contributions* |
| | El material de esta revista ha sido evaluado por pares y su contenido incluyendo figuras, mapas, etc., es responsabilidad de sus autores | | *The material in this journal has been peer reviewed. Its content including figures, maps, etc., is the responsibility of the authors* |
| | La revista, aunque no cuenta con la promoción directa de sitios especializados no comerciales o comerciales con acceso, permite a sus autores(as) que socialicen sus | | *Although the journal does not have the direct promotion of non-commercial or commercial specialized sites with access, it allows its authors to socialize* |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | contribuciones en esos sitios especializados | | *their contributions on those specialized sites* |
| | El manuscrito enviado está en formato Microsoft Word y la versión final aceptada por los evaluadores deberá estar en Word para Windows 97-2003 para evitar incompatibilidades | | *The submitted manuscript is in Microsoft Word format and the final version accepted by the evaluators must be in Word for Windows 97-2003 to avoid incompatibilities* |
| | Se han añadido direcciones de páginas electrónicas (doi o equivalente) para las referencias donde ha sido posible | | *Electronic page addresses (doi or equivalent) have been added for references where possible* |
| | El texto tiene interlineado doble; **las páginas están numeradas al igual que las líneas del texto, estas últimas de manera consecutiva**; el tamaño de fuente es 12 puntos tipo Tahoma; se usa cursiva sólo para el nombre de las especies en vez de subrayado y todas las ilustraciones, figuras y cuadros se colocan donde deben ir de acuerdo con su cita en el texto | | *Text is double spaced;* ***the pages are numbered like the lines of the text, the latter consecutively****; the font size is 12 point Tahoma type; italics are used only for the name of the species instead of underlining and all illustrations, figures and tables are placed where they should go according to their citation in the text* |
| | Es indispensable incluir, en la **sección de comentarios al editor**, los nombres, institución y direcciones de correo electrónico de todos(as) los(as) autores(as), comprometiéndose el(a) autor(a) responsable de la publicación a la anuencia de los otros coautores a que el manuscrito sea evaluado y eventualmente publicado en esta revista | | *It is essential to include, in the* ***comments to the editor section****, the names, institution and email addresses of all the authors, the author responsible for the publication committing to the consent of the other co-authors that the manuscript be evaluated. and eventually published in this journal* |
| | Es indispensable incluir, en la **sección de comentarios al(a) editor(a)**, los nombres, institución y direcciones de correo electrónico de **al menos** tres posibles revisores(as) para su manuscrito, que no deberán pertenecer a la institución de trabajo de ninguno de los autores ni tener vínculos de proyectos conjuntos con ellos(as) | | *It is essential to include, in the comments to the editor section, the names, institution and email addresses of at least three possible reviewers for your manuscript, who should not belong to the work institution of any of the authors or have joint project links with them* |
| | Como la revista se revisa por pares en la modalidad doble ciego, tiene que asegurase que los nombres de los autores no se han incluido después del título del trabajo, ni en las propiedades del archivo | | *As the journal is peer-reviewed in double-blind mode, you have to make sure that the names of the authors have not been included after the title of the work, nor in the properties of the file* |
| | El Consejo Editorial se reserva la confidencialidad de los formatos de evaluación usados por los(as) revisores(as) de las contribuciones (doble ciego). En los documentos revisados se indicarán las | | *The Editorial Board reserves the confidentiality of the evaluation formats used by the reviewers of the contributions (double blind). The revised documents will indicate the* |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | recomendaciones de los(as) revisores(as) y los puntos de mejora para los posibles dictámenes (aceptado, aceptado con correcciones, enviado para correcciones mayores y enviado al autor para otra revista fraterna con la temática *ad hoc* | | *recommendations of the reviewers and the points of improvement for the possible opinions (accepted, accepted with corrections, sent for major corrections, and sent to the author for another ad hoc fraternal journal* |
| | El tiempo máximo para que el(a) autor(a) de corespondencia reciba información de aceptación o rechazo es de 3 meses | | *The maximum time for the corresponding author to receive acceptance or rejection information is 3 months* |
| | La revista permite el autoarchivo de los artículos publicados en repositorios institucionales, temáticos o páginas Web personales siempre y cuando no haya un uso lucrativo de ellos | | *The journal allows the self-archiving of articles published in institutional or thematic repositories or personal Web pages as long as there is no lucrative use of them.* |
| | Esta revista no exige que los(as) autores(as) tengan (ID):ORCID. Si el(a) autor(a) lo desea puede ponerse en su contribución. | | *This journal does not require authors to have (ID):ORCID. If the author wishes, this information can be included in his/her contribution* |
| | Para garantizar su difusión a más lectores(as) el Consejo Editorial y los(as) autores(as) están de acuerdo en que esta revista esté bajo la Licencia *Creative-Commons* con derechos de atribución y no comercial (**CC-BY-SA**): | | *To guarantee its dissemination to more readers, the Editorial Board and the authors agree that this journal is licensed under the Creative-Commons License with attribution and non-commercial rights (**CC-BY-SA**) :* |
| | "Esta licencia permite el uso comercial de la obra y de las posibles obras derivadas, pero la distribución de éstas se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original, es decir, la obra derivada que se lleve a cabo a partir de la obra original deberá ser explotada bajo la misma licencia" | | *"This license allows the commercial use of the work and of the possible derivative works, but the distribution of these must be done with a license equal to that which regulates the original work, that is, the derivative work that is carried out from of the original work must be exploited under the same license"* |

Una vez que un artículo es aceptado para su publicación, el autor está de acuerdo en que los derechos de su texto pasan a ser propiedad de la Revista ATSM con las implicaciones legales que esto significa.

*Once an article is accepted for publication, the author agrees that the rights to its text become the property of ATSM Journal with the legal implications that this means.*

La distribución de artículos aceptados, pero aún no publicados (*preprints*), por cualquier medio no está permitida. La infracción de esta norma puede ocasionar que el artículo aunque ya esté aceptado, sea retirado para su publicación.

*The distribution of articles accepted, but not yet published (preprints), by any means is not allowed. Violation of this rule may cause the article, even if it is already accepted, to be withdrawn for publication.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Los(as) autores(as) se comprometen a aceptar las condiciones de este aviso de derechos de autor(a), que se aplicarán a este envío siempre y cuando se publique en esta revista y más abajo se pueden añadir comentarios al(a) editor(a). | | *The author(s) agree to accept the conditions of this copyright notice, which will apply to this submission as long as it is published in this journal and comments to the editor can be added below.* |

## Declaración de privacidad de la revista

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en este sitio se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

## *Journal privacy statement*

*The names and email addresses entered on this site will be used exclusively for the purposes stated by this journal and will not be available for any other purpose or other person.*

## Comentarios para el(a) editor(a)

Introduzca el texto relacionado con los puntos señalados arriba

## *Comments to the Editor*

*Introduce any text corresponding to the points above*

| | | |
|---|---|---|
| Como apoyo a los(as) autores(as), lectores(as) o revisores(as), a continuación se presentan algunos puntos interesantes proporcionados por las(os) colegas de la Red de Revistas Cientificas de Acceso Abierto Diamante presentado por el Sistema de Información Científica Redalyc de la Universidad Autónoma del Estado de México, México. | | *As support to the authors, readers or reviewers, below are some interesting points provided by the colleagues of the Diamante Open Access Scientific Journals Network presented by the System of Scientific Information Redalyc of the Autonomous University of the State of Mexico, Mexico.* |
| | | |
| 1. CRITERIOS BÁSICOS DE ADMISIÓN | | *1. BASIC CRITERIA FOR ADMISSION* |
| | | |
| 1.1. Política de Acceso Abierto Inmediato (AAI)<br>Esta revista permite leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o vincular los textos completos de sus artículos, de manera inmediata después de su publicación. | | *1.1. Immediate Open Access Policy (AAI)*<br>*This journal allows you to read, download, copy, distribute, print, search or link the full texts of its articles, immediately after publication.* |
| 1.2. No efectuar cargos por procesamiento de artículos (APC)<br>No se efectúan cargos monetarios por revisión, procesamiento, evaluación o publicación de artículos (*APC*, en inglés *article processing charges*) a autores y/o instituciones. | | *1.2. No Article Processing Charges (APC)*<br>*No monetary charges for article review, processing, evaluation or publication (APC, in English article processing charges) are made to authors and/or institutions.* |
| 1.3. Institución editora<br>La institución editora de la revista es una red académica perteneciente al sector académico o de investigación sin fines de lucro por lo que queda inscrita en uno de los supuestos señalados de que debe ser una institución académica, de investigación, sociedad científica, universidad u **organización sin fin de lucro** perteneciente al sector académico o de investigación. | | *1.3. Publishing institution*<br>*The publishing institution of the journal is an academic network belonging to the non-profit academic or research sector, which is why it is registered in one of the aforementioned assumptions that it must be an academic, research institution, scientific society, university or non-profit organization. for-profit belonging to the academic or research sector.* |
| 1.4. Revisión por pares<br>Todos los originales publicados son sometidos a un proceso de dictamen por pares académicos (especialistas). El tipo evaluación es la conocida como doble ciego. | | *1.4. Peer Review*<br>*All published originals are submitted to an opinion process by academic peers (specialists). The type of evaluation is known as double blind.* |
| 1.5. Antigüedad<br>Tiene once años de existencia. Los fascículos editados en el último año (2022) están visibles en la **plataforma OJS** y en la página de la revista **https://atsmexico.org/atsm**. | | *1.5. Antiquity*<br>*It has eleven years of existence. The issues published in the last year (2022) are visible on the OJS platform and on the journal page https://atsmexico.org/atsm.* |

| | | |
|---|---|---|
| Para efectos de la evaluación, sólo se considerarán los números regulares editados. | | *For evaluation purposes, only regular published issues will be considered.* |
| 1.6. Cumplimiento de periodicidad<br>Los fascículos se publican puntualmente de acuerdo con la periodicidad expresada por la revista (semestralmente). El primer fascículo se pone en línea el 30 de junio y el segundo el 30 de diciembre. | | *1.6. Periodicity compliance*<br>*The issues are published punctually according to the periodicity expressed by the journal (semester). The first issue goes online on June 30 and the second on December 30.* |
| 1.7. Datos de identificación<br>Los datos visibles en el sitio web de la revista https://atsmexico.org/atsm:<br>● Título completo<br>● ISSN electrónico<br>● Institución editora<br>● Ciudad<br>● País<br>● Correo | | *1.7. Identification data*<br>*The data visible on the journal website https://atsmexico.org/atsm:*<br>● *Full title*<br>● *electronic ISSN*<br>● *Publishing institution*<br>● *City*<br>● *Country*<br>● *Mail* |
| | | |
| 2. CRITERIOS CUALITATIVOS | | *2. QUALITATIVE CRITERIA* |
| | | |
| 2.1. Porcentaje de contenido científico<br>El 100% de las colaboraciones de cada fascículo son resultados originales producto de investigaciones científico-tecnológicas y sometidas a revisión por pares. | | *2.1. Percentage of scientific content*<br>*100% of the collaborations in each issue are original results, the product of scientific-technological research and subjected to peer review.* |
| 2.2. Exogeneidad de las publicaciones<br>El 80% de los trabajos científicos publicados en cada número son colaboraciones ajenas a la institución editora RACAM y su sororal RedICA (con al menos un autor ajeno a la institución). | | *2.2. Exogeneity of publications*<br>*80% of the scientific papers published in each issue are collaborations outside the RACAM publishing institution and its sister organization RedICA (with at least one author outside the institution).* |
| 2.3. Artículos por año<br>Se publican siempre 12 artículos o resultados de investigación al año. El promedio anual es de 12 artículos | | *23. Articles per year*<br>*Articles or research results published per year are 12. The annual average is 12 articles.* |
| 2.4. XML JATS<br>Se dispone de artículos marcados en formato XML JATS. | | *2.4. XML JATS*<br>*Articles are available in XML JATS format.* |
| 2.5. Publicación homogénea<br>La revista es homogénea y publica 6 artículos por fascículo. | | *2.5. Homogeneous publication*<br>*The journal is homogeneous and publishes 6 articles per issue.* |
| 2.6. Indexaciones<br>La revista está indexada en Directorio Latindex y será enviada para calificación. | | *2.6. Indexing*<br>*The journal is indexed in the Latindex directory and will be sent for qualification.* |
| 2.7. Plataforma electrónica | | *2.7. Electronic platform* |

| | | |
|---|---|---|
| La revista tiene una página independiente https://atsmexico.org/atsm. | | *The journal has an independent page https://atsmexico.org/atsm.* |
| 2.8. Formatos de lectura<br>Pone a disposición de los usuarios los siguientes formatos electrónicos para el despliegue de los artículos publicados: PDF, XML JATS. | | *2.8. Reading formats*<br>*It makes the following electronic formats available to users for displaying published articles: PDF, XML JATS.* |
| 2.9. Contenido científico<br>Publica fascículos completos con contenido científico y tecnológico, artículos derivados de investigaciones. | | *2.9. Scientific content*<br>*It publishes complete fascicles with scientific and technological content, articles derived from research.* |
| | | |
| 3. CRITERIOS ALTAMENTE VALORADOS CUANTITATIVOS | | *3. HIGHL Y VALUED QUANTITATIVE CRITERIA* |
| | | |
| 3.1. Prácticas editoriales<br>3.1.1. Exogeneidad de evaluadores<br>Los evaluadores no cobran y son externos a las dos entidades editoras RACAM y RedICA. | | *3.1. Editorial practices*<br>*3.1.1. Exogeneity of evaluators*<br>*The evaluators do not charge and are external to the two publishing entities RACAM and RedICA.* |
| 3.1.2. Publicación original e inédita<br>Todo artículo postulado para su publicación es original e inédito y no está postulado simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales. | | *3.1.2. Original and unpublished publication*<br>*All articles submitted for publication are original and unpublished and are not simultaneously submitted to other journals or editorial bodies.* |
| 3.1.3. Publicación preprints<br>La revista no acepta preprints. | | *3.1.3. Preprint publication*<br>*The journal does not accept preprints.* |
| 3.1.4. Exogeneidad del Consejo Editorial<br>El 75% de los integrantes del Consejo Editorial son ajenos a la entidad editora. | | *3.1.4. Exogeneity of the Editorial Board*<br>*75% of the members of the Editorial Board are outside the publishing entity.* |
| 3.1.5. Tiempos de evaluación<br>Brinda información a los autores sobre los tiempos estimados (30-60 días), para los procesos de evaluación (revisión por pares): Recepción y aceptación. | | *3.1.5. Evaluation times*<br>*It provides information to the authors about the estimated times (30-60 days), for the evaluation processes (peer review): Reception and acceptance.* |
| 3.1.6. Formato de evaluación en línea<br>El formulario de evaluación (utilizado en el proceso de revisión por pares) no aparece al público abiertamente pero se encuentra al final del reglamento de la revista que está en la plataforma. | | *3.1.6. Online evaluation form*<br>*The evaluation form (used in the peer review process) does not appear openly to the public but is found at the end of the journal's regulations that are on the platform.* |
| 3.1.7. Fechas recepción y aceptación<br>En la primera página después del título y los(as) autor(as), se indican las fechas de recepción y aceptación en cada artículo. | | *3.1.7. Reception and acceptance dates*<br>*On the first page, after the title and the author(s), the dates of receipt and acceptance of each article are indicated.* |

| | | |
|---|---|---|
| 3.1.8. Indicadores bibliométricos y/o cienciométricos<br>Son públicos los indicadores sobre el desempeño de la revista: La tasa de rechazo, el número de descargas, citas, o "responsables". | | *3.1.8. Bibliometric and/or scientometric indicators*<br>*The indicators on the performance of the journal are public: The rejection rate, the number of downloads, citations, or "responsible".* |
| 3.2. Periodicidad<br>3.2.1. Periodicidad<br>El fascículo incluye en su portada los meses que comprende el periodo de publicación, para el primero es enero-junio y para el segundo julio-diciembre y en su cintilla legal se señala que la fecha de publicación del primer fascículo es 30 de junio y del segundo 30 de diciembre en la página principal de la revista, hoja 2, así como la correspondiente en el segundo fascículo. | | *3.2. Periodicity*<br>*3.2.1. Periodicity*<br>*The issue includes on its cover the months that comprise the publication period, for the first it is January-June and for the second July-December and in its legal ribbon it is indicated that the date of publication of the first issue is June 30 and second December 30 on the main page of the journal, page 2, as well as the corresponding one in the second issue.* |
| 3.2.2. Fecha de publicación<br>La revista especifica el momento en el que pone en línea sus fascículos | | *3.2.2. Publication date*<br>*The journal specifies the moment in which it puts its issues online* |
| 3.3. Acceso abierto<br>3.3.1. Licenciamiento<br>En la primera página de cada contribución se menciona explícitamente el licenciamiento bajo el cual la revista *Ambiens Techné et Scientia México* e institución editora RACAM y RedICA publica los contenidos es: CC-BY-NC, CC: Creative Commons; BY: puede usar y compartir la obra, dando crédito al autor; NC: puede usar y compartir, solo si no hace un uso comercial. | | *3.3. Open access*<br>*3.3.1. Discharge*<br>*On the first page of each contribution, the licensing under which the Ambiens Techné et Scientia México journal and RACAM and RedICA publishing institution publishes the contents is explicitly mentioned: CC-BY-NC, CC: Creative Commons; BY: you can use and share the work, giving credit to the author; NC: You can use and share, only if you do not make a commercial use.* |
| 3.3.2. Metadatos de la licencia<br>En el encabezado de la primera página incluye la información relativa a la licencia *Creative Commons* (legible por máquinas) en los metadatos de los artículos en formatos portables (PDF). | | *3.3.2. License metadata*<br>*In the header of the first page, it includes the information related to the Creative Commons license (readable by machines) in the metadata of the articles in portable formats (PDF).* |
| 3.3.3. Fuentes de financiamiento<br>Esta revista no tiene ninguna fuente de financiamiento y sus editores y evaluadores trabajan altruistamente. Esta publicación electrónica recibe apoyo altruista de personal académico de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, quienes dedican parte de su tiempo libre a esta publicación electrónica. | | *3.3.3. Funding sources*<br>*This journal does not have any funding source and its editors and reviewers work altruistically. This electronic publication receives altruistic support from academic staff of the Faculty of Chemistry of the National Autonomous University of Mexico, who dedicate part of their free time to this electronic publication.* |

| | | |
|---|---|---|
| 3.3.4. Derechos de autor (*copyrigth*)<br>El titular de los derechos de autor (copyright), es la propia revista y los autores ceden los derechos para ser publicada su contribución de acuerdo con el siguiente inciso 3.3.5. | | *3.3.4. Copyright*<br>*The owner of the copyright is the journal itself and the authors assign the rights to publish their contribution in accordance with the following subsection 3.3.5.* |
| 3.3.5. Política de autoarchivo<br>La revista permite el **autoarchivo de los artículos** publicados, en repositorios institucionales, temáticos o páginas web personales. | | *3.3.5. Self-Archive Policy*<br>*The journal allows the self-archiving of published articles, in institutional, thematic repositories or personal web pages.* |
| 3.4. Gestión Editorial<br>Este rubro está señalado en el instructivo de autores antes de este texto | | *3.4. Publishing Management*<br>*This item is indicated in the authors' instructions before this text* |
| 3.4.1. Datos de contacto<br>Indica en los datos de contacto (En la hoja legal, segunda de cada número se encuentra esta información):<br>● Nombre completo del contacto<br>● Nombre completo de la institución u organismo editor (sin abreviaturas)<br>● Ciudad y país de edición (sin abreviaturas)<br>● Correo electrónico (institucional) | | *3.4.1. Contact information*<br>*Indicate in the contact information (In the legal page, second of each number, this information is found):*<br>● *Full name of the contact*<br>● *Full name of the publishing institution or organization (without abbreviations)*<br>● *City and country of publication (without abbreviations)*<br>● *Email (institutional)* |
| 3.4.2. Objetivos y alcance (Instructivo para autores)<br>Indica explícitamente los objetivos y alcance, así como la definición de la naturaleza, propósito, público y/o comunidad a la que se dirige en los antecedentes de la revista. | | *3.4.2. Objectives and scope (Instructions for authors)*<br>*It explicitly indicates the objectives and scope, as well as the definition of the nature, purpose, public and/or community to which it is directed in the background of the journal.* |
| 3.4.3. Especificidad temática<br>La revista recibe artículos a, b y c, según el instructivo de autores(as). | | *3.4.3. Thematic specificity*<br>*The journal receives articles a, b, and c, according to the author's instructions.* |
| 3.4.4. Equipo Editorial<br>El equipo editorial se describe con funciones o roles y se da crédito a las personas encargadas (Esta información se encuentra en la hoja legal). | | *3.4.4. Editorial Team*<br>*The editorial team is described with functions or roles and credit is given to the people in charge (This information is found in the legal sheet).* |
| 3.4.5. Membrete bibliográfico<br>Se identifica cada artículo mediante membrete bibliográfico en la página inicial (En el contenido de cada número):<br>● Nombre de la revista<br>● ISSN-e<br>● Volumen y número<br>● Periodo que cubre la edición indicando meses y años (Hoja legal) | | *3.4.5. Bibliographic letterhead*<br>*Each article is identified by bibliographic letterhead on the home page (in the content of each number):*<br>● *Journal name*<br>● *ISSN-e*<br>● *Volume and number*<br>● *Period covered by the edition indicating months and years (Legal page)* |

| | | |
|---|---|---|
| ● Nombres de los autores | | ● *Author names* |
| 3.4.6. Afiliación del Consejo Editorial<br>Se indica la afiliación institucional de los miembros del consejo editorial, incluyendo el país (Hoja legal). | | *3.4.6. Editorial Board Affiliation*<br>*The institutional affiliation of the members of the editorial board is indicated, including the country (Legal page).* |
| 3.4.7. Tabla de contenido con traducción<br>Al inicio de cada fascículo existe una tabla de contenido que menciona: El título completo de todos los artículos en el idioma original y en un segundo idioma, en este caso el inglés; además, incluye el nombre del(os) autor (es). | | *3.4.7. Table of contents with translation*<br>*At the beginning of each issue there is a table of contents that mentions: The complete title of all the articles in the original language and in a second language, in this case English; In addition, it includes the name of the author(s).* |
| 3.4.8. Datos del o de la(los)(las) autor(es)(as)<br>Cada artículo indica los **nombres completos de los autores**, **la institución de adscripción, el país** de la institución de adscripción de cada autor y el correo electrónico de al menos un autor, el de correspondencia. | | *3.4.8. Data of the author(s)*<br>*Each article indicates the full names of the authors, the affiliation institution, the country of the affiliation institution of each author and the email address of at least one author, the correspondence address.* |
| 3.4.9. Identificador de autor (ID) ORCID<br>La revista no exige que los autores tengan ID: ORCID, en caso de que cuente con él se les recomienda que lo coloquen después de los datos de afiliación. | | *3.4.9. Author Identifier (ID) ORCID*<br>*The journal does not require authors to have ID: ORCID, if they do, it is recommended that they place it after the affiliation data.* |
| 3.4.10. Indexaciones<br>La revista está indexada en el Directorio Latindex y se iniciará en breve el proceso de evaluación. Cada registro declarado cuenta con un enlace directo al lugar en que se encuentra la lista maestra (*Master list*) donde se menciona la revista o dirección electrónica (URL) donde están los datos de la revista (Esto se logra accediendo con el vinculo al extremo inferior derecho que indica el vol(num)año) | | *3.4.10. Indexing*<br>*The journal is indexed in the Latindex Directory and the evaluation process will begin shortly. Each declared record has a direct link to the place where the master list (Master list) is located where the journal is mentioned or the electronic address (URL) where the journal data is (This is achieved by accessing the link at the bottom end right indicating the vol(num)year)* |
| 3.4.11. Normas de referencias bibliográficas<br>Esta revista menciona en el instructivo para autores que utiliza el estilo Elsevier de mediados del siglo XX para las referencias bibliográficas, el cual los autores deben observar (ver instructivo para autores páginas arriba). | | *3.4.11. Bibliographic reference standards*<br>*This journal mentions in the instructions for authors that it uses the mid-twentieth century Elsevier style for bibliographic references, which authors must observe (see instructions for authors pages above).* |
| 3.4.12. Estilo de citación<br>A continuación, se muestra el estilo de citación que se debe utilizar: Elsevier de mediados del siglo XX. | | *3.4.12. Citation style*<br>*Below is the citation style to use: Elsevier mid-20th century.*<br>*Example: See the instructions for authors* |

| | | |
|---|---|---|
| Ejemplo: Ver el instructivo de autores | | |
| 3.4.13. Resumen y palabras clave en idioma original<br>Cada artículo incluye tanto el resumen como las palabras clave en el **idioma original, el español.** | | *3.4.13. Abstract and keywords in original language*<br>*Each article includes both the abstract and the keywords in the original language, Spanish.* |
| 3.4.14. Resumen y palabras clave en segundo idioma<br>Cada artículo incluye el resumen y las palabras clave en un **segundo idioma, el inglés.** | | *3.4.14. Abstract and keywords in second language*<br>*Each article includes the abstract and keywords in a second language, English.* |
| 3.4.15. Instrucciones para los autores en dos idiomas<br>Se incluyen estas instrucciones para los autores en un segundo idioma (inglés) de manera visible en la página de la revista. | | *3.4.15. Instructions for authors in two languages*<br>*These instructions for authors are included in a second language (English) conspicuously on the journal page.* |
| 3.4.16. Código de ética<br>La revista menciona su adhesión al código de ética y buenas prácticas editoriales científicas (COPE) en el instructivo de autores. | | *3.4.16. Code of ethics*<br>*The journal mentions its adherence to the code of ethics and good scientific editorial practices (COPE) in the authors' instructions.* |
| 3.4.17. Detección de similitud (posible plagio)<br>Esta revista no aplica la detección de similitud y posible plagio, pues para utilizar el software que posee la Dirección General de Publicaciones de la UNAM, entidad a la que pertenece la mayoría del Comité Editorial, esa autoridad indicó desde el inicio de la publicación en 2013 que era necesario que esta fuera parte de las revistas de la Universidad Nacional Autónoma de México requiriendo la firma del titular de una dependencia académica, lo cual ejercería coerción sobre la libertad académica de la revista. Por lo tanto, se apela a la ética de los autores(as) y, en caso de que llegara a detectarse un posible plagio se haría del conocimiento de los autores(as) responsables de la publicación para corregirlo y, en caso de no cumplir, se retiraría la contribución. | | *3.4.17. Similarity detection (possible plagiarism)*<br>*This journal does not apply the detection of similarity and possible plagiarism, because to use the software owned by the General Directorate of Publications of the UNAM, entity to which the majority of the Editorial Committee belongs, that authority indicated from the beginning of the publication in 2013 that it was necessary for this to be part of the journals of the National Autonomous University of Mexico requiring the signature of the head of an academic unit, which would exert coercion on the academic freedom of the journal. Therefore, the ethics of the authors is appealed to and, in the event that a possible plagiarism is detected, the authors responsible for the publication will be made aware of it in order to correct it and, in case of non-compliance , the contribution would be withdrawn.* |
| 3.4.18. Política de preservación digital<br>No se cuenta con una política de preservación de archivos digitales en (Lockss, Clockss, | | *3.4.18. Digital Preservation Policy*<br>*There is no policy for the preservation of digital files in (Lockss, Clockss, Portico,* |

| | | |
|---|---|---|
| Portico, etc.), debido a que son empresas de lucro y nuestra revista no es lucrativa por lo que no se cuenta con fondos para pagar este tipo de servicios. Cada una de las contribuciones se almacena en formato pdf con sistemas de cómputo "espejo", independientes uno de otro. | | *etc.), because they are for-profit companies and our journal is not for profit, so there are no funds to pay for this type of service. Each of the contributions is stored in pdf format with "mirror" computing systems, independent of one another.* |
| 3.5. Aprovechamiento de Tecnología | | *3.5. Leveraging Technology* |
| 3.5.1. Uso de gestor editorial<br>Utiliza un gestor editorial electrónico como herramienta de control del proceso de dictamen y no sólo como plataforma de publicación abierta: *Open Journal System (OJS)*. | | *3.5.1. Use of editorial manager*<br>*It uses an electronic editorial manager as a control tool for the opinion process and not only as an open publication platform: Open Journal System (OJS).* |
| 3.5.2. Protocolos de interoperabilidad<br>La revista sí cuenta con protocolos de interoperabilidad y la dirección electrónica es: https://atsmexico.org/atsm/about | | *3.5.2. Interoperability protocols*<br>*The journal does have interoperability protocols and the electronic address is: https://atsmexico.org/atsm/about* |
| 3.5.3. Motor de búsqueda<br>La revista sí cuenta con un motor de búsqueda específico para los contenidos de la revista y para la localización y recuperación de artículos publicados; además, permite el uso de operadores lógicos para optimizar la búsqueda. | | *3.5.3. Search Engine*<br>*The journal does have a specific search engine for the journal contents and for locating and retrieving published articles; In addition, it allows the use of logical operators to optimize the search.* |
| 3.5.4. Descarga individual de contenidos<br>Permite la descarga de cada uno de los artículos de manera individual. | | *3.5.4. Individual download of content*<br>*Allows the download of each of the articles individually.* |
| 3.5.5. Colección integrada<br>Todos los números digitales disponibles están visibles en un solo sitio web. | | *3.5.5. Integrated collection*<br>*All available digital numbers are visible on a single website.* |
| 3.5.6. Identificador de recursos digitales<br>Los artículos no cuentan con un identificador digital de objeto (DOI), pues esta fundación exige un pago anual y por tal razón no se cuenta con él. Supuestamente existen empresas patrocinadoras pero el comité editorial de esta revista no ha encontrado ninguna que sea gratuita. | | *3.5.6. Digital resource identifier*<br>*The articles do not have a digital object identifier (DOI), since this foundation requires an annual payment and for this reason it is not available. Supposedly there are sponsoring companies but the editorial committee of this journal has not found any that are free.* |
| 3.5.7. Navegación y usabilidad<br>La página electrónica cuenta con adecuada navegabilidad, es decir, permite el acceso a los contenidos de la revista en un máximo de tres clics. | | *3.5.7. Navigation and usability*<br>*The electronic page has adequate navigability, that is, it allows access to the contents of the journal in a maximum of three clicks.* |
| 3.5.8. Valor agregado<br>La revista no cuenta con características | | *3.5.8. Added value*<br>*The journal does not have its own* |

| | | |
|---|---|---|
| propias para brindar valor agregado al usuario: En el texto de REDALyC se recomiendan servicios multimedia, acceso a datos fuente, servicios de accesibilidad e interacción con el usuario, así como la promoción a través de sitios especializados no comerciales (Open edition, Doaj, Erudit, etc.), comerciales con acceso (Google Académico, Mendeley, Academia.edu, Research Gate, etc.). La primera y más importante razón es que la revista es justamente eso, una revista académica que visibiliza el conocimiento generado por colegas de habla española para el beneficio de la sociedad y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. | | *characteristics to provide added value to the user: The REDALyC text recommends multimedia services, access to source data, accessibility services and interaction with the user, as well as promotion through specialized non-commercial sites (Open edition, Doaj, Erudit, etc.), commercial with access (Google Scholar, Mendeley, Academia.edu, Research Gate, etc.). The first and most important reason is that the journal is exactly that, an academic journal that makes visible the knowledge generated by Spanish-speaking colleagues for the benefit of society and the improvement of people's quality of life.* |
| 3.5.9. Interacción con el usuario<br>La revista no facilita el uso de tecnologías de interacción, como blogs y/o foros que permitan al usuario una mayor interacción exactamente por las razones señaladas en el punto anterior. | | *3.5.9. User interaction*<br>*The journal does not facilitate the use of interaction technologies, such as blogs and/or forums that allow the user greater interaction for exactly the reasons indicated in the previous point.* |
| 3.5.10. Estadísticas de descargas<br>La revista tiene un apartado de estadísticas de descargas actualizadas, ya sean de su propio sitio web o bien recurriendo a servicios de terceros. | | *3.5.10. Download statistics*<br>*The journal has a section with updated download statistics, whether from its own website or using third-party services.* |
| | | |

Esta revista es electrónica

Se terminó de editar en el servidor de los Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental

Ciudad de México, México

2021