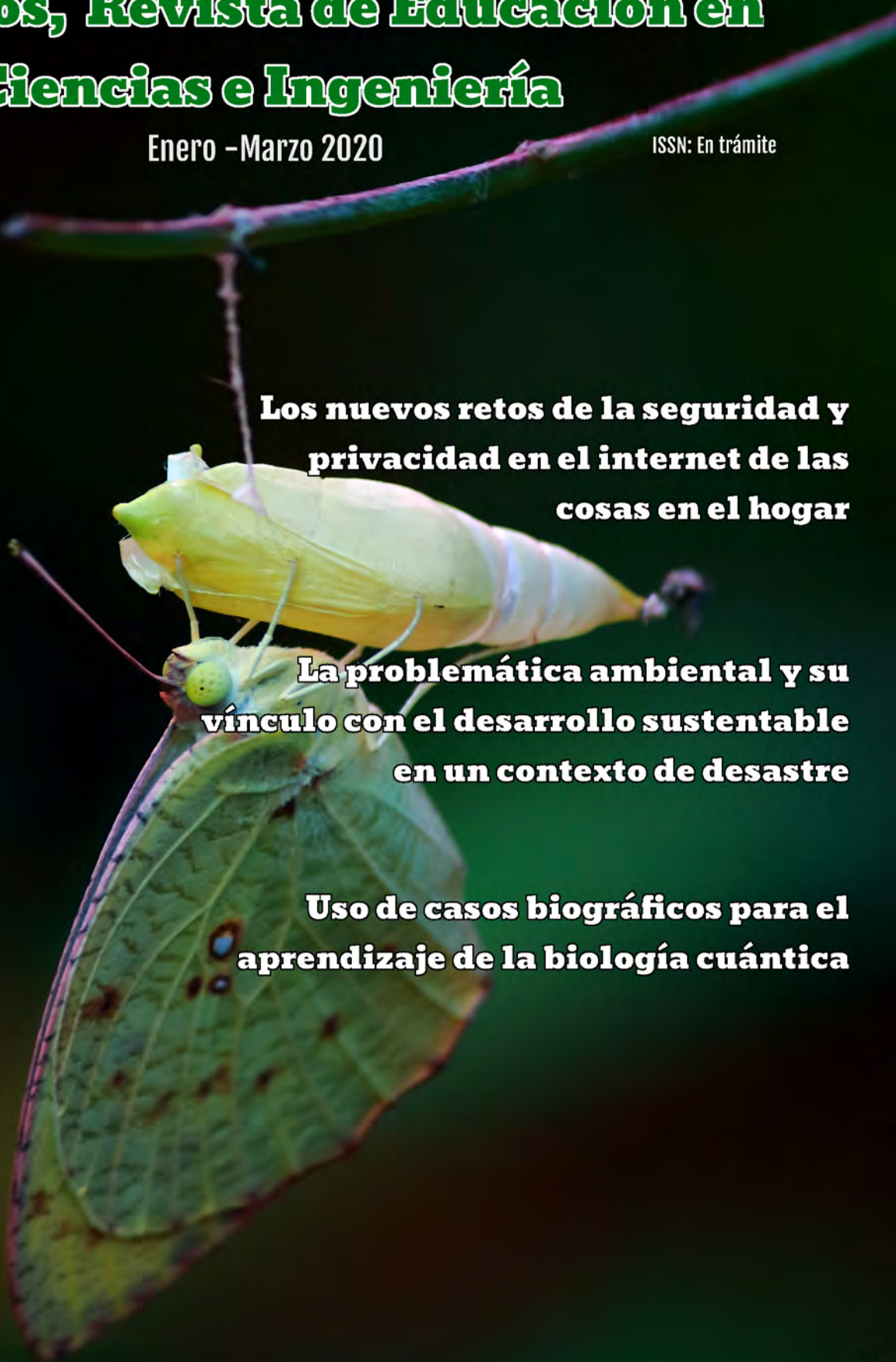
Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Enero –Marzo 2020

ISSN: En trámite

No. 115



Los nuevos retos de la seguridad y privacidad en el internet de las cosas en el hogar

La problemática ambiental y su vínculo con el desarrollo sustentable en un contexto de desastre

Uso de casos biográficos para el aprendizaje de la biología cuántica

Casa abierta al tiempo | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Revista de las divisiones de CBI y CBS

www.pexels.com

Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería
No. 115 Enero - Marzo 2020

Editorial 3

Los nuevos retos de la seguridad y privacidad en el internet de las cosas en el hogar 5
Mtro. Flores Montaño Luis Alberto
Lic. Aline Militzin Rojas Perea
Dr. Álvarez Cedillo Jesús Antonio

La problemática ambiental y su vínculo con el desarrollo sustentable en un contexto de desastre 13
Marta Chávez Cortés

Uso de casos biográficos para el aprendizaje de la biología cuántica 26
Alejandra García Franco
Felipe Aparicio Platas
Armando Gama Goicochea

Estudio cartográfico del volcán Popocatépetl, Puebla, México: volumen edificio volcánico, aceleración de la gravedad y zonas de riesgo para la población 37
Rogelio Ramos Aguilar
Patricia Máximo Romero
María de la Cruz Vázquez García
Ana Guadalupe Martínez Ortiz
Daniel Hernández Andrade
Dora Marcela Benítez Ramírez

Descenso máximo en diques rompeolas de piezas sueltas con perfil en S 53
Jair Del Valle Morales
José Antonio González Vázquez
Claudia Rojas Serna
Erika Hernández Vivar

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería
en la WEB
Lea los artículos publicados en
http://www2.izt.uam.mx/contactos/

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
CONACYT ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Rector General
Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro.
Secretario General
Dr. José Antonio de los Reyes Heredia.

UNIDAD IZTAPALAPA
Rector
Dr. Rodrigo Díaz Cruz.
Secretario
Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders.
Director de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia.
Directora de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Dra. Sara Lucía Camargo Ricarlde.

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería:
Consejo Editorial:
Dr. Rodrigo Díaz Cruz,
Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders,
Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia,
Dra. Sara Lucía Camargo Ricarlde.
UAM- Iztapalapa
Editor en Jefe:
M. C. Alma Edith Martínez Licona.
Comité Editorial por CBS:
Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura Josefina Pérez Flores, Dr. Pedro Luis Valverde Padilla,
Por CBI:
Dr. Hugo Ávila Paredes.
Por la Universidad Iberoamericana:
Mtro. Adolfo G. Fink – Pastrana.

CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA. 3ª Época, No. 115, Enero – Marzo 2020, es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex–Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14387, México, Ciudad de México y Av. San Rafael Atlixco No. 186, Edificio T174, Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C. P. 09340, México, Ciudad de México, Tel. 5804 – 4634 Página electrónica de la revista: http://www2.izt.uam.mx/contactos/ y dirección electrónica: cts@xanum.uam.mx Editora responsable MC Alma E. Martínez Licona. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2013-042212044000-203, ISSN en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Licona; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación 31 de marzo de 2020. Tamaño del archivo 119 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.
Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.
Fecha de Publicación: Enero – Marzo de 2020.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar por mail el trabajo en Word. Toda correspondencia deberá enviarse a:
Comité Editorial de **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería**,
UAM – Iztapalapa, T – 174, Tel. 5804-4634
Av. San Rafael Atlixco No. 186, C. P. 09340, CDMX.
Apartado Postal 55 -534
http://www2.izt.uam.mx/contactos/ e-mail cts@xanum.uam.mx

Editorial

Empezamos un año lleno de cambios y reflexiones, queriendo optimizar los recursos económicos en la universidad, además de aprovechar la tecnología y tomando un papel de responsabilidad social, la Revista Contactos cambia de formato convirtiéndose éste año en una revista digital, no solo se trata de un ahorro económico sino también de aportar un granito de arena al tratar de reducir el impacto en la naturaleza en la producción del papel.

La revista continua en el Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica de CONACYT, también con su compromiso en mantener la calidad en sus artículos para sus amables lectores, así, los invitamos a seguirnos en la página web de la revista y seguir con el apoyo de autores y lectores en esta nueva etapa de la Revista Contactos.

Termino invitándolos a disfrutar la lectura de este primer número digital.

Atentamente

MC Alma Edith Martínez Licona
Editora en Jefe

Información para autores

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería, Revista dirigida a profesores y a estudiantes de estas disciplinas.
Está registrada en el índice de revistas de divulgación de Conacyt, así como en Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
Para publicar, los trabajos deberán ser originales y accesibles a un público amplio con formación media superior o universitaria pero no especializada; los temas deberán presentarse en forma clara. Cada colaboración debe incluir figuras, diagramas, ilustraciones, fotografías, etc. (otorgando el crédito correspondiente en caso de no ser original), que hagan más accesible la presentación.
Las secciones que la constituyen son:
1. Divulgación. Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).
2. Educación científica. Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).
3. Artículos especializados. Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).
4. Crónicas. Historia y desarrollo de conceptos científicos, así como teorías alternativas (15 cuartillas).
5. Divertimentos. Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).
6. Noticias breves. Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).
7. Los laureles de olivo. Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas).
En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

Normas
Las colaboraciones a las secciones 1 a 4 deberán ajustarse a las siguientes normas:
1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español en inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA)...
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla posible.
5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto la publicación del placebo se asevera que "el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma" (Núñez, 1982, p.126).
6. Las referencias (no más de 10) se marcarán de acuerdo al siguiente ejemplo: Sin embargo, ese no es el punto de vista de la Escuela de Copenhague (Heisenberg, 1958), que insiste en...
7. Al final del artículo se citarán las referencias por orden alfabético de autores. Pueden añadirse lecturas recomendadas (no más de 5).
8. Cada referencia a un artículo debe justarse al siguiente formato: Szabadváry, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, J. Chem. Educ, 41 [2], pp.105 -107, 1964.
9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science, Harper Torchbook, Nueva York, pp.44-58, 1958. 10. Para páginas electrónicas: dirección (fecha de acceso).
11. Los títulos de reportes, memorias, etcétera, deben ir subrayados o en itálicas.

Envío y características del artículo
El envío del artículo deberá ser en archivo electrónico, en Word, tipo de letra Time New Roman, tamaño 12 con interlineado sencillo y uso de editor de ecuaciones.
En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado.
El material es recibido en:

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.
UAM – Iztapalapa, T-174,
Información: cts@xanum.uam.mx, tel. 5804-4634
Av. San Rafael Atlixco, 186, C. P. 09340,
CDMX. A.P. 55-534

Arbitraje
El Comité utiliza un sistema de arbitraje anónimo que requiere un mes. Se entiende que los autores no han enviado su artículo a otra revista y que dispondrán de un plazo máximo de un mes para incorporar las observaciones de los árbitros.
La decisión final de publicar un artículo es responsabilidad exclusiva del Comité Editorial.

Los nuevos retos de la seguridad y privacidad en el internet de las cosas en el hogar

Mtro. Flores Montaño Luis Alberto
Exalumno de Maestría en Informática
SEPI UPIICSA

Lic. Aline Militzin Rojas Perea
Estudiante de Maestría en Docencia ALIAT

Dr. Álvarez Cedillo Jesús Antonio
Profesor de Maestría en Informática
SEPI UPIICSA

Imagen proporcionada por el autor

Resumen

El Internet de las cosas (en inglés "Internet of Things" o IoT) es considerado una de las tecnologías más innovadoras, sin embargo, debido a su arquitectura computacional de bajo procesamiento, presenta un problema para la implementación de protocolos de seguridad. Por ello, ha generado diversas propuestas de soluciones en variadas aplicaciones que utilizan estos dispositivos, considerando que las medidas de seguridad implementadas a las aplicaciones de uso doméstico son distintas a las de operaciones comerciales, y tomando en cuenta los recursos financieros y humanos disponibles para implementar la seguridad y privacidad.

El problema en la seguridad del internet de las cosas en las casas inteligentes suele deberse, en muchas ocasiones, a error humano; no obstante, también influyen considerablemente los errores técnicos en esta tecnología. Por lo tanto, en este artículo se examinan las soluciones existentes para mejorar la seguridad en los dispositivos antes mencionados, así como la identificación de requisitos esenciales para la seguridad en los dispositivos en una "casa inteligente", conocida también como "Smart Home".

Para lograr estos objetivos, se selecciona una arquitectura de puerta de enlace adecuada para los dispositivos con un bajo poder de procesamiento; adicionalmente se identifican las tecnologías adecuadas de soporte para la administración automática del sistema. Se identifican debidamente dos principales tecnologías, la primera para la compatibilidad con la configuración automática del sistema, y la segunda para la actualización automática del firmware y software de los dispositivos que forman parte del sistema, el cual es fundamental para el funcionamiento adecuado y seguro.

Palabras clave

Casas Inteligentes, Middleware, Internet de las cosas, Nube de las cosas.

Abstract

The Internet of Things is considered one of the most innovative technologies; however, due to its low processing computing architecture, it is considered a problem for the implementation of security protocols; Therefore, it has generated various proposals for solutions in diverse applications that use these devices. Security measures implemented in applications for domestic use differ from those for commercial operations, considering financial and human resources available to implement security and privacy.

The problem in the security of the internet of things in smart homes is often due to human error; On the other hand, technical errors in this technology also influence considerably. Therefore, this article examines existing solutions to improve the security of the devices, as well as the identification of essential requirements for device security in a Smart Home.

To achieve these objectives, a gateway architecture suitable for devices with low processing power is selected; Additionally, appropriate support technologies for automatic system administration are identified. Two main technologies are duly identified, the first for compatibility with the automatic configuration of the system, and the second for the automatic update of the firmware and software of the devices that are part of the system, which is essential for proper and safe operation.

Keywords

Smart Home, Middleware, Internet of

Things, Cloud of Things.

Introducción

Hoy en día se considera a la Internet como una herramienta fundamental y necesaria para la vida diaria, tomando en cuenta su uso en casi todas las áreas de la sociedad actual; considerada también como una necesidad indispensable como lo son: el agua, gas, gasolina o la electricidad [1]. La esencialidad de este recurso provoca a su vez que exista el crimen en busca de un uso ilícito, afectando a terceros, obteniendo información ilegal, mandando virus (afectando información o diversos equipos informáticos) o simplemente negando el servicio de internet a ciertos sectores de la sociedad [3].

La interconexión de la red de internet implica que pueda ser afectada o atacada desde cualquier parte del globo, haciendo que la ciberseguridad sea algo fundamental para el uso seguro de esta tecnología, teniendo en cuenta los principios de autenticación, acceso y confidencialidad [3].

El internet se encuentra en una etapa orientada a los controladores o dispositivos conectados a esta, conocidos como el "Internet de las cosas" o por sus siglas en inglés como "IoT"; término que ha obtenido una gran relevancia en los últimos años, para describir la conexión en los dispositivos no tradicionales, como es el caso de electrodomésticos, equipos médicos, maquinaria de fábrica e incluso pequeños dispositivos que censan la información en la industria; dispositivos que ahora están presentes en básicamente todos los sectores de la sociedad [2].

Por lo tanto, diversas organizaciones importantes han fijado su atención en esta tecnología, como es el caso del Consejo de Inteligencia Nacional de los Estados Unidos, el cual considera al Internet de las Cosas como una de las "seis tecnologías con posibles impactos en los intereses de los Estados Unidos, hasta el año 2025" [4]; por otro lado, la Comisión Europea ya ha reconocido que en los años venideros el Internet de las Cosas será responsable de las tecnologías disruptivas [2].

Siendo así, el internet se ha convertido en un componente de misión fundamental para las empresas más modernas, por lo que la ciberseguridad se ha convertido en un componente indispensable de los sistemas de la información [2]; cabe destacar que, pese a que la ciberseguridad es mejorada con el pasar de los tiempos, lo mismo ocurre con el cibercrimen. Ambos evolucionan paralelamente, siendo ambos más sofisticados y explotando todos los recursos posibles de los sistemas de información y dispositivos.

Como muchas áreas de las ciencias computacionales, la privacidad y seguridad de la red son requisitos fundamentales para el funcionamiento adecuado y confiable en los dispositivos del Internet de las cosas [4]; sin embargo, estos últimos están enfocados únicamente a la seguridad de los sectores empresariales. No obstante, también existen tecnologías relativamente nuevas y emergentes que han sido puesto en la mira de la ciberseguridad, enfocadas a otros sectores de la sociedad [5], las cuales, han sido puestas en la mira por su vulnerabilidad, siendo así, estas son detalladas en esta investigación, específicamente para aplicaciones utilizadas en las Casas Inteligentes.

Como ya se mencionó, los sectores empresariales dedican una gran cantidad de recursos financieros y profesionales a la parte de la ciberseguridad en dispositivos y sistemas, así

como a los diseños de la arquitectura de los sistemas; por ello, esta investigación se enfoca en la tecnología utilizada en las Casas Inteligentes, la cual comúnmente no es tema de interés para la ciberseguridad [4], lo cual puede constatarse observando que los dispositivos utilizados en este sector no cuentan con recursos de gestión dedicados a la seguridad. Adicionalmente, se debe de tomar en cuenta que, en la mayoría de los casos, los usuarios de esta tecnología no cuentan con un conocimiento técnico profundo para el uso adecuado de dicha tecnología. Lo anterior evidencia los desafíos muy particulares para la privacidad y seguridad en el área; teniendo esta problemática, se presentan soluciones propuestas para este artículo que aborda las preocupaciones en la seguridad y las deficiencias en los sectores donde se deben de atender nichos en la seguridad.

Los aportes en esta investigación son dos principalmente: el primero es hacer un compendio de técnicas existentes en la red, con el propósito de que las Casas Inteligentes puedan ser protegidas de una manera más eficiente; consecuentemente, se detallan dos áreas, una en la actualización de los protocolos de seguridad y otra la configuración automática.

Contenido del artículo

Como ya se mencionó en la parte introductoria de este artículo, el Internet de las Cosas tiene un área muy amplia en diversos sectores, como es el caso del transporte público, restaurantes, entretenimiento, deporte, manufactura, telecomunicaciones, ciencias ambientales, educación, robóticas, ventas minoristas y salud. Para estas tecnologías de la Información (conocidas por sus siglas en inglés "TIC's"), existe personal especializado o en su defecto proveedores externos que garantizan la seguridad de la disponibilidad en los sistemas para las necesidades comerciales sean suficientes en los dispositivos o sistemas utilizados [5], no obstante, es común que el soporte profesional se presente continuamente en las fases de operación o en el diseño de la arquitectura de los dispositivos del Internet de las Cosas en las Casas Inteligentes. Existen estándares especializados como lo son las comunicaciones X 10 powerline-carrier, los cuales no poseen ningún tipo de seguridad, ya que fueron diseñados antes de que las redes de control domiciliario fueran conectadas a la red [4]. Sin embargo; hoy en día existen una gran cantidad de estándares en la red, los cuales, pueden usarse en las Csas Inteligentes como es el caso de las tecnologías como: Bluetooth, Zigbee Zwave, Thread Insteon, , Ethernet, Wifi, RS232, RS485, C-bus, UPB, KNX, EnOcean [5].

Las Casas Inteligentes potencialmente proporcionan una "comodidad" y "seguridad" adicional, así como una mayor sostenibilidad ecológica. Por ejemplo, un sistema inteligente de aire acondicionado puede usar una amplia variedad de sensores domésticos y fuentes de datos basadas en la web para tomar decisiones operativas inteligentes, en lugar de simples esquemas de control manual o de horario fijo. El sistema de aire acondicionado inteligente puede predecir la ocupación esperada de la casa mediante el seguimiento de los datos de ubicación para garantizar que el aire acondicionado alcance el nivel de comodidad deseado cuando la casa está ocupada y ahorra energía cuando no lo está.

Además, las Casas Inteligentes pueden ayudar a aumentar la comodidad de la vida independiente para el envejecimiento, así como ayudar con las tareas diarias, como

la limpieza, la cocina, las compras y la lavandería. Sin embargo, probablemente ninguno de estos beneficios se utilizará si el sistema la Casa Inteligente no es seguro y confiable. A continuación, se detallan algunas de las deficiencias que se pueden encontrar en los dispositivos de dichas casas.

Vulnerabilidades

Una vulnerabilidad es aquella deficiencia que se puede encontrar en un sistema; eso significa que el acceso del sistema en la red puede ser atacado mediante agentes ajenos o externos al mantenimiento adecuado; dichos ataques se pueden llevar a cabo de forma remota, ya sea por acceso directo a las interfaces de control en red o mediante la descarga de malware en los dispositivos [1].

El hardware del sistema en los dispositivos de las Casas Inteligentes tiene diversas vulnerabilidades, como es el caso de los controladores de estos dispositivos. Dichos controladores son comúnmente microcontroladores muy pequeños de 8 bits con recursos de cómputo, y almacenamiento muy limitados, lo cual limita la capacidad para implementar algoritmos de seguridad muy complejos; otra vulnerabilidad que tienen en los dispositivos viene desde fábrica, ya que contienen diferentes estándares de red y diferentes capacidades de actualización en el software [1].

Algo muy importante que se destaca en esta sección, es la mayor vulnerabilidad para estos dispositivos, ya que, debido a la falta de profesionalismo en la implementación de la seguridad, la complejidad de las redes carecen de protocolos básicos; debido a esto, en diversas situaciones, los propietarios de este tipo de casas no son asistidos por personas expertas en el tema para dar una administración adecuada a la red, por lo que dichos propietarios deben ser capaces de gestionar este sistemas de dispositivos de una manera más intuitiva.

Herramientas de apoyo existentes para la seguridad en el Internet de las Cosas en casas inteligentes

Debido al bajo presupuesto de los dispositivos del Internet de las Cosas, generalmente no suelen ser de un alto rendimiento en el procesamiento, como es el caso de computadoras portátiles o de escritorio; por otro lado, estos dispositivos tienen un costo de energía demasiado bajo, por lo que usan un microcontrolador de gama baja y consecuentemente, se tiene una memoria limitada. Cabe mencionar que estos controladores están muy acondicionados a los requisitos de los dispositivos utilizados en las Casas Inteligentes.

Por otro lado, las características peculiares en los controladores de estos dispositivos en red se hacen más desafiantes, ya que los protocolos de internet que existen hoy en día, por lo general no están diseñados para estos dispositivos integrados. Diversos grupos de ingenieros dedicados en la ingeniería del internet se han dedicado a crear soluciones para abordar este tipo de problemas, en especial el grupo conocido por sus siglas la IEFT (en inglés Internet Engineering Task Force); este grupo de ingenieros ha trabajado en el desempeño de los protocolos de comunicación ligeros, los cuales son necesarios para entornos restringidos a través de la red [3], con el existente protocolo IP. Adicionalmente, también incluyen a los protocolos IPv6, sobre las redes inalámbricas de área personal de baja potencia (conocido por sus siglas 6LoWPAN: RFC 6282) [2], al protocolo de enrutamiento IPv6 para redes de baja

potencia (conocido por sus siglas RPL: RFC 6550) [4] y el protocolo de aplicación restringida (conocido por sus siglas CoAP: RFC 7252) [3].

Arquitectura y diseño para la infraestructura

Para la arquitectura y el diseño de la infraestructura, esta investigación se basa en la gestión de un sistema de la seguridad de Casas Inteligentes, más específicamente, en mantener e instalar la seguridad habilitada, por lo que se involucra una arquitectura adecuada para la infraestructura de una casa inteligente; cabe mencionar que, en la actualidad existen diversas propuestas para dichas arquitecturas, que contienen diversos problemas en la seguridad y dificultades en la instalación.

Las cuatro arquitecturas en las que se basa está investigación son las más comunes e importantes, y que a continuación se especifican:

- **Middleware** -. Esta capa se encuentra entre la capa de aplicaciones de alto nivel y la de dispositivos de bajo nivel; proporciona una estructura de intercambio de datos estándar para abstraer los detalles complejos, así como diversos niveles inferiores del hardware, por otro lado, también proporciona una interfaz común. Dicha capa recibe una solicitud de una aplicación de capa superior, convirtiendo la solicitud de acceso a recursos estandarizados de alto nivel a los métodos específicos del dispositivo correspondientes. En la Figura 1 se muestra la infraestructura del software en la capa de Middleware.

Figura 1. Infraestructura del software Middleware.

- **Nube** -. Una parte importante de la arquitectura en el sistema es la nube, ya que esta contiene recursos para recopilar, procesar y monitorear datos que censan los dispositivos del Internet de las Cosas. Una vez que se analizan estos datos, la nube puede tomar acciones de acuerdo con las políticas definidas por el usuario, esto con el propósito de lograr un control complejo de una casa inteligente. Esta arquitectura también es conocida como Nube de las Cosas (en inglés Cloud of Things-CoT). La seguridad en el datagrama de transporte (en inglés Datagram Transport Layer Securit- DTLS), es utilizado por esta arquitectura como un protocolo de seguridad en la comunicación y autenticación [3]. Este esquema emplea el cifrado en una clave simétrica, con el propósito de aplicar confidencialidad entre las comunicaciones de extremo a extremo, asignando a cada dispositivo "inteligente" una clave única.

En la Figura 2 se muestra una interacción sencilla entre los dispositivos "inteligentes" conectados a la nube.

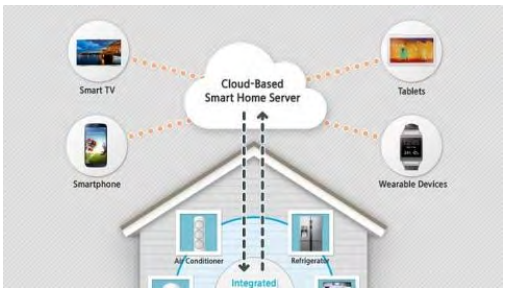


Figura 2. Infraestructura de la nube en una casa inteligente.

- **Puerta de Enlace** -. La puerta de enlace (en inglés gateway) es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación, traduciendo la información del protocolo utilizado en una red, al protocolo usado en la red de destino. En la Figura 3 se muestra la infraestructura de puerta de enlace en una casa inteligente. Posteriormente se detalla la importancia de mejoras en la puerta de enlace con el propósito de que sea suficientemente segura para su adopción en estos dispositivos en las Casas Inteligentes.

Figura 3. Infraestructura de puerta de enlace en una casa inteligente.

- **Soporte de autoconfiguración** -. Otro método para llevar a cabo una buena práctica para la gestión del sistema en la seguridad de las Casas Inteligentes es llevar cabo una arquitectura adecuada; adicionalmente, para esto existe el soporte de autoconfiguración, esto con el propósito de mantener adecuadamente la seguridad habilitada en todo momento.

Un dato importante que hay que tomar en cuenta es que en los años venideros se espera que más electrodomésticos inteligentes estén interconectados a la red de una casa inteligente. Tomando en cuenta que el soporte técnico sea el mayor desafío en un entorno familiar, poniendo a los usuarios en una situación donde pueden encontrar manuales tediosos o fastidiosos, que en su mayor parte provocan que existan errores para administrar y agregar estos dispositivos "inteligentes" a una red doméstica, presentando un riesgo en la seguridad. Por lo que la implementación de dichos dispositivos se debe estudiar a fondo con un enfoque de autoconfiguración segura, no solamente para simplificar la instalación y el mantenimiento estos dispositivos, sino también para mejorar la seguridad en la autoconfiguración.

Para hacer más segura la autoconfiguración, esta debe estar basada en dos componentes clave: uno es la implementación de un servicio basado en web, donde el fabricante o un tercero de confianza se mantienen al tanto de las últimas actualizaciones del firmware y software, las cuales pueden enviarse para ser identificadas durante el proceso de autoconfiguración. Este servicio web tiene la capacidad de distinguir las vulnerabilidades en el sistema operativo o el código de aplicación del dispositivo específico, pudiendo descargar parches para cualquiera de estos, teniendo cabida la puerta de enlace, la cual se encarga de administrar el proceso de actualización localmente.

Adicionalmente, la puerta de enlace puede programar automáticamente estas actua-

lizaciones en horarios convenientes en la hora local, también puede administrar la actualización de la información de reversión si durante la instalación de las actualizaciones resulta una perdida inesperada de funcionalidad, cuando la puerta de enlace está realizando pruebas automatizadas del software. Finalmente, la puerta de enlace también puede responder automáticamente a vulnerabilidades, teniendo como ejemplo el bloqueo de acceso en la red de un dispositivo inseguro, hasta tener un parche disponible para solucionar el problema.

Conclusiones

Los dispositivos del internet de las cosas no tienen un único dominio de aplicación, y los enfoques de seguridad utilizados en las aplicaciones para una casa inteligente son distintas en comparación de las que se ofrecen en las aplicaciones de la industria. Un problema particular que se debe tomar en cuenta es la seguridad de la red, ya que esta última depende de la instalación y configuración por parte de personal, provocando que las políticas y los mecanismos en cuestión de seguridad sean mucho más difíciles de desarrollar, implementar, cumplir y mantener, a menos que todo lo anterior se pueda hacer de manera automática. Finalmente, la adecuada organización en la arquitectura de la puerta de enlace soportada por servicios web para la configuración automática de red, dispositivos y actualizaciones automáticas del sistema se considera un enfoque viable para resolver problemas de seguridad.

Referencias y Recursos Electrónicos

1. Brandt, A., Hui, J., Kelsey, R., Levis, P., Pister, K., Struik, R., Vasseur, J.P., Alexander, Protocolo de enrutamiento IPv6 para redes de baja potencia y pérdida de energía; Internet Engineering Task Force; California, Estados Unidos, 2010.

2. Raza, S., Duquennoy, S., Chung, T., Yazar, D., Voigt, T., Roedig, U., Asegurando la comunicación en 6lowpan con Ipsec comprimido ". En actas de la Conferencia Internacional de 2011 sobre Informática Distribuida en Sistemas de Sensores y Talleres, Barcelona, España, 2011.

3. Shelby, Z., Hartke, K., Bormann, C., El protocolo de aplicación restringido (Coap), Internet Engineering Task Force: Fremont, CA, USA, 2014.

4. Thubert, P., Formato de compresión para redes basadas en datagramas Ipv6,, Internet Engineering Task Force, California, Estados Unidos, 2011.

5. Yu, L., Lu, Y., Zhu X, "Tecnologías civiles disruptivas, Seis Tecnologías con Potencial de Impacto en los intereses de Estados Unidos hasta el 2025", Consejo Nacional de Inteligencia-NIC", Washington D.C, Estados Unidos, 2008.

La problemática ambiental y su vínculo con el desarrollo sustentable en un contexto de desastre

Marta Chávez Cortés
Laboratorio de Planeación Ambiental.
UAM-Xochimilco

free-images.com

Resumen

Independientemente del enfoque del que partan, la mayoría de las acepciones del concepto de desarrollo sustentable tienen una cosa en común: proyectan algún tipo de escenario futuro en el que las variables de interés se desarrollan con el tiempo a lo largo de un curso de acción esperado y preferido, ante una problemática ambiental. En la sociedad moderna, la opinión más aceptada es que este escenario no está predestinado o predeterminado, sino que depende de una amplia gama de actividades humanas, procesos ambientales, etc. En este sentido, la complejidad y el carácter dinámico del mundo están creando una multitud de posibles futuros, causando incertidumbre en cuanto a lo que se materializará como resultado del desarrollo en la práctica. Ante esta situación, los individuos modernos, las organizaciones y las sociedades recurren a la noción de riesgo para dar sentido a su mundo incierto. Si el riesgo está relacionado con posibles desviaciones de un futuro esperado preferido, debemos reducirlo para salvaguardar nuestros objetivos de desarrollo y evitar la gestación de un desastre. Motivado por esta aseveración, este texto se enfoca a explorar brevemente el tema de los problemas ambientales y su vínculo con el desarrollo sustentable en el marco de referencia del desastre.

Palabras clave

Crisis ambiental, desarrollo sustentable, riesgo, desastre.

Abstract

Regardless the approach from which they start, most of the meanings of the concept of sustainable development have one thing in common: they project some kind of future scenario in which the variables of interest develop over time along a preferred expected course of action, before a given environmental problematic. In modern society, the most accepted view is that this scenario is not predestined or predetermined, but depends on a wide range of human activities, environmental processes, etc. In this sense, the complexity and dynamic nature of the world are creating a multitude of possible futures, causing uncertainty as to what will materialize as a result of development in practice. Given this situation, modern individuals, organizations and societies resort to the notion of risk to make sense of their uncertain world. If the risk is related to possible deviations from a preferred future, we must reduce it to safeguard our development objectives and avoid the gestation of a disaster. Motivated by this assertion, this text focuses on briefly exploring the issue of environmental problems and their link with sustainable development in the disaster reference framework.

Keywords

Environmental crisis, sustainable development, risk, disaster.

Introducción

"El desarrollo de la sociedad ha dejado nuestro mundo en una situación grave y decisiva que pone en peligro la vida como la conocemos" (Rockström et al. 2009, pp. 472). Y aunque no es la primera vez que la humanidad enfrenta retos substanciales para su existencia, la situación actual es diferente, pues es mucho mayor que nunca la complejidad de nuestros desafíos actuales, así como su escala espacio-temporal. Es decir, estos retos se extienden más geográficamente y se presentan con mayor frecuencia.

Lo anterior nos ubica en situaciones caracterizadas por múltiples redes de relaciones causa efecto no fragmentadas y complejas, que generan retos de desarrollo sustentable que son mucho más difíciles de comprender y abordar (Sotolongo y Delgado, 2006). Especialmente porque estas relaciones, que cruzan fronteras disciplinarias, sectoriales, geográficas y administrativas, se han enraizado tanto en nuestra visión del mundo, que nuestra capacidad para comprender todo el cuadro se ha visto restringida. En la actualidad, la humanidad ha pasado de los retos del desarrollo sustentable centrados en vivir de lo que Sotolongo y Delgado (2006) denominan un ingreso natural corriente, a los grandes retos que se viven a nivel global y local, como son: la erradicación de la pobreza, el cambio climático y los desastres, entre muchos otros (Figura 1).

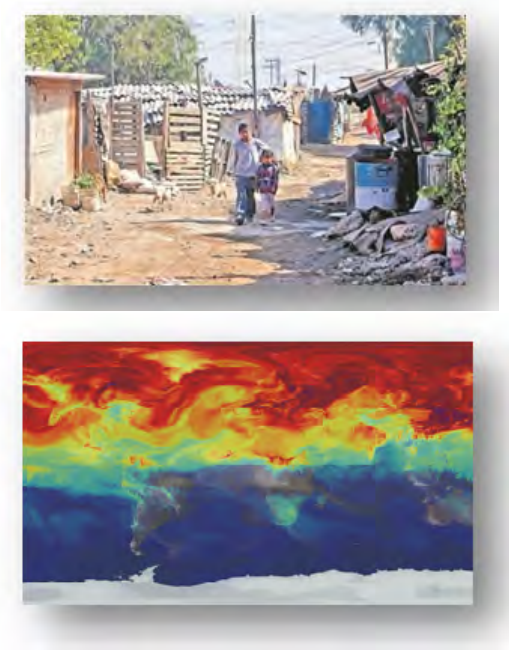


Figura 1. Dos de los grandes retos de la humanidad: pobreza y cambio climático.

No obstante, es importante señalar que, conectados con los desafíos a largo plazo para la sustentabilidad de nuestra sociedad, hay una variedad de eventos con un impacto más inmediato y acumulativo en la sociedad, que si bien son meros síntomas de la situación insostenible en la que nos encontramos, estos eventos perturban, interrumpen y destruyen de diversas maneras las posibilidades de desarrollo para los individuos, las comunidades y las sociedades de todo el mundo. Tal es el caso de las tres principales causas globales de muerte en 2004: infecciones respiratorias (4.2 millones), enfermedad cerebrovascular (5.7 millones) y cardiopatía isquémica (7.2 millones) que sobrepasan, por ejemplo, el número de muertes (180,0000) ocasionada por el tsunami del Océano Índico en el mismo año. Todos estos eventos, aunque más pequeños, si no se atienden oportunamente, se vuelven un problema grave por su impacto acumulativo, y pueden erosionar la sustentabilidad del desarrollo, poco a poco pero de manera efectiva (Becker, 2014, p. 57), como el agua que gotea sobre una roca. Hay que puntualizar que los individuos sanos gozan de un mejor nivel de bienestar, pues son más productivos en el sentido amplio, y un nivel elevado de salud en la comunidad evita el tener que gastar la riqueza social para hacer frente a enfermedades, dolencias y alteraciones sociales.

Detrás de estos eventos sintomáticos o de otros de carácter más espectacular, se encuentran procesos de cambio social, económico, político y biofísico que remodelan continuamente el riesgo para el desarrollo sustentable, lo que se suma no solo a la complejidad del mundo, sino también a su carácter dinámico. En otras palabras, estos procesos de cambio complican aún más cualquier intento de reducir el riesgo para el desarrollo sustentable, y exigen enfoques de riesgo y sustentabilidad que puedan te-

ner en cuenta dicha complejidad y dinámica. Ante esta realidad, a partir de la década de los 80's los estudios de riesgos y desastres asociados a fenómenos naturales peligrosos, comienzan a incorporar, además de la parte biofísica, variables sociales como las características socioeconómicas, demográficas y culturales de la población. A partir de esto, investigaciones asociadas con distintos campos disciplinarios han demostrado que los riesgos se construyen socialmente, es decir, las sociedades crean los riesgos y a la vez, los perciben de manera distinta. Por lo tanto, los desastres no son solamente el resultado del impacto de los fenómenos naturales, sino de la conjunción de procesos de diferente índole. Importante en este caso es resaltar que dichas investigaciones evidencian que los países con menos oportunidades de desarrollo, donde la pobreza y la marginación caracterizan a amplios sectores de la sociedad, tienden a ser más vulnerables en procesos de desastre, es decir, se registran más pérdidas humanas y el plazo de recuperación es más largo.

Dado que este trabajo se plantea en un contexto de desastre, es importante aclarar que aquí se asume este término como un proceso social complejo que provoca daños masivos graves, que por un lado afectan a poblaciones vulnerables, rebasando su capacidad de respuesta y la del gobierno por largos periodos. Por el otro, afectan los bienes y servicios que la naturaleza provee (servicios ecosistémicos) en cuanto a cantidad, calidad y temporalidad. Y finalmente, afectan al ámbito social y político de un país en términos de desarrollo económico y democracia. El desastre se asocia con dos componentes, uno interno denominado vulnerabilidad y uno externo que es el riesgo. La primera se entiende como una condición de susceptibilidad a sufrir algún daño o pérdida, la cual se puede reducir o eliminar. El segundo se define como una situación de amenaza inminente de sufrir daño y pérdida en el futuro – implica incertidumbre-, la cual se puede prevenir o mitigar.

Por otro lado, también se considera de utilidad aclarar que para entender la relación entre la problemática ambiental y el desarrollo sustentable se requiere conocer una visión ampliada del concepto ambiente que alimenta el carácter de dicha problemática y a la vez, el papel que el desarrollo sustentable juega en ella.

En este contexto, el objetivo de este ensayo es explorar brevemente el tema de los problemas ambientales y su vínculo con la sustentabilidad en el marco de referencia del desastre. Para ello, primero se discute el carácter de este tema enfocándose en la interacción entre lo social y lo natural, y en la magnitud de sus efectos, los cuales ponen en riesgo a las sociedades. A continuación, se revisa el desarrollo sustentable como alternativa para la solucionar la crisis ambiental, centrándose en la evolución de sus interpretaciones y su vínculo con el desastre. Se termina con una reflexión sobre la complejidad imbuida en dichos problemas y algunas preguntas a resolver.

El ambiente como una realidad socio natural: ¿para bien y para mal?

Autores como Sotolongo y Delgado (2006), dejan claro que un problema ambiental no depende solo de los disfuncionamientos ecológicos que interrumpen la provisión de servicios ecosistémicos, sino también de los procesos que gobiernan las relaciones entre los humanos y la naturaleza, tales como: los modos de producción y consumo liga-

dos al sistema socioeconómico predominante, la organización social y la representación del ambiente que tiene un pueblo en un momento histórico particular (Pacheco, 2005). Es por ello que la idea de ambiente, ligada solamente a los aspectos biofísicos, resulta insuficiente para entender las interacciones que existen entre el ser humano y su entorno en el mundo actual y, por lo tanto, para guiar la anticipación de lo que está por venir en el contexto de la prevención de desastres y el desarrollo sustentable. En este sentido, sería más adecuada la definición de Pacheco (2005, pp. 30) quien considera al ambiente como "la multicausalidad de los procesos físicos, sociales, económicos, tecnológicos y biológicos, al igual que la complicada red de interrelaciones y los múltiples niveles espaciales y temporales en los que se dan" (Fig. 2).

Figura 2. Representación de la noción de ambiente.

Asimismo, es valiosa la opinión de Sotolongo y Delgado, pues si bien los ecosistemas condicionan distintos aspectos culturales de una sociedad, por los servicios ecosistémicos que le proveen, la sociedad, para construir su cultura, transforma la naturaleza. Proceso que, de respetarse la sincronía entre los ritmos de los procesos sociales y los de la naturaleza, puede llegar a ser virtuoso (Tomassino et al. 2005), pues la sociedad no solo puede actuar para explotar la naturaleza sino también para cuidarla. Sin embargo, esto no ha sido así debido a los intereses de clase y personales que dictan sus formas de apropiación y su ritmo de explotación, causando una degradación sin precedente, tornándose en una amenaza para la sociedad que, de no atenderse con urgencia, puede desencadenar múltiples desastres. Prueba de ello es que la huella ecológica mundial creció en un 310 % en un lapso de 32 años y, a nivel nacional, México tiene un déficit ecológico de 1.8, esto es, carece de un 80 % de la cantidad de tierra productiva que hace falta para dar respuesta a las necesidades de su población (Global Footprint Network, 2019). Esto sin olvidar las amenazas del Cambio Climático que ya están dando señales en nuestro país. Por ejemplo, la SEMARNAT reporta que muchas regiones del norte del país se están convirtiendo en terrenos estériles, lo que significa desecamiento de ríos, muerte de especies animales y vegetales e impacto en los mantos freáticos. También se ha señalado un aumento de temperaturas extremas, pues como se sabe, en el 2017 la Ciudad de México alcanzó una temperatura de 32.2^{o}C, superando el récord histórico de 31.5^{o}C registrado en el 2003. Ha habido también cambios en la forma en que llueve, ya que en Motozintla, Chiapas, o en Ciudad Juárez, Chihuahua, el número de tormentas intensas va en aumento. Las épocas de calor se han adelantado en las regiones del norte del país y terminan después del tiempo habitual, comparadas con años anteriores. Se ha acelerado la pérdida de bosques y vegetación en nuestro país, como producto de los incendios forestales que también se asocian con el aumento de la temperatura. Los glaciares más importantes

de México, ubicados en los volcanes Pico de Orizaba, Popocatépetl e Iztaccíhuatl, están disminuyendo su extensión. Finalmente, en Chihuahua han aparecido casos de dengue, algo que no había sucedido en la región (SEMARNAT, 2016, p. 1).

A raíz de este panorama, es claro que la transformación de la naturaleza ha provocado distintos efectos sobre los sistemas culturales en forma de eventos tanto de origen natural como antrópico como son los incendios, las tormentas tropicales, las nevadas, los terremotos, las inundaciones, las sequías, las fugas de gas, derrames de combustible, entre otros (Figura 3), cuya magnitud, frecuencia, velocidad de inicio, etc., se ha modificado negativamente, poniendo en riesgo a poblaciones enteras que viven en un contexto persistente de vastas desigualdades, afectando su desarrollo tanto a corto como a largo plazo (Becker, 2014, pp. 1), incubando por tanto, condiciones con alta probabilidad de conducir a un desastre en el futuro.

Figura 3. Desastres de origen natural y antrópico

En consecuencia, las sociedades tienen que adaptarse a un nuevo ambiente para sobrevivir, como siempre ha sido, pero ahora bajo circunstancias críticas. Pero para lograrlo, además de la ciencia, la tecnología y los recursos económicos, se requiere la organización social y la cohesión simbólica derivada de este proceso (Pacheco, 2005). Todos estos aspectos hacen explícito el vínculo de lo social con lo natural en la gestación de los problemas ambientales y su riesgo asociado, pero también de su importancia en la solución de los mismos y, por tanto, en la prevención de los desastres.

Ante la crisis ambiental, ¿qué alternativa seguir?

Como lo señala el Dr. Javier Rojas del Instituto Mora (com. per.), en las últimas dos décadas del Siglo XX y lo que va de éste, se ha propuesto al desarrollo sustentable como una alternativa teórica y operativa para poder contender con la crisis ambiental y su asociación con el riesgo y los desastres. Sin pasar por alto que tanto conceptual como prácticamente el desarrollo sustentable es un tema amplio y multifacético, en el fondo, de lo que se debería tratar es de conciliar los ritmos de los procesos sociales con los de la naturaleza con el fin asegurar, a largo plazo, lo que podríamos llamar "el bienestar sociombiental", donde la naturaleza también cuenta por sí misma. Bienestar que implica la seguridad, es decir, la condición de estar protegido, estar libre o exento de riesgo (Real Academia Española, 2017) y que es parte de lo que implica el desarrollo sustentable si se ve más allá de lo inmediato (Figura 4). Sin embargo, continua abierta la pregunta ¿de qué manera logramos la conciliación de esos dos ritmos, el de la sociedad y la naturaleza?, la cual sigue alimentando el debate tanto en el ámbito teórico como político y práctico sobre qué, por qué, para

quién, cómo y cuándo atender el tema de la sustentabilidad del desarrollo y su vínculo con la vulnerabilidad, el riesgo y los desastres.

Figura 4. La atención del riesgo como parte fundamental del desarrollo sustentable.

Esto queda claro en la vasta relatoría que hace Pierri (2001) sobre la historia del concepto de desarrollo sustentable, en donde la autora hace ver que no es lo mismo aproximarse al planteamiento y solución de la crisis ambiental desde el ambientalismo moderado y el ecologismo conservacionista, que desde la corriente humanista crítica. En el primer caso, apoyándose en el conocimiento científico-natural y técnico, y en la jurisprudencia, se priorizan los ejes económico y ecológico del desarrollo sustentable, enfocándose en establecer qué y cuánto capital natural conservar, y orientando las políticas al respecto en función del grado de sustentabilidad: débil o fuerte desde donde los tomadores de decisiones se posicionan. En la sustentabilidad débil se defiende que el bienestar no depende de una forma específica de capital, y por ello, éste puede mantenerse sustituyendo el capital natural por capital manufacturado sin excepción, como si el capital manufacturado no requiriera del insumo del capital natural. Por el contrario, en la sustentabilidad fuerte se sostiene que la sustitución del capital natural está seriamente limitada por características ecológicas como la integridad de los ecosistemas, la irreversibilidad de los procesos de deterioro, la incertidumbre y la existencia de componentes críticos del capital natural que hacen una contribución única al bienestar humano y que no pueden ser sustituidos. Por otro lado, desde la perspectiva del ambientalismo moderado la pobreza es fuente de problemas ambientales y por ello debe atenuarse redistribuyendo los ingresos, lo que lleva a preguntarse ¿y por qué no a erradicarla? En otras palabras, en esta corriente el modelo de desarrollo capitalista donde el crecimiento económico es lo que importa, no se cuestiona.

En contrapropuesta, la corriente humanista crítica privilegia la dimensión social de la sustentabilidad, concentrándose en los cambios requeridos para subordinar el uso económico de los recursos naturales a los objetivos sociales, por lo que un imperativo aquí es la superación del capitalismo y en eso muchos estarían de acuerdo. Sin embargo, persiste la pregunta ¿hasta dónde se deberían privilegiar los objetivos sociales en relación al mantenimiento de los ecosistemas? Especialmente cuando el deterioro ambiental irreversible ya está a unos años de distancia y la superación del capitalismo al parecer no.

En el ámbito político, el cambio de los intereses en torno a esta conciliación deseada de los ritmos de los procesos sociales con los de la naturaleza, se percibe en las conferencias y cumbres a las que ha dado lugar el paradigma del desarrollo sustentable. Revi-

sando a distintos autores, se detectan cinco conferencias particularmente centrales para esta evolución: Estocolmo, 1972; Rio de Janeiro, 1992; Johanesburgo, 2002, Rio de Janeiro 2012 y la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable 2015, las cuales se basan unas sobre otras.

En la Declaración de Estocolmo, el fundamento del desarrollo sustentable se puso en marcha con sus referencias al balance entre conservación y desarrollo social y económico para proteger y preservar la naturaleza para las generaciones presentes y futuras. Sin embargo, éste no se colocó en la tendencia predominante de opinión, sino hasta los años cercanos a la primera conferencia de Rio, la cual se basó en gran parte en el reporte Nuestro Futuro Común de unos años antes. Aunque el desarrollo sustentable, sostenido en los pilares de desarrollo económico, desarrollo social y protección ambiental tomó fuerza y continúa siendo el concepto dominante desde entonces, se puede notar que la preocupación por el ambiente fue disminuyendo desde la primera declaración de Río. ¿Fue esto producto de los tiempos en los que surgieron? Siguiendo a Pierri (2001), la respuesta sería afirmativa.

Aunque esto haya sido así, es interesante notar que en las discusiones producidas en las conferencias y cumbres sucesivas, poco cambiaron los retos de sustentabilidad que la humanidad debería abordar, sobre todo en las cuatro últimas de la lista previa. Sin embargo, existe una progresión en el tiempo en términos del foco y contenidos de dichas conferencias. Por ejemplo, el cambio climático, un problema ambiental global que está poniendo en riesgo las condiciones y medios de vida de la sociedad, es mencionado en la conferencia de Estocolmo; declarado como un desafío que había que estudiar en la conferencia de Río; y como un tema principal y recurrente en las conferencias de Johannesburgo, Río + 20 (de Vengoechea, 2012) y la Cumbre dela Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable en 2015. De igual forma, la importancia que se le da al riesgo y el desastre como un catalizador para el desarrollo sustentable se ha incrementado en el tiempo, de ser mencionado en 1972 a ser incluido como área temática (Casaux, 2003) y como tema que cruza sectores en las conferencias de 2012 y 2015. Otros aspectos del desarrollo sustentable que han emergido a través del tiempo son el de equidad de género, el cual no había sido incluido en 1972 pero que ha sido un tema clave y recurrente en las siguientes conferencias desde 1992 y complementada con el empoderamiento de mujeres y niñas en el 2015, a raíz del reconocimiento y reflexión sobre la invisibilidad del trabajo y conocimiento que las mujeres tienen sobre los recursos naturales en las sociedades rurales y urbanas. Debido a las consideraciones de combate a la marginación y pobreza, un foco geográfico específico también ha emergido con el tiempo, con África y los países considerados como "menos desarrollados" capturando la atención en 1992, y países sin litoral en desarrollo desde 2002. También se mencionan a los países de ingreso medio en la conferencia de Rio+20 (Rockstrom, 2014).

Lo que también se ha desarrollado con el tiempo es la diversidad de los actores incluidos en el tema, tanto individualmente como institucionalmente. En el primer caso, además de centrarse en incluir a las mujeres desde 1992, se reconoce el imperativo del involucramiento de otros grupos. En este sentido, los jóvenes, los niños y los pueblos originarios se vuelven centrales desde la primera conferencia de Río. Hoy en día, hay 1800 millones de personas entre 10 y 24

años de edad—son la generación de jóvenes más grande en la historia. Cerca del 90 % de ellos viven en regiones en desarrollo, donde son la población más numerosa. Estas cifras irán en aumento—entre 2015 y 2030 cerca de 1900 millones de jóvenes cumplirán 15 años. No obstante de ser considerado uno de los grupos con mayor vulnerabilidad ante los desastres, siempre y cuando se les provea con las habilidades y oportunidades necesarias para desarrollar su potencial, los jóvenes pueden ser una fuerza de apoyo para el desarrollo y para contribuir a la seguridad. En el caso de los pueblos originarios la necesidad de su inclusión se explica porque se busca resarcir su marginación en la toma de decisiones sobre las soluciones a sus demandas en torno al uso de recursos y la defensa de sus territorios ante los proyectos de desarrollo amparados en la cachucha de la sustentabilidad.

Desde el punto de vista institucional, se expande el abanico desde los Estados e instituciones gubernamentales en Estocolmo, pasando por una mayor inclusión de organizaciones de la sociedad y asociaciones público privadas desde Río 1992, hasta el involucramiento directo de las empresas privadas desde Johannesburgo y, en 2015, la promoción de alianzas entre los múltiples interesados para que movilicen y promuevan el intercambio de conocimientos, capacidad técnica, tecnología y recursos financieros, a fin de apoyar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en todos los países, en particular los países "en vías de desarrollo". Esto también es claro en la descripción de las fuentes de financiamiento, con un foco cada vez mayor en asociaciones de comercio como complementos a la ayuda y cooperación para el desarrollo (Rockstrom, 2014).

La complejidad: otros lentes para observar la problemática ambiental

Lo expuesto en las secciones anteriores pone en la mesa dos cosas. Primera, que la apuesta de confiar únicamente "en la ciencia para aportar el conocimiento sobre los procesos naturales y cómo revertir los efectos de las acciones humanas equivocadas o desproporcionadas", así como en la "toma de medidas coercitivas, y otras que facilitaran las inversiones favorables para revertir el deterioro ambiental" (Sotolongo y Delgado, pp. 165) no ha dado resultado para transitar hacia la sustentabilidad. Segunda, que la problemática ambiental es de carácter complejo.

Figura 5. La complejidad de la problemática ambiental.

Al hablar de la complejidad de dicha problemática, resulta de utilidad la visión de Chávez y Chávez (2006), quienes la consideran como una especie de encrucijada, porque en ella se intersectan socialmente diversos temas y se problematizan entre sí (Figura 5), la cual se deriva de las interacciones

entre los humanos y la naturaleza, y está en las manos tanto de los científicos como de los políticos y la sociedad. Asimismo, que incluye situaciones para las cuales no existe una solución conocida; ya sea de orden disciplinario o institucional, o dentro del marco de referencia de la llamada ciencia "normal" -donde los problemas serán tanto de naturaleza teórica como experimental-, y la administración, y que tampoco pueden traducirse dentro de este mismo contexto debido a su propia naturaleza e incertidumbre. También abona a este carácter tanto la variedad de aristas desde donde entenderlos y abordarlos, como la de agentes involucrados en su gestación y solución, lo que supone una heterogeneidad de valores e intereses en juego. Adicionalmente habría que considerar dentro de este mismo carácter, que la respuesta de cualquier socioecosistema en el cual estén imbuidas las personas, depende de su contexto particular, sus conexiones a través de diferentes escalas, su estado actual y su dinámica de cambio.

Ante este contexto de complejidad, han surgido distintas alternativas para volver a intentar darle solución a la crisis ambiental. Por ejemplo, en su enfoque de vida y sociedad, Kauffman (1995) y Capra (2002) citados en (Sotolongo y Delgado, 2006), proponen la continuidad sistémica -es decir, la consideración de un flujo de relaciones con el ambiente- para aproximarse cognoscitiva y prácticamente a los problemas, destacando la importancia de las propiedades colectivas emergentes –propiedades nuevas que surgen únicamente como resultado de las relaciones entre las partes- y los fenómenos de cooperación que distinguen la autoorganización. Desde esta perspectiva, es de considerar que los desastres, vistos como problema ambiental, podrían fungir como una propiedad emergente de los socioecosistemas, producto del encuentro entre la vulnerabilidad diferencial de un sitio, región o sociedad y el peligro o amenaza inminente que se enfrenta (García, 1995). Y se vería la capacidad de autoorganización como un símil de la capacidad de la sociedad para adaptarse o transformarse ante escenarios de riesgo y posible desastre.

Por su parte, Frijot Capra hace énfasis en transformar la organización sistémica jerárquica, o asociada al poder, por una relacional, en la que se impone dialogar con la realidad, con el entorno, con las personas de la entidad, usuarios, usuarias, comunidad e instituciones, bajo el entendido de que la pauta básica de la organización para la acción es la red, en la que no solo se incluye la escala macro, sino también la meso y la micro de lo social en el abordaje de la problemática ambiental, la prevención del desastre y, de ser necesario, la recuperación pos desastre. Relevante aquí es también la sustitución de las redes de control por las de comunicación en la idea de hacer más efectiva la organización y la respuesta social ante el riesgo y el desastre. Esta perspectiva podría ser útil también en este contexto, pues se impone constreñir o limitar las decisiones y acciones que favorecen su gestación y que limitan la respuesta oportuna.

Otra aproximación es la de Leff (1990 citado en Sotolongo y Delgado, 2006), quien defiende la reapropiación del mundo para contender con la separación del ser humano de la otra naturaleza, lo que en principio podría ayudar al ser humano a entender que el desastre es creado socialmente a partir de la forma en que los humanos vemos, pensamos y actuamos sobre el mundo, mediados por nuestros valores e intereses. Lo que puede llevar a preguntarse: a la hora de atender un problema ambiental y su concreción en el

desastre ¿cómo contender con los valores de cada quién para ser efectivos? Enrique Leff también remite a resistirse a querer sistematizar (objetivizar) totalmente la realidad y, a partir de ello, reconstruir el pensamiento para comprender, desde otra óptica, las causas de la problemática ambiental, y para aceptar la diversidad y subjetividad. Ante esto uno podría preguntarse ¿en qué lugar queda el valor de lo objetivo, de aquellos hechos que existen y nos vinculan con la realidad, tales como los impactos de los desastres y las características y comportamientos de los peligros o amenazas?, ¿cómo poder trabajar con un conjunto de relatividades que, en la defensa de sus legitimidades, también pueden dañar los sistemas naturales de soporte de vida?

Por su parte, Delgado (2002 citado en Sotolongo y Delgado, 2006 p.175) dice que para solucionar la crisis ambiental hay que superar, entre otras cosas, el "problema del entorno como problema del hombre". Pero cabría la opinión de que sí es un problema de los hombres y mujeres, en virtud de que es el ejercicio de su racionalidad lo que los ha provocado, aunque sea el de una minoría. También habla de superar la visión epistemológica de "la legitimidad del conocimiento objetivo para garantizar el dominio del hombre sobre la Naturaleza" con lo cual podría haber acuerdo en el aspecto de las jerarquías. Sin embargo, cabría el siguiente cuestionamiento: ¿de qué manera podemos combinar, de manera efectiva, los conocimientos objetivo y subjetivo para no ser superados por las creencias en un contexto de riesgo objetivo inminente? Es la opinión de la autora que, responder a estas y muchas otras preguntas, deja por delante un largo camino que recorrer, si deseamos transitar hacia la sustentabilidad del desarrollo en donde la seguridad de la sociedad es vital.

Conclusiones

Este ensayo estuvo guiado por el interés por explorar la relación entre la problemática ambiental y su vínculo con la sustentabilidad en el contexto del desastre. En este camino fue posible clarificar que los problemas ambientales – y por tanto los desastres- y sus soluciones se construyen socialmente, y que el desarrollo sustentable como alternativa para enfrentar la crisis ambiental y los desastres posee un contenido ideológico y político, como ecológico y económico. Es por ello que, independientemente de cuánto creamos saber acerca de nuestro mundo, es importante reconocer que siempre estará lleno de ambigüedad en el sentido de las múltiples formas de explicar y comprender los fenómenos observados, así como de resolver los problemas experimentados. Para hacer frente a esta ambigüedad, es necesario involucrar a una amplia gama de actores y permitir el diálogo y la comprensión mutua de los diversos puntos de vista, con la idea de que la explicación de los problemas sea rigurosa y precisa.

El trabajo también dejó ver que hay cursos de eventos y sus procesos subyacentes que pueden afectar negativamente el desarrollo, ya sea a corto o largo plazo, y que rara vez existen de forma aislada, ya sea el uno del otro, o de las actividades y procesos de desarrollo que impactan. Por lo tanto, no solo es vital garantizar que las ganancias de desarrollo sean duraderas frente a los cursos de eventos destructivos y sus procesos subyacentes, sino que también los medios para alcanzar las ganancias de desarrollo no aumenten o creen nuevos riesgos que dificulten el desarrollo para las generaciones futuras.

La complejidad espacial, temporal y de los actores involucrados en el desafío que implica atender las dimensiones del desarrollo sustentable y la seguridad en un contexto de desastre, ha dado lugar al estudio del problema desde diferentes perspectivas y con distintos enfoques, reclamando formas innovadoras de abordaje. En este sentido, es evidente que los enfoques sectoriales o disciplinarios para atender los problemas ambientales y de seguridad ante la acción de las amenazas tienen pocas probabilidades de éxito debido a la naturaleza múltiple, laberíntica e incierta de estos temas, por lo que hay que insistir en la aplicación de enfoques holísticos, pero no paralizantes, pues resultarían inútiles considerando la naturaleza dinámica de nuestro mundo. Sin embargo, abordarlos desde el entendimiento de su real complejidad entraña retos importantes que enfrentar en un continuum que va desde lo cognitivo, pasando por lo reflexivo y crítico, hasta lo operativo en términos de política pública, lo cual llama la atención sobre lo complicado que puede ser lograrlo a cabalidad, sobre todo en contracorriente a la evolución de los contextos tanto nacional como global. Sin embargo, esto no es razón para renunciar a ello pues, después de todo, la problemática ambiental, el riesgo y su antónimo: la seguridad, así como las condiciones de desarrollo son un reflejo de una visión del mundo dominante, del poder y la negociación en la política, de las políticas económicas y no una manifestación de desafíos intelectuales insuperables.

Referencias

Becker, P., *Sustainability Science. Managing risk and resilience for sustainable development*, Elsevier, The Netherlands, 2014, pp. 1-57.

Casaux, G., Derecho ambiental internacional. La cumbre de Johannesburgo (setiembre/octubre/02), *Revista de la Facultad de Derecho*, 23, pp. 91-108, 2003. Recuperado de http://revista.fder.edu.uy/ojs-2.4.2/index.php/rfd/issue/view/14

Chávez, C.M.M. y Chávez, C.J.M., La influencia de la transdisciplinariedad en el manejo de recursos naturales y la conservación, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 6[13], pp. 51-73, 2006.

de Vengoechea, A., *Las Cumbres de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*, Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES, Colombia, 2012. Recuperado de https://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09155.pdf (Consultado: 10/03/2019).

García, V., Capítulo 1. Enfoques teóricos para el estudio social de los desastres, en *Los sismos en la historia de México. Análisis histórico social: Época Prehispánica y Colonial*, Tesis para obtener el grado de doctora en historia, UNAM/FFyL, México, pp.1-40, 1995.

Global Footprint Network, *Ecological Footprint Explorer*, 2019. Recuperado de http://data.footprintnetwork.org/#/ (Consultado: 22/05/2019).

Pacheco, M.M.F., El ambiente, más allá de la naturaleza, *Elementos: Ciencia y cultura*, 12[057], pp. 29-33, 2005.

Pierri, N., Capítulo 2. Historia del concepto de desarrollo sustentable, en Foladori, G. y Pierri, N. (coord.), *¿Sustentabilidad?: Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, Universidad Autónoma de Zacate-

cas/Porrúa, México, 2005, pp. 27-81.

Real Academia Española, *Diccionario de la Real Academia Española*, 2017. Recuperado de http://dle.rae.es/?id=XTrgHXd (Consultado: 24/04/2019).

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M. y Foley, J. A., A safe operating space for humanity, Nature, 461, pp. 472-475, 2009.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *Cómo afecta el cambio climático a México*, 2016, pp. 1-3. Recuperado de https://www.gob.mx/.../como-afecta-el-cambio-climatico-a-mexico (Consultado: 22/05/2019).

Sotolongo, P. y Delgado, D. C., Capítulo IX. Complejidad y medio ambiente, en Sotolongo, C. P., Pedro, L. y Delgado, D. C. J. (aut.), *La revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo*, CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, Buenos Aires, 2006, pp. 165-177. Recuperado de http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/campus/soto/Capitulo%20IX.pdf (Consultado: 2/04/2019).

Tomassino, H., Foladori, G. y Taks, J. (2005). Capítulo 1. La crisis ambiental contemporánea, en G. Foladori y N. Pierri (comp.), *¿Sustentabilidad?: Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, Universidad Autónoma de Zacatecas/Porrúa, México, 2005, pp. 9-26.

Uso de casos biográficos para el aprendizaje de la biología cuántica

Alejandra García Franco
Departamento de Procesos y Tecnología
UAM Cuajimalpa

Felipe Aparicio Platas
Departamento de Ciencias Naturales
UAM Cuajimalpa

Armando Gama Goicochea
División de Ingeniería Química y Bioquímica
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

www.pexels.com

Abstract

It is widely acknowledged that science and engineering university students should learn not only the principles and methods of science but also its nature. Reasons to include aspects of the Nature of Science (NOS) in the curricula are diverse and there is a current debate about the best ways to achieve it. In this paper we present the usage of historical cases in a 'Quantum Mechanics for Biology' course. Students were asked to do research on one historical character and relate her/his life to her/his contributions to science and then present findings in a paper and in an oral presentation to the rest of the group. Some of the students answered a questionnaire and were interviewed and they stated that the activity was enlightening and motivating, led to a better understanding of the concepts involved in the course and of the nature of science in general.

Keywords

Case based teaching, quantum biology, nature of science, higher education.

Palabras clave

Enseñanza basada en casos, biología cuántica, naturaleza de la ciencia, educación superior.

Introducción

La idea de que los estudiantes universitarios deben aprender sobre la naturaleza de la ciencia (NdC) ha estado presente en las discusiones sobre didáctica de las ciencias hace ya bastantes años. Las razones por las que se promueve el aprendizaje de la naturaleza de las ciencias son diversas y van desde una formación integral para una vida democrática, en la que las decisiones sobre ciencia y tecnología son cada vez más relevantes para la vida de los individuos, hasta la necesidad de que los estudiantes reconozcan la forma de proceder de los científicos para recurrir a ellas en sus propios trabajos de investigación (Sandoval, 2005). La forma de enseñar la naturaleza de las ciencias es, sin embargo, objeto de discusiones actuales (Duschl y Grandy, 2012; Abd-el-Khalick, 2012).

En este artículo, presentamos un trabajo realizado en la asignatura de Biología Cuántica en el que participaron estudiantes universitarios de las licenciaturas de Biología Molecular y Matemáticas Aplicadas. Utilizamos una aproximación de enseñanza conocida como 'Enseñanza basada en casos' (case based teaching). Los estudiantes investigaron sobre algún principio o desarrollo de la mecánica cuántica y alguno de los científicos asociados a éste. La intención era que los estudiantes aprendieran los principios de mecánica cuántica involucrados, pero también que reflexionaran sobre la forma en la que ciertos aspectos de la vida y del contexto social del científico pudieron haber sido relevantes para su trabajo.

En este artículo presentamos los fundamentos teóricos de la propuesta, la descripción de la forma en la que se llevó a cabo y algunos resultados de su implementación a partir del análisis de los documentos finales de los estudiantes así como de sus respuestas a cuestionarios abiertos y entrevistas.

La enseñanza de la naturaleza de la ciencia

Cada vez es más claro que la comprensión de la ciencia tiene muchas facetas y que va más allá de la comprensión de los conceptos

científicos. Incluso en los niveles preuniversitarios, los currículos actuales demandan que los estudiantes aprendan no sólo lo que sabemos sobre algún tema científico, sino que también aprendan cómo lo sabemos. Es decir se trata de familiarizarse los modelos y teorías de la ciencia, así como entender la forma en la que éstos se construyen, se validan y se modifican. En palabras de Hodson (1994), se busca que los estudiantes sean alfabetizados científicamente: "que aprendan ciencia, sobre la ciencia y a hacer ciencia".

La idea de que la naturaleza de la ciencia debe ser un objetivo explícito de la enseñanza de las ciencias ha sido discutida por los educadores en ciencias desde la última década del siglo pasado (Lederman, et al, 2002; Acevedo, 2004) y ha sido reconocida como uno de los paradigmas de la enseñanza en ciencias debido a su relevancia para la vida en un mundo incierto como el actual (Garritz, 2010).

Si bien, no hay una definición única sobre la naturaleza de la ciencia, se han identificado algunos aspectos de consenso entre la comunidad que trabaja estos temas (Lederman, 2006). Acevedo (2004, p.135) lo describe de esta manera:

> La NdC es un término poliédrico que se refiere a una gran variedad de asuntos relacionados con la filosofía, la sociología y la historia de la ciencia (...) para muchos autores de didáctica de las ciencias, la NdC se refiere de manera especial a la epistemología de la ciencia y se dirige sobre todo a los valores y supuestos inherentes al conocimiento científico (...) para otros autores el concepto de NdC abarca mayor diversidad de aspectos, tales como qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que emplea para validar y difundir este conocimiento, los valores implicados en las actividades científicas, las características de la comunidad científica, los vínculos con la tecnología , las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y, viceversa, las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad; esto es, la noción de NdC incluye cuestiones epistemológicas, sociológicas y psicológicas.

Particularmente, dentro de los aspectos sociales de la ciencia identificados en la propuesta de Lederman et al (2002, p. 501) se reconoce que: "Como empresa humana, la ciencia se practica en un amplio contexto cultural y los científicos son un producto de esa cultura" y "el conocimiento científico proviene de la imaginación y la creatividad humanas, al menos parcialmente (...) De aquí se sigue que la ciencia está influida por diversos elementos y ámbitos de la sociedad y la cultura donde se inserta y desarrolla. Los valores de la cultura determinan hacia donde se dirige la ciencia, cómo se interpreta, se acepta y se utiliza. Así mismo, la ciencia influye en la sociedad y en la cultura en la que está inserta".

La importancia de que los estudiantes de licenciatura aprendan acerca de la naturaleza de la ciencia no puede subestimarse. La gran mayoría de estudiantes de licenciatura de carreras científicas no seguirán una carrera académica sino que se incorporarán a la fuerza de trabajo de maneras diversas, muchas de las cuales pueden implicar comunicación sobre la ciencia. Esto es relevante si

los estudiantes llegan a ser docentes porque aun cuando no se puede establecer una relación directa entre las concepciones que los docentes tienen sobre la ciencia y las formas en las que las enseñan es posible pensar que éstas juegan algún papel en el tipo de actividades que los docentes sugieren y en cómo interpretan las respuestas de los estudiantes (Driver, et. Al, 1996).

La forma en la que es más conveniente enseñar la naturaleza de la ciencia es aún objeto de debates (Duschl y Grandy, 2012; Abd-El-Khalick, 2012). Sin embargo, los investigadores coinciden en que la enseñanza debe ser explícita, es decir, no basta con que los estudiantes lleven a cabo actividades científicas y aprendan conceptos científicos, sino que los componentes de la NdC deben formar parte integral de la enseñanza. El caso histórico–biográfico que nosotros presentamos permite a los estudiantes llevar a cabo una investigación sobre aspectos específicos de la ciencia, de momentos estelares y desarrollos específicos. Esta aproximación busca explícitamente promover que los estudiantes desarrollen una comprensión epistemológica informada sobre la generación y validación del conocimiento científico, y la naturaleza del conocimiento resultante (Abd-el-Khalick, 2012).

La enseñanza basada en casos

La enseñanza basada en casos tiene su origen en la enseñanza de la medicina y de las leyes. En la educación científica, el uso de la enseñanza basada en casos es más reciente y se identifica según Herreid (1997) con la publicación del libro de J. Conant Understanding Science (1957) cuya presentación en los seminarios de la Universidad Harvard está identificado como la primera ocasión en la que se consideraron de forma explícita aspectos sobre la naturaleza de la ciencia en cursos universitarios (Duschl y Grandy, 2012). La intención de Conant de comunicar no sólo los conocimientos científicos, sino la forma en la que se llevan a cabo los descubrimientos científicos se convirtió en una de las primeras aproximaciones para aprender y enseñar ciencia con base en las historias y las narrativas de las formas de actuar de los científicos.

La enseñanza basada en casos parte del supuesto de que las historias son atractivas para los seres humanos. Somos más capaces de recordar y de involucrarnos en la resolución de un problema o una tarea que está 'dentro' de una historia. El uso de casos biográficos, como los que J. Conant presentaba en los seminarios en Harvard, buscan familiarizar a los estudiantes con la forma en la que los científicos construyen el conocimiento. De esta forma se busca que comprendan mejor, aspectos de la ciencia y la tecnología modernas, que reconozcan las dificultades que han enfrentado los desarrollos científicos, y que reflexionen sobre las influencias sociales y personales en éstos.

El uso de casos en la educación científica ha adquirido fuerza hace ya algunas décadas y, por lo tanto, se presenta actualmente en modalidades diversas. No existe un único método para la enseñanza basada en casos, dado que estos pueden tomar muchas formas: abiertos, cerrados, semiabiertos, experimentales, documentales, de controversia (Herreid, 1997). "El caso que nosotros presentamos permitió que los estudiantes se convirtieran ellos mismos en los 'contadores de historias' al llevar a cabo una investigación sobre el personaje elegido y narrar su historia para otros.

La enseñanza de la Mecánica Cuántica

Nadie duda de las aportaciones de la mecánica cuántica (MC) y del cambio radical que ésta implica en nuestra comprensión de la naturaleza. Esto hace necesario que todos los estudiantes universitarios de carreras científicas tengan acceso a este conocimiento por el creciente número de aplicaciones que se han encontrado en campos diversos (Garritz, 2011). Sin embargo también es claro que incluso estudiantes de física tienen problemas conceptuales para la comprensión de los principios fundamentales de la MC (Johnston, Crawford y Fletcher, 1998) y que se requieren formas alternativas para su enseñanza (Müller y Weisner, 2002).

Algunos de los avances más recientes y prometedores de la MC se han dado en la posibilidad de explicar fenómenos biológicos como los patrones de migración de aves y la fotosíntesis. El campo de la Biología Cuántica es muy prometedor y apasionante para quienes lo estudian (Lambert et al., 2013; Amador y Aispuru-Guzik, 2011), por ello los autores, docentes de la licenciatura de Biología Molecular, propusieron el curso de "Biología Cuántica" como una asignatura optativa.

Este curso no tenía antecedentes en la Universidad donde trabajamos por lo tanto fue necesario diseñar el programa a cubrir, además del método de presentación de los temas y el de evaluación. Dado que es un tema muy novedoso no existen libros de texto y la información disponible es aún muy poca y especializada, lo cual va mucho más allá del alcance de un curso de licenciatura. Requiere además de conocimientos físicos y matemáticos que los alumnos de la licenciatura mencionada típicamente no tienen. Frente a estas restricciones el reto era presentar temas de mecánica cuántica con un enfoque biológico sin enfatizar desarrollos matemáticos pero al mismo tiempo sin sacrificar el rigor de los conceptos. La motivación para proponer un curso de esta naturaleza en el contexto descrito se origina en el cada vez más demandante y competitivo campo profesional de los científicos contemporáneos. Es así que licenciaturas relativamente novedosas, tales como Biología Molecular, deben preparar a profesionales enterados de una amplia gama de campos modernos, puesto que la tendencia global va hacia borrar las fronteras tradicionales entre las ciencias, convirtiéndose en modalidades transdisciplinarias. En particular, como se dijo anteriormente, trabajos de investigación de frontera muy recientes han demostrado que algunos de los procesos biológicos más cotidianos, como la fotosíntesis, están íntimamente relacionados con fenómenos de origen cuántico. Además, es importante exponer a los alumnos a las formas de pensamiento y a los paradigmas planteados por la mecánica cuántica ya que son esencialmente diferentes a los empleados en la biología tradicional y por lo tanto complementan y robustecen su formación.

La importancia de los factores afectivos (Padilla y Van Driel, 2011) en un tema como la mecánica cuántica ha sido indagada previamente y queda claro que, desde el punto de vista de los docentes, es un tema complejo que genera rechazo en los estudiantes. Una buena comprensión de la MC puede resultar motivante (Moreira, 2009) pues permite a los estudiantes de niveles no tan avanzados explicar fenómenos complejos. Sin embargo, esto requiere de aproximaciones para la enseñanza de la MC que consideren las ideas de los estudiantes y que les ayuden a reflexionar tanto sobre los conceptos como sobre la forma en la que éstos son construidos.

Metodología

Descripción de la investigación

El trabajo que reportamos se llevó a cabo en el año 2015 con un grupo de la asignatura de Biología Cuántica. El grupo consistía de 10 alumnos, 6 de la licenciatura de Biología Molecular y 4 de la licenciatura de Matemáticas Aplicadas. Los docentes fueron dos profesores (segundo y tercer autores) del Departamento de Ciencias Naturales con amplia experiencia docente.

Como parte de los trabajos del curso, se pidió a los estudiantes desarrollar un caso biográfico (Morris y Gal, 2003). Para ello eligieron un concepto de la mecánica cuántica e investigaron sobre éste y alguno de los científicos que lo desarrolló (esta selección se hizo a partir de conceptos propuestos por lo docentes). Se pidió que los casos presentaran el momento histórico en que ocurrió el desarrollo, la vida personal de los personajes involucrados, los aspectos sociales, económicos, profesionales a los que estaban sujetos. Se solicitó que los estudiantes identificaran cualquier posible afinidad o diferencia que el(la) alumno(a) encontrara con los personajes de su historia. Se sugirió un formato general a seguir para la presentación del trabajo escrito, el cual permitía la adaptación al estilo e intereses personales de cada alumno. Se les proporcionó además una rúbrica que detallaba qué y cómo se evaluaría cada uno de los aspectos. En la Tabla 1, se muestran los casos elegidos por los estudiantes.

La propuesta fue adaptada de Morris y Gal (2003) con el objetivo explícito de permitir a los estudiantes comprender el lado humano del quehacer científico, promover el conocimiento de la historia de un campo científico, y concientizar a los alumnos sobre la forma en que acontecimientos tales como guerras, situaciones políticas y económicas, y avances tecnológicos afectan al desarrollo de la ciencia.

Ninguno de los estudiantes participantes había sido expuesto formalmente a temas de mecánica cuántica, con la excepción de conceptos tales como orbitales atómicos y moleculares, y números cuánticos. Las herramientas matemáticas con las que se presuponía que los estudiantes estaban familiarizados eran únicamente el cálculo diferencial e integral de funciones de una variable.

El curso tiene una duración total de doce semanas. Los estudiantes eligieron el concepto que investigarían en la semana 5. Dos semanas después (en la semana siete) entregaron la primera versión escrita del trabajo con el propósito de recibir retroalimentación y en la semana nueve entregaron la segunda versión de su reporte escrito. Finalmente, en la semana 11, entregaron la versión final, al mismo tiempo que presentaban oralmente sus casos.

Para la exposición se asignó una duración de media hora para cada expositor, complementado con diez minutos para preguntas y discusión. La audiencia consistió no sólo de los profesores del curso sino también de profesores invitados del mismo departamento, así como de alumnos que no cursaban la asignatura y que tenían interés en los casos a presentarse.

La evaluación del trabajo escrito así como la presentación oral constituyó el 50 % de la evaluación del curso.

Para evaluar el impacto de esta actividad se revisaron los trabajos producidos por los estudiantes y se hizo un análisis de contenido (Mayring, 2014) para identificar

Tabla 1. Casos elegidos por los estudiantes

Interpretación de Copenhague	Niels Bohr
Interpretación de universos múltiples	Hugh Everett
Ecuación de onda	Erwin Schroedinger
Principio de incertidumbre	Werner Heisenberg
Suma sobre trayectorias	Richard Feynman
Efecto Josephson	Brian Josephson
Efecto Hall cuántico fraccionario	Robert Laughlin
Observación de condensación de Bose Einstein	Eric Cornell
Obtención del grafeno	Andre Geim
El bosón de Higgs	Peter Higgs

los aspectos que mencionan con respecto a aspectos de la Naturaleza de la Ciencia. Se hizo también un cuestionario de preguntas abiertas seguido de una entrevista a dos estudiantes (Est. 4 y Est. 5) para indagar sobre sus percepciones y aprendizajes al realizar este trabajo.

Resultados

De acuerdo con los docentes del curso, en las exposiciones de los casos, los alumnos fueron más allá de lo que se esperaba. En algunos casos hicieron desarrollos matemáticos más sofisticados que los que se hicieron en clase y aprendieron de forma casi autodidacta y con notable rigor aspectos básicos de la MC. De acuerdo con su percepción, los alumnos demostraron interés genuino por sus casos, así como un auténtico entusiasmo por aprender más, hacerse preguntas, lo cual les permitió llevarse enriquecedoras reflexiones.

Análisis

A partir del análisis de contenido de los trabajos entregados por los estudiantes resaltaremos algunos de los aspectos que los estudiantes encontraron relevantes respecto a las características personales de los científicos y de sus historias de vida en el desarrollo del conocimiento y comprensión de la MC. Incorporamos también las respuestas en el cuestionario y entrevista. Los estudiantes han sido identificados con iniciales para garantizar el anonimato. Los textos han sido editados mínimamente para su mejor comprensión.

Características personales de los científicos

Algunos estudiantes mencionaron características personales de los científicos que les sorprendieron y que les hicieron reflexionar sobre las visiones estereotipadas que se tienen comúnmente. Citamos aquí algunas de las reflexiones de los estudiantes que nos parecen significativas:

> Este físico [Erwin Schroedinger] tiene características muy peculiares lo que hace que marque una huella en nuestro pensamiento, como la idea de poder ver en el mismo plano el arte de seducir féminas, como de imaginar y vislumbrar grandes ecuaciones físicas (...) es de gran interés personal hacer énfasis en cómo llegó a romper diferentes paradigmas gracias

> a una astuta visión de ver las cosas y realizar lo que se deba de hacer sin importar la complejidad matemática que le podría avecinar, esto es perder el miedo y disfrutar el trabajo (Est. 1)
>
> Me parece que Everett fue un personaje importante en la mecánica cuántica (...) en la ciencia, es bastante difícil que la comunidad científica acepte nuevas ideas, a pesar de que Everett era una persona muy inteligente, no supo tomar las actitudes adecuadas frente a los defensores de la interpretación ortodoxa, lo que causó su deserción de la mecánica cuántica. Everett tenía las capacidades para continuar en el campo de lo cuántico, y pudo haber aportado mucho más a esta rama de la ciencia (Est. 2)

Relaciones de la vida de los científicos con su propia vida

Algunos estudiantes reconocen aspectos de la vida de los científicos elegidos que son similares a su propia vida.

> Me identifico con la edad a la que descubrió el efecto Josephson pues tengo 22 años (...) no deja de sorprenderme que a esta edad haya podido descubrir dicho efecto, sin siquiera haber terminado sus estudios (...) el hecho de que haya querido explicar la ciencia con ayuda del misticismo oriental se me hace un poco descabellado (...) la línea entre la genialidad y la locura es tan fina, que puede llegar a desvanecerse (Est.3)

Aspectos sociales de la construcción del conocimiento científico

Algunos alumnos identifican la forma en la que el contexto social es relevante en el proceso de desarrollo del conocimiento científico.

> Encontré que para Bose era difícil poder sobresalir en esa época por sus raíces de ser hindú no era tomado en cuenta en su trabajo, dado esas circunstancias decidió apoyarse de Albert Einstein quien estaba en el auge de la ciencia de aquel tiempo (Est. 4/Ent)

Relación entre la vida de los científicos y el conocimiento científico

> Nunca había visto un enfoque tan personal hacia los genios, siempre se ven los experimentos, se ven los logros, pero nunca si era una persona deprimida, si tenía varias parejas, si engañaba a su esposa, realmente esa parte nunca le dan importancia y sí influye mucho en cómo eres como persona y también influye en cómo piensas (Est. 5/Ent)
>
> "(...) yo pensaba que Einstein lo veía todo, me sorprendió una parte porque tenía toda la información pero no podía resolverlo porque no sabía tantas matemáticas para resolver lo que él quería, te das cuenta que necesitas de colegas, al juntarte lo puedes resolver" (Est. 4/Ent)

Sobre el aprendizaje basado en casos

Algunos estudiantes reconocen que esta aproximación de enseñanza es novedosa en la educación superior:

> "(. . .) esta dinámica [la enseñanza basada en casos] fue muy extraña, nunca la había hecho pero realmente en lo personal me gustó mucho porque conoces a la persona, conoces lo que estaba pensando, qué era lo que estaba pasando, cuál es su contexto (. . .) por qué fue que pensó así y ya después ver el efecto o el fenómeno que estaba estudiando te hace entenderlo mucho más a que si lo ves aislado o nada más te dicen el teorema de Pitágoras es tal y no sabes quién es Pitágoras ni por qué pensaba así" (Est. 3)

> "Uno toma una clase y dices -sí le entiendo y tal- pero cuando uno hace, yo me di cuenta que **estaba haciendo un trabajo sobre biología cuántica** pues era algo que siempre había soñado, estaba trabajando con lo que siempre soñé desde que era adolescente. Te queda más claro porque tú lo dices a tu forma, tú lo escribes a tu forma, cómo lo entiendes tú. Esas son las ideas y como que tú las defiendes. Tú te quedas con algo." (Est. 4)

La comprensión de la Mecánica Cuántica

Los estudiantes reconocen aspectos relacionados con la posibilidad de comprender temas de la Mecánica Cuántica que probablemente pensaban fuera de su alcance:

> Se fueron formando uniones entre lo que ya conocía experimentalmente y lo que realmente estaba pasando (. . .) y las aplicaciones y que sea un tema de vanguardia que ahorita se está investigando, es muy padre, la información era actualizada, publicaciones de hace un año, del año pasado y eso fue muy padre (Est. 5/Ent)

> Antes de tomar el curso consideraba bastante difícil poder hablar sobre estos temas tan interesantes pero complicados (. . .) después de hacer mi trabajo de investigación pude concluir que no se me hizo pesado hacerlo, tal vez por la forma en que entendí el tema o por el entusiasmo que le di a la materia y al trabajo que fue lo que más me gustó de mi trimestre (Est. 4/Ent)

Reflexiones finales

Hemos encontrado que el uso de casos biográficos fortalece el aprendizaje de temas científicos que son tradicionalmente poco atractivos y difíciles para los estudiantes. Los estudiantes mencionan cómo, cuando un descubrimiento en el laboratorio o un desarrollo matemático se contextualizan en un momento histórico y se describen como el resultado de arduos esfuerzos por muchas personas durante periodos largos de tiempo, éstos se "humanizan". Es decir, descubrimientos importantes se vuelven menos intimidantes intelectualmente. Desarrollar los casos biográficos permite que los estudiantes transformen su concepción del desarrollo científico ayudando a remover el estereotipo del científico aislado como generador del avance del conocimiento.

Algunos de los estudiantes hicieron un in-

tento por relacionar de forma explícita la vida de los científicos y los aspectos relevantes de su biografía lo cual es importante para reconocer que la ciencia está hecha por hombres (y mujeres) en situaciones específicas, con debilidades personales. Así mismo, conocer el contexto en el que se sitúa el problema estudiado puede contribuir a que los estudiantes reconozcan aspectos específicos de la construcción social del conocimiento científico.

El desarrollo de este trabajo fortaleció el conocimiento sobre la NdC de los estudiantes participantes, lo cual puede notarse a partir de las impresiones de los estudiantes sobre su propio trabajo y en las reflexiones que hacen en el trabajo escrito. La NdC debe ser un contenido transversal en la formación universitaria, dado que muchos estudiantes de ciencias pueden terminar sus licenciaturas sin haber hecho una reflexión sobre la ciencia y su naturaleza, lo cual es una carencia en su formación.

Sin embargo, para tener mayor impacto sería necesario construir una aproximación de enseñanza que incluya el componente reflexivo puesto que los aspectos biográficos y sociales de la ciencia fueron considerados por los estudiantes más como un accesorio del trabajo que como parte de los objetivos principales.

Creemos que un trabajo como este puede ser más fructífero si, como mencionaba Klopfer (1964, citado en Abd-el-Khalick, 2012), los estudiantes están conscientes desde el inicio que el objetivo del caso biográfico no es sólo la comprensión del contenido científico, sino también la reflexión sobre la ciencia y los científicos. Diversas aproximaciones han mostrado que el uso de casos biográficos puede ser muy útil para discutir y reflexionar acerca de muchos de los aspectos de la NdC (Niaz, 2009), sin embargo, éstos deben hacerse más evidentes y deben ir más allá de la incorporación de la información biográfica al desarrollo conceptual.

A partir de la respuesta de los estudiantes a la actividad propuesta estamos convencidos de que esta es una aproximación valiosa que vale la pena mejorar para aplicarse de nuevo con una intención más explícita respecto al aprendizaje de la NdC.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer muy especialmente a todos los alumnos que tomaron el curso de biología cuántica, por su entusiasta participación y esfuerzo. AGG y FA agradecen el apoyo del CA de Fisicoquímica y Diseño Molecular.

Referencias

Abd-el-Khalick, F. Teaching With and About Nature of Science, and Science Teacher Knowledge *Domains, Science & Education*, On-line first, 2012.

Amador-Bedolla C. y Aispuru-Guzik, A. La biología cuántica ¿un nuevo campo de la química? *Educación Química*, 22(1), 8-11, 2011.

Conant, J. Harvard case histories in experimental science, (Vols 1 & 2). Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957. Disponible en línea http://archive.org/stream/harvardcasehisto010924mbp/harvardcasehisto010924mbp_djvu.txt

Duschl, R. y Grandy, R. Two Views About Explicitly Teaching Nature of Scien-

ce. *Science & Education*, On-line first. 2012.

Garritz, A. La enseñanza de la química para la sociedad del siglo XXI, caracterizada por la incertidumbre *Educación Química*, **21**(1), 2-15, 2010.

Herreid, C.F. What Is a Case? *Journal of College Science Teaching*, 27(2): 92–94, 1997.

Johnston, K. Crawford y Fletcher, P. R. Student difficulties in learning quantum mechanics *International Journal of Science Education*, **20** (4), 427-446, 1998.

Klopfer, L. E. (1964), The Use of Case Histories in Science Teaching. School Science and Mathematics, 64: 660–666.

Lambert, N., Chen, Y.-N., Li, C.-N., Chen, G.-Y. y Nori, F. Quantum Biology. *Nature Physics*, 9, 10-18, 2013.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick,F. Bell, R. L.,Schwartz, R. S. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science, *International Journal of Science Education*, **39** (6), 497–521, 2002.

Lederman, N. G. Research on Nature of Science: Reflections on the Past, Anticipations of the Future, *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, **7** (1), 2006. Disponible en línea: http://www.ied.edu.hk/apfslt/

Mayring, P. Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution. Klagenfurt, 2014. Disponible en línea http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173

Moreira, M. El modelo estándar de la física de partículas *Revista Brasileña de Enseñanza de Física*, **31**(1), 1306, 2009.

Morris, T. E y Gahl, S. A recipe for invention: Scientists biographies. *National Center for Case Study in Science Teaching* Disponible en línea. http://sciencecases.lib.buffalo.edu 2003.

Muller, R. y Wiesner, H. Teaching quantum mechanics on an introductory level. *American Journal of Physics*. 70, 200-209, 2002.

Niaz, M. *Critical Appraisal of Physical Science as a Human Enterprise. Dynamics of Scientific Progress. Dordrecht: Springer.* 2009.

Padilla, K. y Van Driel, J. H. Relationships among cognitive and emotional knowledge of teaching quantum chemistry at university level, *Educación Química*. 2012.

Sandoval, W. Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. Science Education, 89(4), 634–656. 2005.

Estudio cartográfico del volcán Popocatépetl, Puebla, México: volumen edificio volcánico, aceleración de la gravedad y zonas de riesgo para la población

Rogelio Ramos Aguilar, Patricia Máximo Romero
Facultad de Ingeniería,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

María de la Cruz Vázquez García
Bufete de Ingeniería en Telecomunicaciones y Sistemas

Ana Guadalupe Martínez Ortiz
Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Daniel Hernández Andrade
Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dora Marcela Benítez Ramírez
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

www.pixabay.com

Resumen

En este estudio se muestra el cálculo del volumen del volcán Popocatépetl y la aceleración de la gravedad en puntos específicos del edificio volcánico para la identificación de las poblaciones que se encuentran en riesgo. El volumen se calculó a través de las curvas de nivel de la carta E14B42 de INEGI. El estudio gravimétrico se realizó a través del análisis de las anomalías de Bouguer y las anomalías al aire libre. También se calculó la distancia que existe del punto central del cráter a las comunidades más importantes que se encuentran dentro del perímetro de riesgo de 25 km, tomando como referencia las coordenadas de proyección UTM (Universal Transversa de Mercator) zona 14Q teniendo como resultado la elaboración de base de datos de 64 localidades así como el respectivo perfil topográfico con pendiente promedio.

Palabras clave

Cartográfico, cráter, riesgo, aceleración, volcán.

Abstract

This study shows the calculation of the volume of the Popocatepetl volcano and the gravity acceleration on specific points of the volcanic building for the purpose of identification of the populations that are at risk. The volume was calculated through the level curves of the map E14B42 by INEGI. The gravimetric study was carried out through the analysis of the Bouguer's anomalies and outdoor anomalies. The distance from the central point of the crater to the most important communities within the 25 km perimeter of risk was also calculated, taking as reference the projection coordinates UTM (Universal Transverse Mercator) zone 14Q resulting in the elaboration database of 64 locations as well as the respective topographic profile with average slope.

Key words

Cartographic, crater, risk, acceleration, volcano.

Introducción

El volcán Popocatépetl se localiza en el extremo sur de la Sierra Nevada, cordillera volcánica de edad Plio-Cuaternaria situada en el sector centro-oriente del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM). (Figura 1). La composición geoquímica de sus productos es dacítico-andesítica (Franco-Ramos et al., 2017).

Figura 1. Ubicación del Cinturón Volcánico Transmexicano.

En términos geológicos el volcán Popocatépetl es joven con unos 730,000 años. La evolución del volcán consta de al menos tres etapas de construcción y destrucción de su edificio volcánico, el primero fue hace 1,000,000 de años como volcán primitivo o Nexpayantla y su colapso fue aproximadamente hace unos 200,000 años. La segunda etapa es conocida como El Ventorrillo con estimación del colapso de entre 50,000

a 30,000 años, aunque trabajos recientes sugieren 23,000 años (Macías, 2005). Desde entonces la acumulación de flujos de lava y depósitos piroclásticos han edificado el cono actual del Popocatépetl (Franco-Ramos et al., 2017).

El volcán Popocatépetl de acuerdo con Espinasa-Pereña, R. (2012) y Martin Del Pozzo A. L. et al., (2018) es uno de los volcanes más peligroso del mundo debido a la cantidad de personas que habitan en una distancia menor a 100 Km y al historial de erupciones explosivas.

Después de 70 años de inactividad el 21 de diciembre de 1994 comenzó con actividad fumarólica. (Sosa-Ceballos et al., 2012). Un análisis de la morfología del volcán y su evolución geológica muestran que se trata de un volcán que ha estado activo por más de medio millón de años y que ha presentado varias etapas de crecimiento como se ve en la figura 2, (Espinasa-Pereña, R., 2012).

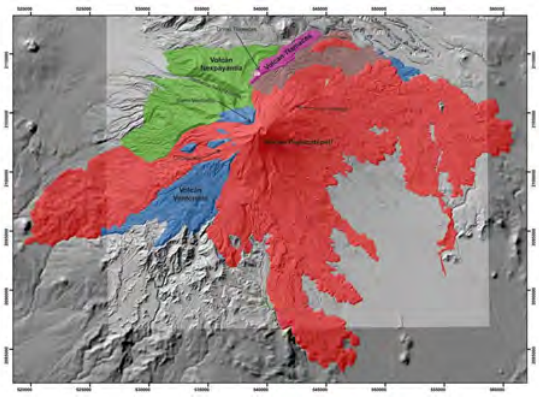


Figura 2. Identificación de los edificios de las estructuras geológicas cercanas al volcán Popocatépetl.

De acuerdo con Espinasa-Pereña, R. (2012) un aspecto a resaltar de la morfología del Popocatépetl es la asimetría en las pendientes de las laderas. El flanco este presenta una pendiente mucho más acusada, lo que favorecerá el incremento de velocidad de cualquier flujo gravitacional (piroclástico, de escombros, de lava). Las fuertes pendientes no son el único factor de riesgo, el material balístico, la dirección y velocidad del viento que influye en el arrastre de cenizas también lo son (Siebe, C et al 1996). De acuerdo al modelo de viento horizontal, basado en radio-sondeos globales de 15 años (1980-1995) de la base Global Gridded Upper Air Statistics (GGUAS) del European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF), se identificó que, en la zona de influencia del Popocatépetl, el campo de viento presenta variaciones a diferentes altitudes.

De 5,000 a 10,000 msnm, de octubre a mayo los vientos van hacia el este, este-noreste y noreste; de junio a septiembre hacia al oeste con variaciones al sureste, sur y suroeste. De 10,000 a 20,000 msnm, en los meses de octubre a abril los vientos van hacia el este y de junio a septiembre hacia el oeste y suroeste, pero en mayo la dirección de los vientos es variables. Arriba de los 20,000 msnm, de octubre a marzo los vientos van hacia el este y sureste, de abril a noviembre hacia el oeste; pero en los meses de marzo, noviembre y diciembre el viento también puede ir hacia el noreste.

La velocidad promedio del viento por debajo de los 20,000 msnm, es de 5 m/s, aunque en enero llega a presentar velocidades de 15 m/s. Arriba de los 20,000 msnm, el viento tiene velocidades entre 10 a 15 m/s, y en los meses de julio y septiembre puede alcanzar los 30 m/s, (Delgado et al., 2013).

Materiales y métodos

El presente trabajo busca contribuir a las

zonas de riesgo, ubicadas en los alrededores del volcán Popocatépetl limitando la zona de estudio en un radio de 25 km, en el cual se localizó a través de imágenes satelitales 64 localidades en latente riesgo que en base a los históricos han tenido daños al menos por ceniza.

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron imágenes satelitales (Google Earth), Software Auto CAD y Civil CAD, programación Macro de Excel, entre otras herramientas.

Para el cálculo del volumen del edificio y cráter volcánico se consideró un diámetro de 7579.864 m en la base y un cráter de radio 798.254 m, además de un modelo de elipse con semieje mayor de 795 m y semieje menor de 595 m, con una altura máxima de 5413.16 msnm y mínima dentro del diámetro de la base de 3900 msnm para este análisis, por considerar una geomorfología de datos más práctica en cuanto a los datos manejados; se obtuvo una nube de puntos para su procesamiento en CAD mediante la importación de puntos Google Earth a CAD, existiendo una correlación exacta, como se puede ver en la figura 3, es decir se corrigió la triangulación con cortes de 50 a 100 m de desnivel y se delimito la base del edificio volcánico.

Figura 3. Nube de puntos, triangulación y vista 3D del levantamiento.

La metodología para calcular el volumen fue a través de curvas de nivel, iniciando su digitalización sobre la carta del INEGI, 2015 con clave E14B42 y con escala 1:50 000. Una vez digitalizadas las curvas de nivel, (véase figura 4) se procedió al cálculo del volumen del edifico volcánico.

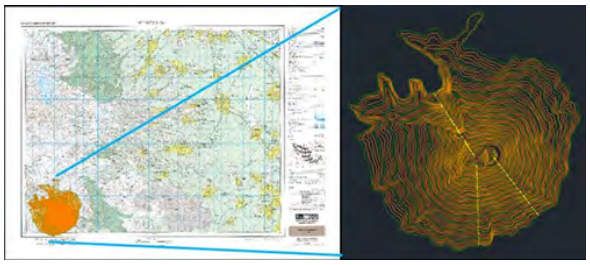


Figura 4. Digitalización de Curvas de Nivel a escala 1:50000 para determinar volumetría.

Para calcular el volumen a través de curvas de nivel de acuerdo con Alcántara (2014) se ocupó la fórmula 1 que nos proporcionará un volumen parcial entre dos curvas, es decir para tener un volumen total se necesita de un volumen acumulado como la sumatoria de los volúmenes parciales contiguos.

$$V = [A_1 + A_2]\left[\frac{h}{2}\right] \quad (1)$$

Donde *A1* y *A2* son las superficies delimitadas por curvas de nivel contiguas, h es la equidistancia entre curvas de nivel. Por la cantidad de curvas de nivel generadas (figura 5) a cada 20 metros de desnivel entre la mínima 3900 msnm y la máxima 5413.16 msnm, se realizó una macro programada para el cálculo automático del volumen acumulado, como se puede analizar en la tabla 1.

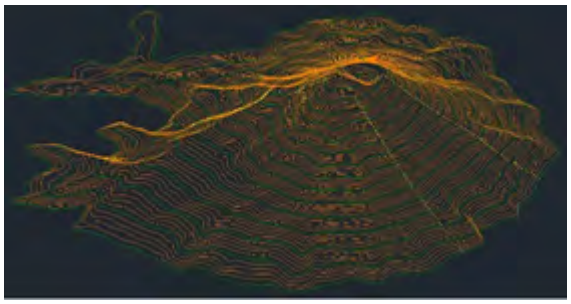


Figura 5. 3D de la digitalización de curvas de nivel.

Zonas de riesgo

Para las zonas de riesgo del estudio se delimitó un radio de 25 km a la redonda tomando como referencia el centro del cráter con coordenadas X=539567.00, Y=2103376.00, Z=5169.16 como se muestra en la figura 6, estipulado por las autoridades de Protección Civil de la República Mexicana.

Figura 6. Zonas de riego en un radio de 25 km.

Aceleración de la gravedad

Para el cálculo de gravedad local y las anomalías se aplicó un sistema de información de gravedad desarrollado por el instituto de metrología de Alemania Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) que permite obtener la aceleración de gravedad en cualquier lugar del mundo mediante un modelo basado en la misión SRTM del Transbordador Espacial (Shuttle Radar Topography Mission) haciendo uso de la latitud, longitud y altitud del punto en cuestión que para este caso fue la localización de cada zona de riesgo dentro del radio de 25 km. (Gravity Information System, 2017).

Resultados y discusión

Para el cálculo automático solo se requirió la captura del área correspondiente a cada curva de nivel, el resultado del volumen dentro de las curvas cerradas fue de 15,509,185,329.690 m^3 (15.51 km^3) como se ve en la tabla 1.

De manera detallada las áreas se obtuvieron en AutoCAD después de digitalizar las curvas de nivel de la carta 1:50 000, se captura en la macro en la columna ÁREAS, la columna A1+ A2 toma como A2 a la curva 5+380 puesto que esta es nuestra referencia inicial y no hay forma de calcular un volumen es por ello que se muestra tanto volumen parcial como acumulado, valores de cero, no así en la curva 5+360, ya que A1=9456.900 m^2 y A2=35161.24 m^2 y una distancia promedio entre curvas de 10 m (columna 4), el volumen parcial se genera como en la fórmula 1, sumatoria de áreas contiguas por un medio de la distancia que nos da 446181.440 m^3 de volumen parcial que en este caso será igual al acumulado debido a que los volúmenes parciales anteriores son cero, a diferencia de la curva 5+340 ya que este volumen acumulado es la suma del acumulado anterior más su volumen parcial correspondiente a la curva 5+340 dándonos como resultado un volumen acumulado de 1,562,901.640 m^3 de esta forma se calcula de manera concatenada para obtener el volumen total del edificio considerando solo curvas cerradas.

En la tabla 2 se observa la ubicación de las localidades que están dentro del radio ya

Tabla 1. Cálculo de volumen del volcán Popocatépetl

CURVA	**ÁREAS** $\mathbf{m^2}$	**A1+A2** $\mathbf{m^2}$	**Dist /2** **m**	**VOL. PARCIAL** $\mathbf{m^3}$	**VOL. ACUMULADO** $\mathbf{m^3}$
5+413.00	9456.900	9456.900	0	0.000	0.000
5+360.00	35161.24	44618.144	10	446181.440	446181.440
5+340.00	76510.78	111672.020	10	1116720.200	1562901.640
5+320.00	126204.8	202715.591	10	2027155.910	3590057.550
5+300.00	178235.3	304440.095	10	3044400.950	6634458.500
5+280.00	238155.7	416390.950	10	4163909.500	10798368.000
5+260.00	301838.8	539994.447	10	5399944.470	16198312.470
5+240.00	383776.5	685615.237	10	6856152.370	23054464.840
5+220.00	460969.9	844746.363	10	8447463.630	31501928.470
5+200.00	550312.3	1011282.155	10	10112821.550	41614750.020
5+180.00	657747	1208059.273	10	12080592.730	53695342.750
5+160.00	1004606	1662353.483	10	16623534.830	70318877.580
5+140.00	1124627	2129233.944	10	21292339.440	91611217.020
5+120.00	1244303	2368930.189	10	23689301.890	115300518.910
5+100.00	1405675	2649977.547	10	26499775.470	141800294.380
5+080.00	1512288	2917962.930	10	29179629.300	170979923.680
5+060.00	1617782	3130070.077	10	31300700.770	202280624.450
5+040.00	1749306	3367087.836	10	33670878.360	235951502.810
5+020.00	1893019	3642325.325	10	36423253.250	272374756.060
5+000.00	2042639	3935658.422	10	39356584.220	311731340.280
4+980.00	2201852	4244490.773	10	42444907.730	354176248.010
4+960.00	2365205	4567056.426	10	45670564.260	399846812.270
4+940.00	2570260	4935464.295	10	49354642.950	449201455.220
4+920.00	2772240	5342499.840	10	53424998.400	502626453.620
4+900.00	22971019	25743259.115	10	257432591.150	760059044.770
4+880.00	3182173	26153191.670	10	261531916.700	1021590961.470
4+860.00	3393918	6576090.869	10	65760908.690	1087351870.160
4+840.00	3631692	7025610.639	10	70256106.390	1157607976.550
4+820.00	3869027	7500719.854	10	75007198.540	1232615175.090
4+800.00	4122623	7991650.159	10	79916501.590	1312531676.680
4+780.00	4337708	8460330.910	10	84603309.100	1397134985.780
4+760.00	4596592	8934300.153	10	89343001.530	1486477987.310
4+740.00	4878553	9475145.150	10	94751451.500	1581229438.810
4+720.00	5159936	10038489.091	10	100384890.910	1681614329.720
4+700.00	5474608	10634543.823	10	106345438.230	1787959767.950
4+680.00	5762636	11237243.958	10	112372439.580	1900332207.530
4+660.00	6072470	11835106.328	10	118351063.280	2018683270.810
4+640.00	6406598	12479068.192	10	124790681.920	2143473952.730

CURVA	**ÁREAS** $\mathbf{m^2}$	**A1+A2** $\mathbf{m^2}$	**Dist /2** **m**	**VOL. PARCIAL** $\mathbf{m^3}$	**VOL. ACUMULADO** $\mathbf{m^3}$
4+620.00	6759722	13166320.415	10	131663204.150	2275137156.880
4+600.00	7152763	13912485.770	10	139124857.700	2414262014.580
4+580.00	7481074	14633836.827	10	146338368.270	2560600382.850
4+560.00	7861115	15342188.891	10	153421888.910	2714022271.760
4+540.00	5257061	13118176.583	10	131181765.830	2845204037.590
4+520.00	8656787	13913848.329	10	139138483.290	2984342520.880
4+500.00	9116350	17773137.329	10	177731373.290	3162073894.170
4+480.00	9503181	18619531.522	10	186195315.220	3348269209.390
4+460.00	9951617	19454798.150	10	194547981.495	3542817190.885
4+440.00	10430004	20381621.172	10	203816211.715	3746633402.600
4+420.00	10944111	21374115.415	10	213741154.150	3960374556.750
4+400.00	11520997	22465108.312	10	224651083.120	4185025639.870
4+380.00	12024091	23545087.990	10	235450879.900	4420476519.770
4+360.00	12638515	24662605.933	10	246626059.330	4667102579.100
4+340.00	13229713	25868228.374	10	258682283.740	4925784862.840
4+320.00	13855358	27085070.761	10	270850707.610	5196635570.450
4+300.00	14608080	28463437.385	10	284634373.850	5481269944.300
4+280.00	16267576	30875655.515	10	308756555.150	5790026499.450
4+260.00	16012891	32280466.301	10	322804663.010	6112831162.460
4+240.00	16819517	32832408.025	10	328324080.250	6441155242.710
4+220.00	17637405	34456922.452	10	344569224.520	6785724467.230
4+200.00	18561837	36199241.596	10	361992415.960	7147716883.190
4+180.00	19362744	37924580.334	10	379245803.340	7526962686.530
4+160.00	20314914	39677658.162	10	396776581.620	7923739268.150
4+140.00	21340455	41655369.755	10	416553697.550	8340292965.700
4+120.00	22507098	43847553.084	10	438475530.840	8778768496.540
4+100.00	23820120	46327217.553	10	463272175.530	9242040672.070
4+080.00	25015789	48835908.650	10	488359086.500	9730399758.570
4+060.00	26372158	51387946.920	10	513879469.200	10244279227.770
4+040.00	27906474	54278631.926	10	542786319.260	10787065547.030
4+020.00	29349995	57256468.600	10	572564686.000	11359630233.030
4+000.00	30921866	60271861.259	10	602718612.590	11962348845.620
3+980.00	32587691	63509557.672	10	635095576.720	12597444422.340
3+960.00	34400516	66988207.405	10	669882074.050	13267326496.390
3+940.00	36249717	70650233.683	10	706502336.830	13973828833.220
3+920.00	38398543	74648260.898	10	746482608.980	14720311442.200
3+900.00	40488845	78887388.749	10	788873887.490	15509185329.690
VOLUMEN TOTAL =					15509185329.690

Tabla 2. Zonas de riego delimitadas en radio de 25 km

LUGAR	**XUTM**	**YUTM**	**ZUTM**	**Dist. al cráter (m)**
Popocatépetl	539,567.00	2,103,376.00	5,413.16	0
Tlamacas	538,575.00	2,108,239.00	3,923.44	4963.15
Paso de Cortés	537,168.00	2,110,455.00	3,694.64	7474.45
Buena Vista	542,393.00	2,111,438.00	3,256.68	8542.96
San Pedro Benito Juárez	547,016.00	2,095,060.00	2,394.55	11164.38
San juan Ocotepec	547,573.00	2,094,212.00	2,299.99	12168.60
Xalitzintla	550,713.00	2,109,824.00	2,587.97	12876.72
La Magdalena Yancuitlapan	543,655.00	2,090,891.00	2,308.28	13137.24
San Pedro Nexapa	527,724.00	2,110,075.00	2,657.42	13606.37
Ozolco	550,862.00	2,111,889.00	2,586.75	14143.84
Acatzingo	526,104.00	2,096,287.00	2,438.58	15215.33
Loma Verde	524,688.00	2,099,949.00	2,433.08	15268.56
San Baltazar Atlimeyaya	554,566.00	2,099,450.00	2,231.67	15504.31
San Nicolás de Las Ranchos	554,115.00	2,108,795.00	2,443.01	15524.49
San Juan Tehuixtitlán	524,304.00	2,106,753.00	2,502.53	15632.12
Tochimilco	545,024.00	2,088,713.00	2,083.47	15645.52
San Miguel Tacuanipan	540,105.00	2,087,392.00	2,189.49	15993.05
Atlautla	523,320.00	2,104,097.00	2,419.87	16262.99
El salto	528,312.00	2,115,687.00	2,696.14	16680.40
San Pedro	527,398.00	2,091,925.00	2,532.92	16709.58
Hueyapan	532,546.00	2,088,211.00	2,340.96	16711.42
San Diego Huehuecalco	524,710.00	2,111,204.00	2,588.77	16793.09
Tetela	528,093.00	2,089,768.00	2,296.47	17799.73
San Juan Tepecoculco	522,302.00	2,099,011.00	2,232.58	17808.24
San Antonio Zoyatzingo	522,845.00	2,110,192.00	2,530.19	18057.77
Santa María Atexcac	552,853.00	2,115,717.00	2,600.31	18133.34
San Jerónimo Coyula	550,900.00	2,089,181.00	1,966.41	18164.11
Ozumba de Alzate	521,465.00	2,104,989.00	2,362.18	18173.72
San Tiago Mamalhuazuca	521,526.00	2,100,311.00	2,228.24	18299.51
Amecameca de Juárez	524,541.00	2,114,388.00	2,509.69	18629.14
San Andrés Calpan	555,957.00	2,112,653.00	2,446.63	18833.34
Huechahuasco	522,906.00	2,093,991.00	2,167.65	19122.43
Tianguismanalco	558,041.00	2,098,205.00	2,163.32	19184.05
Huejotengo	525,948.00	2,089,671.00	2,253.32	19321.08
San Juan Tlacotompa	522,035.00	2,094,340.00	2,146.42	19723.60
Jumiltepec	523,724.00	2,091,348.00	2,256.65	19891.54
San Andrés Tlamac	520,415.00	2,097,284.00	2,134.29	20097.55
Nepopualco	553,649.00	2,117,833.00	2,568.84	20181.86
San Francisco Huilango	544,226.00	2,083,640.00	1,998.05	20278.46

LUGAR	**XUTM**	**YUTM**	**ZUTM**	**Dist. al cráter (m)**
Texcala	521,473.00	2,093,604.00	2,050.97	20564.16
San Juan Tejupa	548,529.00	2,084,525.00	1,876.15	20872.89
Tepetlixpa	518,679.00	2,103,869.00	2,324.57	20893.82
San Buena Ventura Nealtican	560,304.00	2,106,667.00	2,258.66	20996.52
San Juan Amecac	535,966.00	2,082,674.00	2,123.64	21012.85
Domingo Arenas	556,236.00	2,116,245.00	2,433.90	21058.65
San Antonio Tlaltecahuacan	524,024.00	2,118,003.00	2,496.68	21343.24
San Antonio Tlatenco	553,094.00	2,120,096.00	2,556.79	21506.70
San Francisco Zentlapan	522,508.00	2,117,369.00	2,466.38	22063.85
Ayapango	520,788.00	2,115,223.00	2,451.87	22203.65
San Cristobal Poxtla	521,170.00	2,115,963.00	2,448.79	22290.85
Santiago Atzitzihuacan	544,085.00	2,081,369.00	1,913.19	22465.98
Ocuituco	523,808.00	2,087,305.00	1,937.78	22508.29
Atlixco	557,936.00	2,089,855.00	1,877.22	22808.72
Tetepetla	519,633.00	2,115,295.00	2,441.98	23225.57
Nepantla de Sor Juana I.C.	516,738.00	2,098,762.00	2,026.02	23290.60
San Mateo Cuaptepec	536,571.00	2,080,249.00	2,051.06	23320.25
San Miguel Aguacomulican	547,271.00	2,081,281.00	1,807.52	23399.59
San Jerónimo Tecuanipan	563,180.00	2,102,292.00	2,142.76	23637.87
Atzacoaloya	526,892.00	2,123,668.00	2,862.71	23925.32
San Francisco Xochiteopan	539,731.00	2,079,386.00	2,016.58	23990.56
San Nicolás Zecoalacuayan	553,801.00	2,122,861.00	2,465.06	24130.31
San Rafael	525,911.00	2,124,183.00	2,625.94	24888.10
San Matías Cuijingo	515,564.00	2,109,995.00	2,490.36	24898.90
Santa María Acuexcomac	564,647.00	2,105,243.00	2,173.31	25149.40
Xochitlan	519,199.00	2,087,826.00	1,768.76	25625.34

mencionado, ordenados de menor a mayor distancia de alejamiento del cráter, calculado en base a las coordenadas de proyección UTM zona 14Q, es decir la distancia horizontal respecto al cráter.

Una actividad explosiva del volcán puede expulsar fragmentos de roca y lava en una trayectoria más o menos parabólica que se modifica por una fuerza de arrastre lo que provoca que las caídas de estos fragmentos conocidos como proyectiles balísticos sean más verticales que parabólicos lo que repercute en la fuerza de impacto. (Martin Del Pozzo et al.,2018).
Con base en los registros de impacto recuperados desde noviembre de 1994 a marzo de 2019 por USGS (United States Geological Survey) se han identificado históricamente 123 cráteres de impacto de menos de un metro de diámetro, de los cuales solo 65 han podido ser medidos; el cráter de impacto aumenta respecto al tamaño del balístico en promedio de 4-5 veces el diámetro como se muestra en la figura 7.

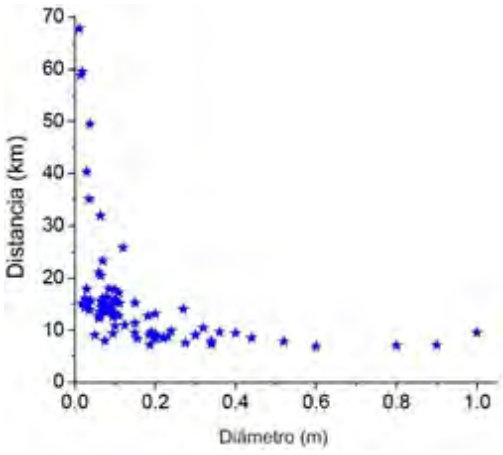


Figura 7. Fragmentos líticos encontrados en el depósito precámbrico de la erupción Pliniana de hace 14,000 años reportados por Sosa Ceballos et al. (2012) donde se muestra la relación de la distancia al cráter con diámetro máximo.

Estudio gravimétrico

La aceleración de la gravedad se utiliza cuando el objeto de estudio es el campo de gravedad o las variaciones de densidad, las cuales son responsables de la variación de dicho campo (Arce et al., 2015).

De acuerdo con el Instituto Geográfico Nacional de España (2016) a través de la medición de pequeñas variaciones en el campo gravitatorio (anomalías gravitacionales) es posible detectar procesos geodinámicos en el interior de la corteza terrestre, incluido los movimientos del magma.

Para calcular la anomalía del aire libre se determinó la diferencia entre el valor de gravedad observado y el valor de gravedad teórico corregido por la altura del valor medido de gravedad (g) con respecto a una superficie de referencia mediante la aplicación de una corrección del gradiente de gravedad normal; además se calculó la anomalía de Bouguer, tomando en cuenta la variación de la gravedad con la altura, así como las masas presentes entre el punto de observación y el geoide como superficie de referencia. Al aplicar esta corrección, la anomalía restante es representativa de cambios de densidad a nivel cortical y cambios de grosor en la corteza terrestre. La anomalía de Bouguer es generalmente negativa, (Hirt., et al 2019) como se puede ver en la tabla 3.

Adicionalmente se realizaron perfiles topográficos de las 64 localidades (se presentan solo algunos perfiles) trazando una pendiente promedio como se ve en la figura 8 a la 13, tomando el centro del cráter a la comunidad respectiva.

Cabe aclarar que se presenta una pendiente negativa en los perfiles debido a que hace referencia a la pendiente en descenso, es decir,

Tabla 3. Gravedad y anomalías de Bouguer y aire libre en 64 localidades cercanas al volcán Popocatépetl.

Lugar	**Latitud** ^{o}	**Longitud** ^{o}	**Altura SNM**	**Gravedad local** m/s^2	**Anomalia de Bouger** m/s^2	**Anomalia de aire libre** m/s^2
Popocatépetl	19.022651	-98.624017	5,413.16	9.772510	-0.002131	0.002635
Tlamacas	19.066619	-98.633347	3,923.44	9.775688	-0.002223	0.001951
Paso de Cortés	19.086672	-98.646678	3,694.64	9.776205	-0.002252	0.001751
Buena Vista	19.095453	-98.596988	3,256.68	9.777049	-0.002292	0.001240
San Pedro Benito Juárez	18.947338	-98.553436	2,394.55	9.779191	-0.001813	0.000807
San juan Ocotepec	18.939661	-98.548166	2,299.99	9.779414	-0.001780	0.000743
Xalitzintla	19.080677	-98.517937	2,587.97	9.778593	-0.002117	0.000732
La Magdalena Yancuitlapan	18.909734	-98.585451	2,308.28	9.779375	-0.001777	0.000745
San Pedro Nexapa Nexapa	19.083388	-98.736458	2,657.42	9.778447	-0.002114	0.000798
Ozolco	19.099336	-98.516467	2,586.75	9.778565	-0.002152	0.000689
Ecatzingo	18.958799	-98.752042	2,438.58	9.779108	-0.001818	0.000853
Loma Verde	18.991912	-98.765446	2,433.08	9.778967	-0.001994	0.000677
San Baltazar Atlimeyaya	18.986825	-98.481604	2,231.67	9.779479	-0.001894	0.000571
San Nicolás de Las Ranchos	19.071291	-98.485629	2,443.01	9.778977	-0.002028	0.000673
San Juan Tehuixtitlán	19.053409	-98.769010	2,502.53	9.778832	-0.002034	0.000722
Tochimilco	18.890021	-98.572501	2,083.47	9.779830	-0.001774	0.000518
San Miguel Tacuanipan	18.878184	-98.619233	2,189.49	9.779574	-0.001809	0.000595
Atlautla	19.029416	-98.778394	2,419.87	9.779038	-0.001980	0.000687
El salto	19.134098	-98.730786	2,696.14	9.778256	-0.002233	0.000698
San Pedro	18.919360	-98.739812	2,532.92	9.778962	-0.001745	0.001020
Hueyapan	18.885719	-98.690986	2,340.96	9.779350	-0.001731	0.000835
San Diego Huehuecalco	19.093630	-98.765094	2,588.77	9.778621	-0.002097	0.000755
Tetela	18.899856	-98.733243	2,296.47	9.779447	-0.001732	0.000787
San Juan Tepecoculco	18.983462	-98.788126	2,232.58	9.779513	-0.001847	0.000609
San Antonio Zoyatzingo	19.084506	-98.782836	2,530.19	9.778784	-0.002052	0.000742

Lugar	**Latitud** ^{o}	**Longitud** ^{o}	**Altura SNM**	**Gravedad local** m/s^2	**Anomalia de Bouger** m/s^2	**Anomalia de aire libre** m/s^2
Santa María Atexcac	19.133879	-98.497435	2,600.31	9.778577	-0.002149	0.000723
San Jerónimo Coyula	18.894114	-98.516698	1,966.41	9.780162	-0.001688	0.000486
Ozumba de Alzate	19.037498	-98.796011	2,362.18	9.779174	-0.001968	0.000640
San Tiago Mamalhuazuca	18.995219	-98.795483	2,228.24	9.779474	-0.001904	0.000550
Amecameca de Juárez	19.122407	-98.766660	2,509.69	9.778780	-0.002112	0.000653
San Andrés Calpan	19.106106	-98.468009	2,446.63	9.778973	-0.002049	0.000661
Huechahuasco	18.938087	-98.782446	2,167.65	9.779687	-0.001774	0.000607
Tianguismanalco	18.975478	-98.448628	2,163.32	9.779649	-0.001826	0.000536
Huejotengo	18.899008	-98.753612	2,253.32	9.779534	-0.001730	0.000741
San Juan Tlacotompa	18.941250	-98.790715	2,146.42	9.779728	-0.001775	0.000582
Jumiltepec	18.914191	-98.774709	2,256.65	9.779528	-0.001736	0.000737
San Andrés Tlamac	18.967874	-98.806071	2,134.29	9.779760	6-0.001785	0.000562
Nepopualco	19.152981	-98.489808	2,568.84	9.778692	-0.002108	0.000732
San Francisco Huilango	18.844191	-98.580192	1,998.05	9.779994	-0.001760	0.000443
Texcala	18.934604	-98.796061	2,050.97	9.779931	-0.001761	0.000494
San Juan Tejupa	18.852093	-98.539326	1,876.15	9.780287	-0.001720	0.000357
Tepetlixpa	19.027403	-98.822498	2,324.57	9.779285	-0.001929	0.000640
San Buena Ventura Nealtica	19.051886	-98.426869	2,258.66	9.779427	-0.001941	0.000566
San Juan Amecac	18.835621	-98.658615	2,123.64	9.779843	-0.001660	0.000685
Domingo Arenas	19.138560	-98.465253	2,433.90	9.779054	-0.002012	0.000685
San Antonio Tlaltecahuacan	19.155084	-98.771531	2,496.68	9.778766	-0.002166	0.000581
San Antonio Tlatenco	19.173447	-98.495023	2,556.79	9.778697	-0.002140	0.000687
San Francisco Zentlapan	19.149371	-98.785956	2,466.38	9.778849	-0.002149	0.000573
Ayapango	19.129995	-98.802335	2,451.87	9.778921	-0.002101	0.000612

Lugar	**Latitud** ^{o}	**Longitud** ^{o}	**Altura SNM**	**Gravedad local** m/s^2	**Anomalia de Bouger** m/s^2	**Anomalia de aire libre** m/s^2
San Cristobal Poxtla	19.136679	-98.798695	2,448.79	9.778919	-0.002111	0.000597
Santiago Atzitzihuacan	18.823670	-98.581581	1,913.19	9.780262	-0.001651	0.000462
Ocuituco	18.877650	-98.773961	1,937.78	9.780192	-0.001695	0.000437
Atlixco	18.900020	-98.449873	1,877.22	9.780329	-0.001708	0.000375
Tetepetla	19.130657	-98.813317	2,441.98	9.778950	-0.002093	0.000610
Nepantla de Sor Juana I.C.	18.981265	-98.840987	2,026.02	9.780002	-0.001766	0.000462
San Mateo Cuaptepec	18.813694	-98.652918	2,051.06	9.780004	-0.001632	0.000634
San Miguel Aguacomulican	18.822804	-98.551345	1,807.52	9.780458	-0.001668	0.000333
San Jerónimo Tecuanipan	19.012262	-98.399679	2,142.76	9.779746	-0.001833	0.000549
Atzacoaloya	19.206245	-98.744178	2,862.71	9.777975	-0.002232	0.000890
San Francisco Xochiteopan	18.805836	-98.622945	2,016.58	9.780083	-0.001617	0.000611
San Nicolás Zecoalacuayan	19.198416	-98.488222	2,465.06	9.778871	-0.002165	0.000564
San Rafael	19.210912	-98.753503	2,625.94	9.778447	-0.002228	0.000629
San Matías Cuijingo	19.082794	-98.852050	2,490.36	9.778896	-0.002022	0.000732
Santa María Acuexcomac	19.038884	-98.385643	2,173.31	9.779683	-0.001852	0.000566
Xochitlan	18.882407	-98.817714	1,768.76	9.780545	-0.001685	0.000267

se tomó como pendiente promedio del punto central del cráter del Popocatépetl al punto en cuestión de la localidad, por ejemplo, para el perfil de la figura 8 se descenderá 19.7274m verticales por cada 100 m horizontales.

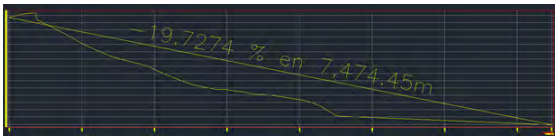


Figura 8. Perfil Paso de Cortés.

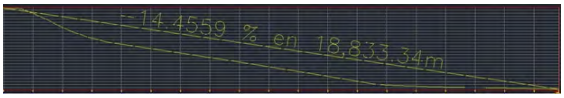


Figura 9. Perfil San Andrés Calpan.

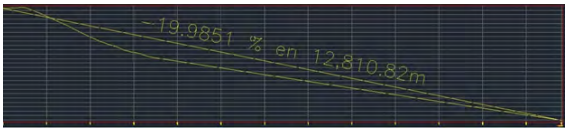


Figura 10. Perfil Xalitzintla.

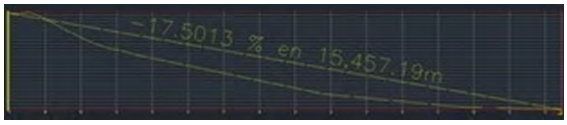


Figura 11. Perfil San Nicolás de los Ranchos.

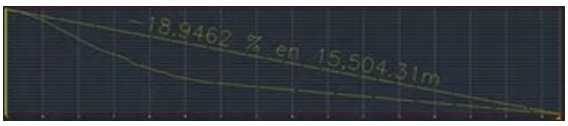


Figura 12. Perfil San Baltazar Atlimeyaya.

Figura 13. Perfil Atlixco.

Análisis de las figuras 8 a la 13: Las distancias calculadas con base en coordenadas de una proyección, una pendiente promedio y un perfil, amplían el panorama en cuanto el riesgo que corren las poblaciones cercanas al volcán, por la relación distancia-pendiente: a menor distancia y mayor pendiente mayor riesgo, a mayor distancia y menor pendiente menor riesgo aunque en los peores escenarios un colapso del edificio volcánico desplazaría material a unos 80 km, con una destrucción total, (Ramos et al., 2018), pero las áreas de mayor afectación serían las que se mencionan en la tabla 3 por la cercanía al cráter y las pendientes pronunciadas. Los perfiles analizados muestran que el riesgo volcánico debido a la topografía del terreno, respecto a la relación pendiente-distancia de las comunidades en orden decreciente es: Xalitzintla, San Baltazar Atlimeyaya, San Nicolás de los Ranchos, San Andrés Calpan y Atlixco. Pero, la región de Atlixco es la comunidad más vulnerable por riesgo volcánico debido a su densidad poblacional, aunque los flujos de material piroclástico y ceniza volcánica llegarían más rápido a las otras comunidades.

Conclusiones

Este trabajo pretende contribuir a los mapas de riesgo generados por las dependencias de Protección Civil de los Estados cercanos al volcán Popocatépetl; determinando las zonas de riesgo, ubicadas en un radio de 25 km; este análisis se realizó con fundamento al convenio que se tiene entre la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y BITS-Geospatial, por lo que fue posible utilizar imágenes satelitales de la plataforma PLANET de la constelación SkySat a 80 cm y poder determinar con exactitud 64 localidades con riesgo latente no sólo en la caída de cenizas sino en un posible flujo piroclástico y lahar que pudiera afectar inmediatamente a las comunidades determi-

nadas.

A través del análisis cartográfico se pudieron definir las características morfológicas del volcán con un modelo ideal de forma elíptica, cuya elevación máxima del cono volcánico se calculó en 5413.16 msnm en la curva máxima cerrada por medio de cartografía digital e imágenes satelitales; de manera similar se obtuvo el volumen del volcán de 15.51 km3, calculado para la fecha en que se realizó la digitalización de la carta INEGI.

Se tomó en cuenta la actividad presente en este primer cuatrimestre del 2019 que ha modificado micrométricamente su estructura por el material piroclástico emanado.

El estudio gravimétrico realizado sirvió para determinar las anomalías gravimétricas que contribuyen a determinar las variaciones de densidad y en los procesos geodinámicos (cambios de densidad a nivel cortical y cambios de grosor en la corteza terrestre) que puedan contribuir a una aceleración de algún elemento volcánico como nube ardiente o flujos de lahar.

En la tabla 3 con la aceleración de la gravedad en puntos importantes, se presentan dos tipos de anomalías, Bouger y aire libre, que probablemente son imperceptibles pero útiles en el análisis de la dinámica subcortical generado por actividad volcánica en los riesgos mencionados.

Finalmente se tiene que mencionar que los trabajos son apoyados por el grupo interdisciplinario de la Facultad de Ingeniería, el Instituto de Ciencias y la Vicerrectoría de Investigación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Proyecto financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (clave 100409011-VIEP2018-19).

Referencias

[1] Franco Ramos, O., Vázquez Selem, L., Zamorano Orozco, J. y Villanueva Díaz, J. (2017). "Edad, dinámica geomorfológica y tipología de barrancas en el sector norte del volcán Popocatépetl, México". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. (69), UNAM, México, pp. 1-19.

[2] Macías, J.L., 2005, Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 3, 395–399.

[3] Alcántara García, Dante, (2014). "Topografía y sus aplicaciones", Ed. Patria, primera edición, México, pp. 129-184.

[4] Espinasa-Pereña, R. (2012). Historia de la actividad del volcán Popocatépetl. 17 años de erupciones. Recuperado el 21 de junio de 2019 de https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/225-historiadelaactividaddel volcán popocatpetl-17aosdeerupciones.pdf.

[5] Martin Del Pozzo A. L. y Alatorre Ibargüengoitia M. (2018). "Estudios geológicos y actualización del mapa de peligros del volcán Popocatépetl", Memoria técnica del mapa de peligros del volcán Popocatépetl. Monografías instituto de geofísica, vol. 22, México.

[6] Delgado Granados H., Valdéz González C y Ramos Jiménez E. (2013). Las cenizas volcánicas del Popocatépetl y sus efectos para la aeronavegación infraestructura aeroportuaria. CENAPRED, Instituto de Geofísica, UNAM, México, pp. 20-61.

[7] Gravity Information System. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunsch weig, 2017, Germany. Disponible en línea:
www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php

[8] Sosa Ceballos G., Gardner J.E., Siebe C. and Macías J.L., (2012). "A caldera forming eruption 14,100 14C yr BP at Popocatépetl volcano, México: Insights from eruption dynamics and magma mixing. Journal of Volcano- logy and Geothermal Research", vol. (213), Elsevier, USA, pp. 27-40.

[9] Arce G. J.L., Sosa Ceballos, J. L., Macías, García Tenorio, F., Layer P., Schaaf P. and Solís Pichardo G. (2015). "El Ventorrillo, a paleostructure of Popocatépetl volcano: insights from geochronology and geochemistry", Bulletin of Volcanology, vol. (310), Springer, USA, pp. 77-91.

[10] Instituto Geográfico nacional de España. La vulcanología es multiparamétrica, 14 de octubre de 2016, disponible en línea: http://www.multiteide.es/2016/10/la-volcanologia-multiparametrica/

[11] Hirt, C., Bucha, B., Yang, M. and Kuhn, M. (2019). "A numerical study of residual terrain modelling (RTM) techniques and the harmonic correction using ultra-high-degree spectral gravity modelling". Journal of Geodesy, vol. (44), Springer, Switzerland, pp. 1-18.

[12] Ramos Aguilar, R. et al. (2018). "Photogrammetric follow-up of the Popocatepetl volcano exhalations, in Mexico, during the year 2016". Investigación y Ciencia, vol. (73), UAA, México, pp. 37-48.

[13] Cortés Ramos, J., and Delgado Granados, H. (2012). "The recent retreat of mexican glaciers on Citlaltépetl Volcano detected using ASTER data. The Cryosphere Discussions", UGM, vol. (6), México, pp. 3149-3176.

[14] García, F., Ramos, E., and Domínguez, R. (1996). "Posible flujo de lodo en el costado oriente del volcán Popocatépetl. En Volcán Popocatépetl. Estudios realizados durante la crisis de 1994-1995". CENAPRED, UNAM, México, pp. 109-119.

[15] Siebe, C., Macías, J.L., Abrams, M; Obenholzner, J., 1996, La destrucción de Cacaxtla y Cholula: un suceso en la historia eruptiva del Popocatépetl: Ciencias, 41, 36–45.

[17] INEGI, Topografía. (2015), Recuperado el 08 de febrero de 2019: https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/

Descenso máximo en diques rompeolas de piezas sueltas con perfil en S

Jair Del Valle Morales,
José Antonio González Vázquez,
Claudia Rojas Serna,
Erika Hernández Vivar
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa

www.pexels.com

Resumen

El presente estudio está enfocado a la evaluación del descenso máximo (*Rd/H*) en diques rompeolas de piezas sueltas con perfil en S (DRPS-S). Se plantea una metodología integral, la cual parte de la definición del perfil en S, posteriormente se describen los pasos que llevan al diseño geométrico de la sección transversal de un DRPS-S, donde dicha metodología se ha descrito en el artículo-par (*Evaluación del ascenso máximo, Ru*), el cual se enfoca únicamente en el análisis del ascenso máximo en DRPS-S (Del Valle y Gonzalez-Vazquez, 2018). A continuación se mencionan todas las variables que se ven involucradas en el modelado numérico el cual se lleva a cabo con ayuda del software OpenFOAM® para así obtener el valor del descenso máximo por cada estado de mar planteado. Además se hace un análisis estadístico de estos resultados y se le proporciona al lector una ecuación de ajuste estadístico que permite evaluar el *Rd/H* como función única del número de Iribarren, ξ. Finalmente, se realiza una comparación entre los resultados numéricos y dos formulaciones matemáticas tomadas de la literatura especializada, llegando a proponer unos factores de ajuste que aplicados a dichas ecuaciones permiten al lector evaluar el descenso máximo para esta tipología especial de dique con un buen grado de confianza.

Palabras clave

Descenso máximo; DRPS-S; OpenFOAM; número de Iribarren.

Abstract

This paper focuses on the evaluation of the rundown (*Rd/H*) on the breakwaters with "S" profile (DRPS-S). A complete integral methodology is proposed, that starts with the definition of the "S" profile. Afterwards the necessary steps to the geometric design of a DRPS-S are presented. This methodology is presented in the par-paper (Evaluation of the runup, *Ru*), which focuses only on the analysis of the runup. Later, all the variables involved in the numerical modelling are presented. The numerical calculations, made with the software OpenFOAM®, allow the evaluation of the rundown originated by each proposed sea state. A statistical analysis of the obtained results was made, and a statistical fitted function that allows the evaluation of *Rd/H* as a function of Iribarren number ξ, is proposed. Finally, a comparison between the numerical results, and two mathematical formulations from the literature is made. Adjustment numerical-factors to these equations are proposed, which allows the evaluation of the rundown with major confidence for these type of breakwaters.

Keywords

Rundown; DRPS-S; OpenFOAM; Iribarren number.

Introducción

Los fenómenos de flujo presentes en las estructuras de protección costera se pueden agrupar considerando dos puntos de vista: energético: fenómenos de reflexión, transmisión, difracción y disipación de la energía del oleaje; y de masa: ascenso máximo o *runup*, descenso máximo o *rundown* y el rebase del agua sobre las estructuras (*overtopping*).

En este trabajo se hablará exclusivamente del descenso máximo. No obstante, este parámetro se puede determinar conjunta-

mente con el ascenso máximo. Para que el lector se familiarice un poco más se definen ambos parámetros de la siguiente manera: el ascenso máximo es la elevación que alcanza el agua al incidir sobre el talud en los **D**iques **R**ompeolas de **P**iezas **S**ueltas (**DRPS**) sin que exista rebase. Dicha elevación se mide a partir del nivel medio del agua (NMA) en forma vertical (Figura 1A). En este sentido, el ascenso máximo es el punto más elevado que alcanza el agua sobre el talud. Por otra parte, el descenso máximo es la distancia vertical máxima medida a partir del nivel medio de agua hasta el punto más bajo que alcanza la lámina de agua al incidir sobre el talud del DRPS (Del Valle, 2017). En la Figura 1B se ilustra esta definición.

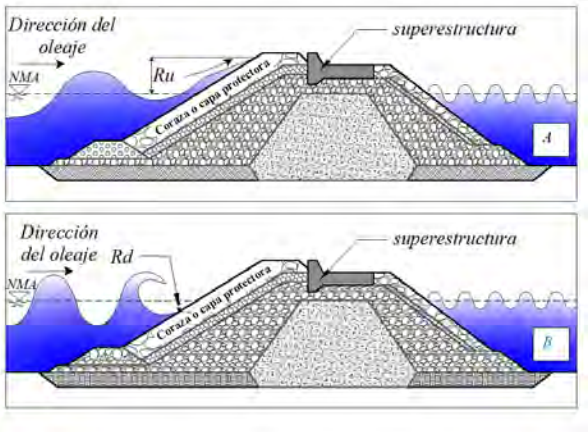


Figura 1. Definición del ascenso y descenso máximo en un DRPS.

Por otra parte, el número de Iribarren, que usualmente se denota con la letra griega ξ, es un parámetro adimensional que relaciona características geométricas e hidrodinámicas presentes en los DRPS. Más adelante se muestra una fórmula básica para su determinación.

En el diseño de estructuras de protección costera, las fuerzas más importantes a considerar son su peso propio, viento y oleaje. El oleaje es la fuerza de mayor importancia, sus condiciones influyen en el secado y mojado, generando un campo de presiones interno en las diferentes capas que constituyen el DRPS. Dicho forzamiento es el que da la pauta para el diseño hidrodinámico y mecánico de las estructuras de protección costera, trabajos experimentales en torno al campo de presión internas y externas en DRPS, son menores que en diques en talud (Hall y Foster, 1990).

En este sentido, los DRPS son las obras civiles que más abundan como infraestructura de protección, cuya principal función consiste en disipar la energía del oleaje a través de la rotura de las olas y por la fricción generada a través de la coraza principal y como función secundaria, reflejar la energía del oleaje hacia mar abierto. Normalmente se aprovecha la cercanía de bancos de materiales para su construcción. Se diseñan y construyen este tipo de estructuras para evitar la acción severa del oleaje sobre las playas y los puertos. Tradicionalmente se construyen considerando un solo talud tanto del lado expuesto (*seaward*) como del lado protegido (*landward*).

En cuanto a su diseño mecánico, los DRPS pueden encontrarse construidos considerando un solo tamaño de pieza, o en varias capas, teniendo así, en este último caso, diferentes tamaños de piezas que constituyen el rompeolas. Ya sea el primer caso o el segundo, cuando el talud expuesto a la acción del oleaje comienza a deformarse, la sección transversal del rompeolas tiende a la forma de la letra S estirada (o alargada). Se ha podido determinar que dicho perfil deformado es dinámicamente estable en condiciones ordinarias que dieron origen a tal deformación, otra investigación podría ser para

eventos extraordinarios en un estado de mar más energético. Si esta deformación no para, y es el caso de un rompeolas constituido por varias capas, comienza el movimiento de las piezas de las capas subyacentes hacia la capa principal. Dicho movimiento conlleva a la pérdida de las piezas que forman la coraza o capa protectora de la estructura, en ese momento el rompeolas se puede considerar en riesgo estructural. Sin embargo con la evaluación de las fuerzas involucradas se puede calcular una vida útil de la estructura con diferentes periodos de retorno que satisfagan la protección y que además tenga una factibilidad económica.

La siguiente comparación que se menciona sintetiza los aspectos de los DRPS tradicionales o en talud contra las características que ofrecen los DRPS con perfil en S:

- **Hidrodinámica**: los efectos adversos debido a los procesos de transformación del oleaje son menores comparados con los efectos presentes en los diques rompeolas en talud.
- **Geométrica**: la geometría del dique en S promueve una mayor estabilidad de las piezas protectoras.
- **Mecánica**: el tamaño de las piezas protectoras del dique pueden ser menores con respecto a las piezas usadas en un dique rompeolas en talud.
- **Constructiva**: al emplearse piezas protectoras de menor tamaño, por dar un ejemplo, el tamaño de las grúas que se utilicen para su colocación podrán ser de menores dimensiones.
- **Costos**: los costos totales de un dique en S a lo largo de su vida útil serán menores, esto con base en que el perfil en S promueve una estabilidad alta.

Por otra parte, el uso de herramientas numéricas actualmente ha cobrado una relevancia bastante importante. Una de las razones de esto se debe al poder de las computadoras para realizar cálculos matemáticos, aun cuando se traten de computadoras de uso personal (computadoras de escritorio). La importancia del uso del software OpenFOAM en este trabajo radica en que, por medio de esta herramienta, es posible valorar parámetros o variables físicas en modelos a escala natural, evitando de esta manera el tema de los factores de escala tanto espaciales como temporales. Se resalta que, en este artículo, los resultados del descenso máximo corresponden a modelos numéricos de diques rompeolas a escala natural, lo cual hace valiosa la información que se presenta aquí, ya que se puede comparar con información medida de estructuras que ya estén operando, de ahí la justificación del uso de esta herramienta numérica.

Considerando lo antes expuesto, la importancia del presente trabajo reside en mostrarle tanto al lector especializado como no especializado, una parte de un análisis integral para caracterizar hidrodinámica y mecánicamente un DRPS con perfil en S (DRPS-S). Para llevar a cabo esta labor, a continuación se enuncia el siguiente objetivo.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es analizar uno de los fenómenos de flujo presentes en los DRPS-S, el descenso máximo (*rundown, Rd*), el cual permitirá la valoración y comparación entre las ecuaciones establecidas

y la aplicación de software OpenFOAM (solución numérica de acuerdo a la dinámica de fluidos), para finalmente llegar a un ajuste estadístico y proponer una nueva ecuación (de origen estadística) que permita determinar $Rd = f(\xi)$, donde ξ es el número de Iribarren, adimensional.

Trabajo numérico

Descripción del modelo

Actualmente existe una tendencia al uso más recurrente de modelos o herramientas numéricas que permiten coadyuvar en la solución de problemas de ingeniería. Siendo más específicos, el uso de *software* como es OpenFOAM en la ingeniería de costas resultan muy útiles. En particular, se han recurrido a módulos, los cuales se han diseñado para ejecutarse dentro de la arquitectura o composición de OpenFOAM. A continuación, se resaltan las características principales de cada una de las partes que integran el modelo numérico.

OpenFOAM® *(**O**pen **F**ield **O**peration **A**nd **M**anipulation)*

OpenFOAM® es un *software* de uso libre desarrollado por OpenCFD Ltd el cual está disponible para los sistemas operativos Windows®, Mac® y Linux®. Su sitio web oficial es: www.openfoam.com. También, es un software que permite la resolución de diversos problemas clasificados en los siguientes temas: dinámica de fluidos, dinámica de sólidos, fenómenos electromagnéticos y finanzas. Posee múltiples herramientas para el pre-proceso de la información, herramientas que se pueden ejecutar mientras la simulación numérica se está ejecutando, y herramientas de pos-proceso para gestionar los resultados. En esencia, OpenFOAM es una librería de C++ empleada para crear *solvers* (Lambert, 2012).

Dentro del campo de la *Dinámica de Fluidos Computacional* (**CFD** por sus siglas en inglés), el software permite la resolución de las ecuaciones del modelo **VARANS** (***V**olume-**A**verage **R**eynolds **A**veraged **N**avier-**S**tokes*). Sobre el modelo VARANS se puede consultar a Alcérreca-Huerta y Oumeraci (2016), Jensen et al. (2014) y Hsu et al. (2002). En Del Valle (2017) y Del Valle et al. (2018) se realizó una descripción a detalle de dicho modelo. Sobre "el procedimiento de promedio en un volumen (*volume averaging procedure*)", que es la técnica para llegar al modelo VARANS, se pueden consultar referencias tales como Whitaker (1986a), Whitaker (1986b).

Librería *waves2Foam* y solver *waveDyPorousFoam*

Jacobsen et al. (2012) desarrollaron una librería llamada *waves2Foam*, la cual es un conjunto de herramientas usadas para la generación/absorción de ondas superficiales de agua. Es un conjunto de herramientas perfectamente ideado para la resolución de problemas de ingeniería de costas. Esta librería aplica la técnica de zonas de relajación (capas activas tipo esponja) la cual permite evitar la reflexión en las fronteras de ondas provenientes del dominio computacional. La librería posee en su arquitectura diferentes teorías analíticas de oleaje: regular tipo Stokes-I, -II -V, función de flujo, c-noidal; e irregular basado en espectros de oleaje Jonswap y Pierson-Moskowitz. Además, las zonas de relajación pueden tener la forma geométrica que desee el usuario. Por defecto la librería permite que la forma geométrica de las zonas de relajación

sea rectangular, cilíndrica y semi-cilíndrica. Más información sobre este conjunto de herramientas, además de su artículo base, se puede consultar la página de internet: https://openfoamwiki.net/index.php/Contrib/waves2Foam (*revisado en diciembre 2018*). Actualmente, existe para su descarga gratuita un manual (Jacobsen, 2017) sobre la librería que complementa la información de la página web mencionada líneas arriba.

El solver *wavePorousFoam* fue desarrollado por Alcérreca-Huerta (2014) el cual posee la capacidad de propagar oleaje al interior de uno o varios medios porosos. Utiliza las capacidades de la librería *waves2Foam* y de OpenFOAM.

Metodología del diseño geométrico

La metodología llevada a cabo se resume de la siguiente manera:

- Definición del perfil en S y dimensionamiento de la sección transversal del DRPS-S.
- Caso de análisis. Definición de parámetros computacionales y físicos.

Definición del perfil en S y dimensionamiento de la sección transversal del DRPS-S

Para dimensionar la sección transversal del DRPS-S, en primer lugar se debe definir el perfil en S. En este trabajo el perfil real en S se aproxima mediante tres pendientes, de las cuales las pendientes de la zona baja e intermedia están bajo el nivel del agua, mientras que la pendiente de la zona alta esta en su mayor parte por encima de dicho nivel medio (Figura 2).

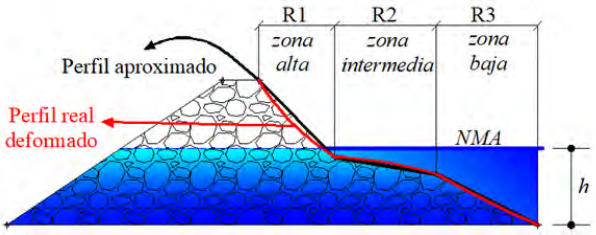


Figura 2. Definición del perfil en S. En la figura, *NMA* significa nivel medio del agua y h es la profundidad a pie de dique.

Una vez definido el perfil en S, el cálculo de las dimensiones de la sección transversal de un DRPS-S se ha determinado con base en la metodología de diseño geométrico propuesta por Mendoza et al. (2010), la cual se ha sintetizado en los siguientes tres puntos (ver Figura 3):

- a: al determinar la altura de ola de diseño (H), se establece el punto más bajo de la zona R2 la cual tendrá una profundidad igual a H medido a partir del nivel medio del agua. El cociente R2/H debe estar en el intervalo 2<R2/H<5. El punto más alto de R2 no debe cruzar el nivel del agua en reposo.
- b: desde el punto más alto de R2, se traza la pendiente de R1, y su cota máxima deberá de asegurar el no rebase del agua. El cociente R1/H debe estar en el intervalo 2<R1/H<4.
- c: finalmente, desde el punto más bajo de R2, se traza la pendiente de R3. El cociente R3/H deberá estar en el intervalo 4<R3/H<5.

Hay que recordar que R1, R2 y R3 son las distancias horizontales mostradas en la Figura 2.

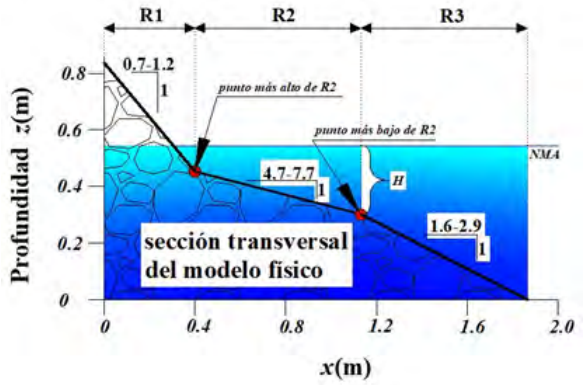


Figura 3. Diseño geométrico del perfil en S tomando en cuenta los valores de las pendientes propuestos por Mendoza et al. (2010).

El lector puede darse cuenta de que el diseño geométrico del perfil en S queda supeditado al valor únicamente de la altura de ola de diseño (H). En este sentido, se propusieron cuatro valores de altura de ola para realizar el análisis del descenso máximo (Rd): H = 4, 5, 6 y 7 metros. Estos valores de altura de ola se propusieron considerando que son cantidades usuales que se presentan y miden para tormenta, de ahí la razón del por qué son valores tan altos (Del Valle, 2017). Además de los valores de H, se propusieron 5 periodos de oleaje, definiendo así el tipo de oleaje usado (oleaje regular). Los valores de periodos de ola fueron: T = 8, 9, 10, 11 y 12 segundos. En la Figura 4 se muestran las dimensiones de las cuatro secciones transversales como resultado de proponer las cuatro alturas de ola de diseño referidas arriba. Además, para determinar las pendientes, fue necesario definir tanto la profundidad del rompeolas como la profundidad del agua tomando como referencia el NMA, como se observa en la figura mencionada.

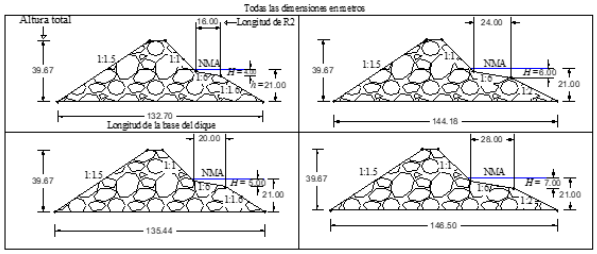


Figura 4. Dimensionamiento de las secciones transversales.

Para calcular las distancias horizontales se tomó como referencia la distancia horizontal $R2$ indicada en las cuatro secciones transversales de la Figura 4. Justo en este análisis se ha considerado como valor de referencia el cociente $R2/H = 4$. Entonces, al cambiar el valor de la altura de ola de diseño H, se va obteniendo la distancia $R2$, esto es: $R2_{H=4}$ = 16m, $R2_{H=5}$ = 20m, $R2_{H=6}$ = 24m y $R2_{H=7}$ = 28m.

Además, considérese los siguientes dos puntos:

- El valor de la profundidad h del agua es igual a 21m para las cuatro secciones transversales.
- La altura total de los rompeolas se determinó y fijo con base en el valor más alto que alcanzó el ascenso máximo (*runup*) para el caso más desfavorable, que es cuando la altura de ola posee el valor de 7 metros.

Caso de análisis

Para facilitar la comprensión y asimilación de lo que es el descenso máximo, se presenta un caso de análisis, el cual reside en considerar al DRPS como una masa porosa en su totalidad. Las fronteras del rompeolas se consideran permeables, salvo la frontera de la base, que se fija como impermeable dentro

de OpenFOAM. En otras palabras, debe entender perfectamente que no existe ninguna rugosidad en las fronteras que delimitan el rompeolas, porque son permeables, son huecos. En OpenFOAM se designa con una palabra clave (keyword) patch, que en español y para fines de redacción en este trabajo se traduce como hueco. En otras palabras, son huecas las fronteras del rompeolas. Si no fuera así no hubiera ingreso de agua al medio poroso y pues no se podrían determinar muchos otros parámetros físicos. Dicho lo anterior, se ha fijado un valor de la porosidad (n) de 0.45 para las cuatro secciones transversales (Figura 5). Este valor de porosidad está en consonancia con valores de porosidad determinados tanto por trabajo experimental, así como por trabajo de campo para diques rompeolas constituidos o construidos por cubos de concreto. Un valor similar (n = 0.47) se reporta en Silva et al. (1998). Por lo tanto, se le aclara al lector que los resultados numéricos del descenso máximo que se presentarán más adelante serán comparables con información de campo proveniente de DRPS-S donde al menos su coraza este construida por cubos de concreto simple.

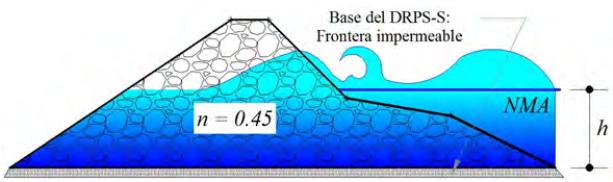


Figura 5. DRPS-S homogéneo.

Definición de parámetros computacionales y físicos.

- *Características del oleaje empleado.* La combinación de las cuatro alturas de ola con los periodos de 9, 10, 11 y 12 segundos dan un total de 16 estados de mar. Para el caso del periodo de 8 segundos, únicamente se modeló con una altura de ola de 7 metros, dando así un total de 17 estados de mar. Finalmente, considerando los valores de las alturas, periodos y profundidad del agua a pie de dique, se determinó que la representación analítica para el oleaje más adecuada fuera un *Stokes V* (programada en la librería *waves2Foam*).

- *Longitud del dominio computacional.* La longitud óptima para este análisis fue de 350 metros (Figura 6). Las mallas computacionales fueron elaboradas utilizando el programa Gmsh® disponible en Linux. Sobre este programa se puede consultar a Geuzaine y Remacle (2014).

- *Zonas de relajación.* Se definieron dos zonas de relajación rectangulares, una a la entrada y la otra a la salida del dominio computacional (regiones achuradas de la Figura 6). La longitud de la zona de relajación a la entrada se fijó en 70 metros, mientras que la longitud de la zona de relajación a la salida se fijó en 10 metros. La razón de ello obedece a que en la entrada se generan ondas reflejadas con longitudes de onda mayores que a la salida, de ahí que sea necesario destinar una mayor longitud del dominio computacional a la zona de relajación a la entrada.

- *Pendiente equivalente.* El número de Iribarren o parámetro de surf (ξ) se calcula de la siguiente manera: $\xi = \frac{tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H}{L}}}$, en donde α es el ángulo que forma el talud del rompeolas con la horizontal, H es la altura de ola de diseño y L es la longitud de onda, ambos parámetros en metros. Entonces, la tangente trigo-

nométrica del ángulo α es la pendiente del dique rompeolas expuesta a la acción del oleaje. Sin embargo, en los DRPS-S debe definirse algo que se conoce como pendiente equivalente, puesto que el perfil a barlovento (en dirección de donde sopla el viento) de los DRPS-S están compuestos por tres pendientes. En Del Valle y González-Vázquez (2018) así como en Del Valle (2017) se explica el procedimiento para su obtención. Aquí se hace mención a su valor, el cual fue el mismo para las cuatro secciones transversales. Dicho valor es 1:2.67 (ver Figura 7).

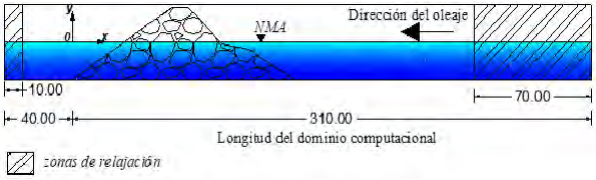


Figura 6. Longitud computacional de las zonas de relajación.

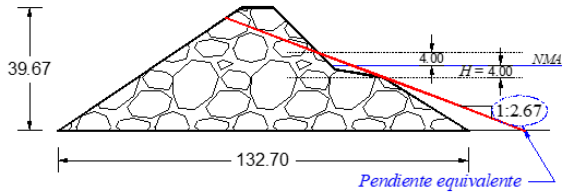


Figura 7. Pendiente equivalente en un DRPS-S.

Resultados

La evaluación del descenso máximo se obtiene de igual modo que el ascenso máximo, es decir, con la variación de la superficie libre del agua en función del tiempo . El procedimiento para determinar el descenso máximo se describe de la siguiente manera:

- Las simulaciones se hicieron sin incluir un campo de oleaje inicial. De ahí que se pueda observar en las Figuras 8 a 12 que en los primeros segundos no haya una variación significativa de la superficie libre del agua.

- Se propuso realizar 120 segundos de simulación por caso, de los cuales los últimos 60 segundos son los que se utilizaron para obtener el *Rd*. Los resultados se obtuvieron cada 0.5 de segundo, de ahí que la información utilizada es a partir del segundo 60.5 y hasta los 120 segundos.

- Después de ello, se tuvo que corregir el nivel medio del agua de esta serie acotada. Para ello se consiguió el valor promedio de la serie y este fue restado a cada dato, dando así la nueva serie corregida. Este procedimiento se le conoce como corrección aritmética (Silva, 2005).

Más adelante se procedió a obtener la frontera entre los dos fluidos definidos en OpenFOAM: agua y aire. La frontera se puede determinar en cualquier punto del dominio computacional, en este caso en todo el perfil en S, pero solo las zonas R1 y R2 del perfil son las de mayor interés ya que se encuentran bajo el nivel medio del agua. Para este análisis se utilizó la versión 2.1.0 de OpenFOAM. En dicha versión, la variable alfa-1 ($\alpha 1$) representa el contenido de agua y es el parámetro usado para obtener la frontera entre los fluidos agua-aire. Cuando $\alpha 1 = 0.5$ se define la frontera entre ambos fluidos, lo que determina la variación de la superficie libre del agua entre las zonas R1 y R2 del perfil en S, y con esto finalmente se obtiene el descenso máximo. En las Figuras 8, 9, 10, 11 y 12 se muestran los resultados del descenso máximo de los 17 estados de mar

analizados. Obsérvese muy bien que los valores del descenso máximo mostrados en las figuras 8 a 12 caen dentro del intervalo de tiempo de modelación 60. 5 segundos a 120 segundos, tal como se indicó en el párrafos arriba. En la Figura 13 se muestran los resultados de *Rd* en función del número de Iribarren. En esta última, también se exhibe la ecuación que permite calcular el descenso máximo adimensional en función del número de Iribarren, esto como producto de realizar el ajuste estadístico correspondiente. Dicha ecuación permite calcular el *rundown* adimensional exclusivamente para DRPS que posean un perfil idealizado en S. En otras palabras, si se quisiera utilizar dicha ecuación para determinar este parámetro de flujo en otro tipo de dique se estaría cometiendo un error. La ecuación de ajuste estadístico mostrada en la Figura 13 es válida, por tanto, para el intervalo $1.3419 \leq \xi \leq 2.338$ del número de Iribarren y para DRPS-S.

Comparación y discusión de los resultados numéricos.

Los resultados presentados en la Figura 13 se comparan con formulaciones existentes en la literatura especializada las cuales permiten el cálculo del descenso máximo adimensional para DRPS. En este trabajo se han utilizado las ecuaciones de Ahrens (1981) y Losada y Gimenez-Curto (1981). Existe otra formulación de carácter empírico que presenta un esquema sencillo y que además cumple con la condición de que el descenso máximo dependa directamente del número de Iribarren, que es la ecuación de Brunn y Günbak (1976), no obstante en esta discusión la ecuación de Bruun y Günbak queda fuera del análisis de comparación, debido a que su comportamiento no es acorde con los resultados obtenidos en el presente trabajo. La Figura 14 muestra el comportamiento de las tres ecuaciones mencionadas antes. En la Tabla 1 se presentan estas ecuaciones empíricas.

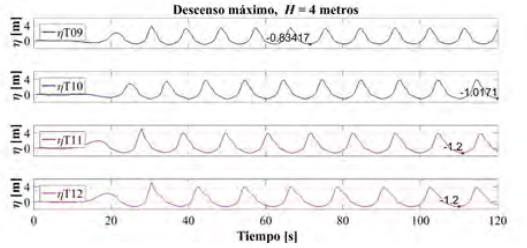


Figura 8. Variación de la superficie libre del agua (η) como función del tiempo, para los estados de mar (H, T): (4, 9), (4, 10), (4, 11), (4, 12)

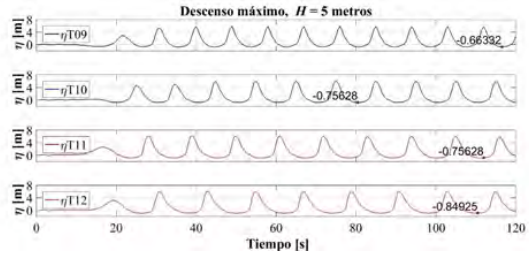


Figura 9.- Variación de la superficie libre del agua (η) como función del tiempo, para los estados de mar (H, T): (5, 9), (5, 10), (5, 11), (5, 12)

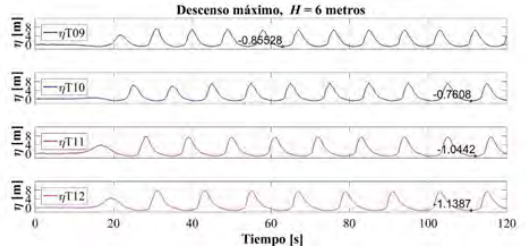


Figura 10.- Variación de la superficie libre del agua (η) como función del tiempo, para los estados de mar (H, T): (6, 9), (6, 10), (6, 11), (6, 12)

Tabla 1. Ecuaciones para evaluar el descenso máximo en DRPS.

Autores	**Ecuación**	
Bruun y Günbak (1976)	$\frac{Rd}{H} = \xi(1 - 0.45\xi)$	[1]
Ahrens (1981)	$\frac{Rd}{H} = -2.32exp(\frac{-2.46}{\xi})$	[2]
Losada y Gimenez-Curto (1981)	$\frac{Rd}{H} = -0.8523[1 - exp(-0.4256\xi)]$	[3]

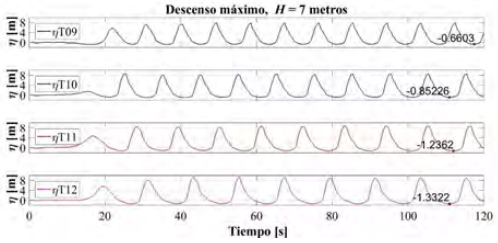


Figura 11.- Variación de la superficie libre del agua (η) como función del tiempo, para los estados de mar (H, T): (7, 9), (7, 10), (7, 11), (7, 12)

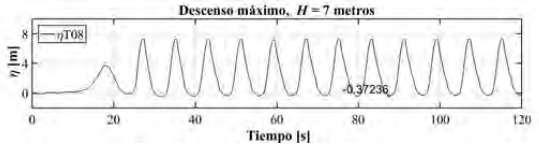


Figura 12.- Variación de la superficie libre del agua (η) como función del tiempo, para los estados de mar (H, T): (7, 8)

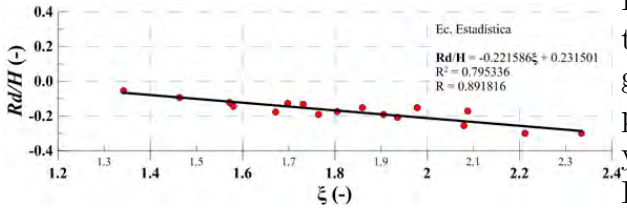


Figura 13.- Comportamiento del descenso máximo adimensional ***Rd/H*** en función del número de Iribarren ξ en los DRPS-S.

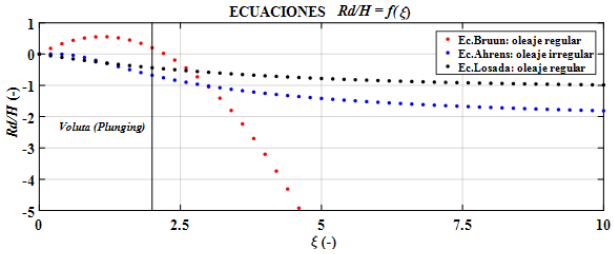


Figura 14.- Comportamiento del descenso máximo adimensional ***Rd/H*** en función del número de Iribarren ξ en los DRPS-S.

En la Figura 15 se presentan los resultados numéricos y los valores que se obtienen con las ecuaciones de Ahrens y de Losada-Gimenez Curto. Ambas fórmulas tienden a sobreestimar el valor del descenso máximo en comparación con los resultados numéricos.

Algunas razones del por qué las ecuaciones de los autores difieren de los resultados numéricos son, en primer lugar, que los DRPS aquí analizados poseen tres pendientes las cuales aproximan el perfil en S que se genera después de transcurrido cierto tiempo; en segundo lugar son pendientes finitas; y por último se ha obtenido el número de Iribarren considerando una pendiente equivalente y oleaje regular. Estas tres características se discuten y se comparan a continuación.

Para la ecuación del autor Ahrens (1981), existen diferencias con el estudio como que

su formulación es producto de analizar oleaje irregular, es para una sola pendiente y además, esta ecuación proporciona una valoración del límite inferior del descenso máximo. De ahí que al observar la Figura 15, sea esta ecuación la que sobreestime más el valor de *Rd/H* en comparación también con la ecuación de Losada y Gimenez-Curto.

Por otra parte, para la formulación de Losada y Gimenez-Curto (1981), la tendencia que siguen los valores del descenso máximo es similar al que se observa en la recta o función identidad, solo que desplazada un valor aproximado de 0.2 hacia la derecha de la gráfica de la Figura 15. Las razones probables de por qué esta formulación se ajusta de mejor manera con los resultados numéricos son las siguientes: como en el caso de los resultados numéricos presentados en este artículo, la formulación de Losada y Gimenez-Curto (1981) fue desarrollada usando oleaje regular, es para pendientes suaves y permeables, igual como las que se calcularon considerando los estados de mar propuestos en este análisis. La diferencia entre dicha ecuación y los resultados numéricos está en que tal fórmula es para una sola pendiente muy grande o infinita, mientras que los resultados provienen de un rompeolas con una pendiente compuesta (es decir, el perfil idealizado en S a través de las tres rectas, ver por ejemplo Figura 2) y finita (o pequeña).

En resumen, debe entenderse que las formulaciones de Ahrens y de Losada y Gimenez-Curto tienen sus restricciones. Los resultados aquí presentados son de modelos numéricos a escala natural, y si a las diferencias descritas en los párrafos anteriores se le suman los efectos de escala, hacen que surjan estas incompatibilidades entre los resultados. Sin embargo estos valores deben considerarse como referencia dado que se busca ajustar las formulaciones empíricas con resultados que provengan de DRPS-S, dada la importancia de posteriores estudios de calibración.

No obstante después de esta breve discusión, el lector puede tener la certeza que tanto los resultados numéricos aquí expuestos y las dos formulaciones usadas como herramientas de comparación son buenos elementos para evaluar el descenso máximo en DRPS-S. Pero para que se tenga una certeza más de que las formulaciones cuando sean usadas estimen lo mejor posible el descenso máximo en DRPS-S, se presentan unos factores que se aplican directamente a ambas formulaciones las cuales hacen que los resultados obtenidos con éstas se aproximen a los valores esperados para esta tipología de dique. Se insiste que se está buscando ajustar estas dos formulaciones para evaluar el descenso máximo en DRPS-S. Estos factores fueron obtenidos en Del Valle (2017), aquí solo se enuncian dichos valores (Tabla 2). En este sentido, es posible recalcular los valores del *Rd/H* considerando estos factores, obteniéndose de esta manera un mejor ajuste de las ecuaciones de Ahrens (1981) y de Losada y Gimenez-Curto (1981). Esto se ilustra en la Figura 16 y Figura 17.

Finalmente, se presentan el error promedio y la desviación estándar que hay entre los resultados numéricos y los resultados de las dos formulaciones usadas en este análisis. Se muestran en la Tabla 3 el error promedio y su desviación estándar antes y después de aplicar los factores de ajuste indicados en la Tabla 2. De dicha tabla se puede concluir que los factores de ajuste hacen que ambas ecuaciones muestren errores promedio similares, con una dispersión de los valores de su media prácticamente igual, siempre que

Tabla 2. Ecuaciones $Rd/H = f(\xi)$ con los factores de ajuste calculados por Del Valle (2017).

Caracteristicas	Autor	Ecuacion	Factores (-)
Aplicable a DRPS-S considerando pendientes rugosas y permeables	Ahrens (1981)	$\frac{Rd}{H} = -2.32exp(\frac{-2.46}{\xi})$	0.1546
	Losada y Gimenez-Curto (1981)	$\frac{Rd}{H} = -0.8523[1 - exp(-0.4256\xi)]$	0.2044

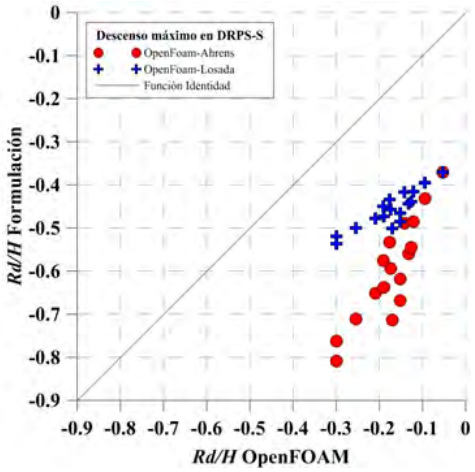


Figura 15. Comparación de los resultados numéricos con los que arrojan las formulaciones de Ahrens (1981) y Losada-Gimenez Curto (1981) mostradas en la Tabla 1.

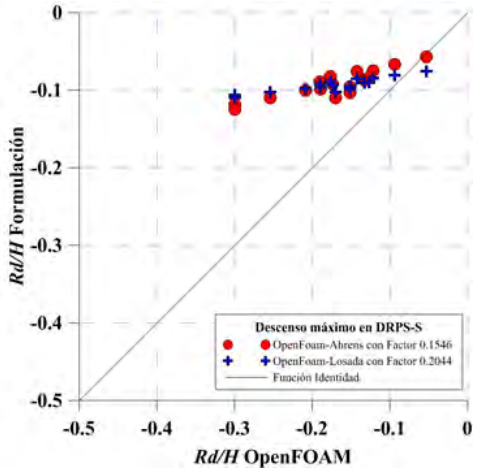


Figura 16. Comparación entre los resultados numéricos y las formulaciones de Ahrens (1981) y Losada-Gimenez Curto (1981) considerando los factores de ajuste de la Tabla 2.

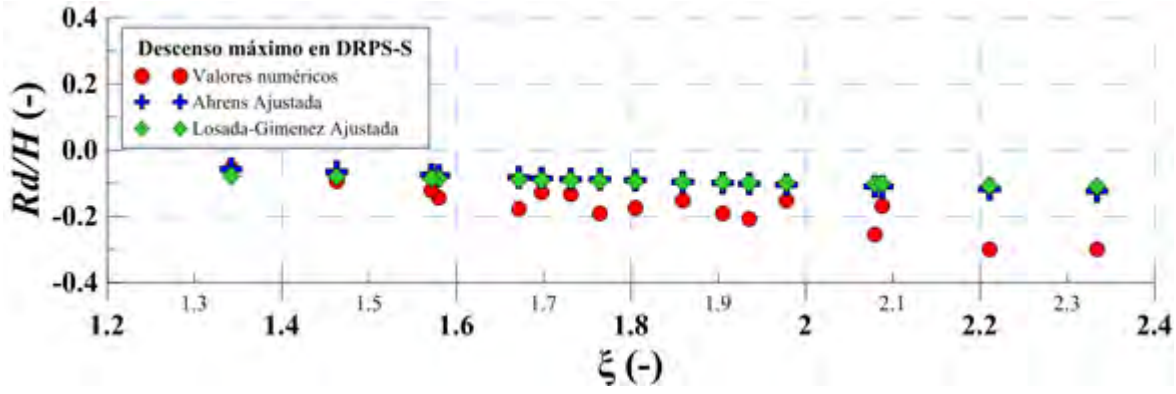


Figura 17. Comportamiento de las formulaciones de Ahrens (1981) y Losada-Gimenez Curto (1981) considerando los factores de ajuste de la Tabla 2.

se considere aplicar tales factores de ajuste a las formulaciones de Ahrens y de Losada y Gimenez-Curto. De no considerarse dichos factores de ajuste, se tendrán discrepancias bastante grandes como las mostradas en la Tabla 3.

Los resultados mostrados en la Tabla 3 pueden sugerir que el calcular el descenso máximo con alguna de las dos formulaciones llevaría a errores muy grandes cuando se llegue al diseño mecánico del dique rompeolas. Pero la valía de todo este esfuerzo es mostrar que aun cuando en el diseño de estas formulaciones no se consideraron DRPS que presentaran el perfil deformado en S, si se aplican los factores de ajuste de la Tabla 3, es posible tener una primera idea de cuál sería el valor esperado del descenso máximo en DRPS-S. Por supuesto, .se propone este trabajo como punto inicial para considerar estudios posteriores con analisis experimental, el cual sustentará los resultados en los factores de corrección; por lo pronto estos resultados nos muestran que no se esta tan alejada la posibilidad de la mejora. Se puede recurrir también para confirmar los resultados numéricos, a la modelación física, es decir, a realizar trabajo de laboratorio para así sustentar el trabajo numérico. Se resalta, como punto final de esta discusión, que no existe en la literatura especializada información numérica/de laboratorio/de mediciones de campo reportada del descenso máximo para este tipo de dique, es decir para DRPS-S. En general, el estudio del descenso máximo en diques rompeolas se trata poco, por lo cual debe considerarse como una oportunidad de trabajo. La finalidad de este tipo de estudios como el que se presenta aquí es de robustecer el entendimiento de estos procesos físicos que se manifiestan en los diques rompeolas.

Conclusiones

Se ha presentado una metodología para evaluar numéricamente, en DRPS-S el valor del descenso máximo adimensional utilizando el software OpenFOAM. El presente artículo complementa su par Del Valle y González-Vázquez (2018) el cual se enfocó en analizar el ascenso máximo para la misma tipología de dique.

Un primer aporte de este estudio es que se presenta una ecuación de origen estadístico (Figura 13) la cual permite evaluar el descenso máximo para los DRPS-S en función únicamente del número de Iribarren, dejando en claro que dicha ecuación se deberá de considerar válida para los intervalos del número de Iribarren que se ha mencionado antes, o que se puede visualizar perfectamente en la Figura 13. Fuera de ese intervalo dicha ecuación no es válida para su aplicación.

El segundo aporte de este artículo es que dentro de la comparativa entre los resultados numéricos obtenidos con OpenFOAM para DRPS-S y los resultados que arrojan las ecuaciones de Ahrens (1981) y de Losada y Gimenez-Curto (1981) ha tenido la finalidad de proporcionarle al lector más herramientas que le permitan calcular esta variable física presente en los DRPS-S. Aquí se reitera que se pueden aplicar estas dos ecuaciones tomando en cuenta los factores de ajuste presentados en la Tabla 2. En realidad, al aplicar estos factores directamente en las dos ecuaciones analizadas, se obtienen nuevas ecuaciones que permitirían calcular el descenso máximo de DRPS-S. Para que estos factores se refuercen o tengan una validez mayor, se tendría que realizar más trabajo numérico y confirmarlo con trabajo experimental. Pero con lo que se presenta en este artículo el lector podría usar estos

Tabla 3. Parámetros estadísticos al analizar las diferencias entre los resultados numéricos y los valores calculados con las formulaciones de Ahrens (1981) y Losada y Gimenez-Curto (1981)

	Sin factores de ajuste		Con factores de ajuste	
	Ahrens	Losada	Ahrens	Losada
Error promedio (%)	277.40	201.62	42.57	43.35
Desviación estándar (%)	105.25	121.11	13.51	13.37

factores para así tener una primera idea de cuál sería el valor esperado o posible del descenso máximo en DRPS-S, de ahí su valía e importancia de los resultados mostrados en la Tabla 2. Particularmente se hace énfasis en el uso de factores de ajuste previamente calculados en el estudio integral hecho por Del Valle (2017) en torno a esta tipología de dique, llegando a presentar los errores promedios acompañados de sus desviaciones estándar de las formulaciones de Ahrens (1981) y Losada y Gimenez-Curto (1981).

Agradecimientos

El primer autor desea extender un especial agradecimiento al Dr. Juan Carlos Alcérreca Huerta (Cátedra Conacyt-Ecosur Chetumal Q. Roo) por sus valiosos consejos para dominar el uso del software OpenFOAM, y también por permitir el uso de su solver *wavePorousFoam*.

El segundo autor extiende un agradecimiento especial al proyecto SEP.SES.DG.

Referencias

Ahrens, J.P. (1981). *Irregular Wave Runup on Smooth Slopes*. Coastal Engineering Technical Aid. No. 81-17. U.S. Army, Corps of Engineers: CERC, pp. 1-31.

Alcérreca-Huerta, J.C. (2014). *Process-based modelling of waves interacting with porous bonded revetments and their sand foundation*. Technischen Universität Carolo-Wihelmina zu Braunschweig. Ph.D-thesis. pp. 202.

Alcérreca-Huerta, J.C. y Oumeraci, H. (2016). "Wave-induced pressures in porous bonded revetmetns. Part I: Pressures on the revetment". *Coastal Engineering* 110, 87 – 101.

Bruun, P. y Günbak, A.R., (1976). "New Design Principles for Rubble Mound Structures". *Coastal Engineering*, 2429-2473.

Del Valle, J. (2017). *Criterios para el diseño geométrico y mecánico de diques con sección en S. Evaluación de modos de falla*. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ph.D-thesis, pp. 181.

Del Valle, J., Mendoza, E., Alcérreca-Huerta, J.C., y Silva, R. (2018). "Evaluación del coeficiente de reflexión en diques rompeolas de piezas sueltas con perfil en S". *Tecnología y Ciencias del Agua. (Aceptado 20/03/2018. En proceso de publicación)*

Del Valle, J., y González-Vázquez, J.A. (2018). "Evaluación del ascenso máximo en diques rompeolas de piezas sueltas con perfil en S". *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Buenos Aires,

Argentina. Septiembre, pp. 12.

Geuzaine, C. y Remacle, J.-F. (2014). *Gmsh Reference Manual*, pp. 257.

Goda, Y. (2000). *Random seas and design of maritime structures*, Singapore.

Hall, K, R. y Foster, D. N. (1990). "Internal and external pressure measurements in reshaped breakwaters". *Coastal Engineering* 14, 215-232.

Hsu, T.-J. Sakakiyama, T. y Liu, P.L.-F. (2002). "A numerical model for wave motions and turbulence flows in front of a composite breakwater". *Coastal Engineering*, 46, pp. 25-50.

Jacobsen, N.G., Fuhrman, D.R. y Fredsøe, F.J. (2012). "A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFOAM®". *International Journal for Numerical Methods in Fluids 70*, pp. 1073-1088.

Jacobsen, N.G. (2017). *Waves2Foam Manual, version 0.9. DRAFT* Deltares. The Netherlands, pp. 75.

Jensen, B. Jacobsen, N.G. y Christensen, E.D. (2014). "Investigations on the porous media equations and resistance coefficients for coastal structures". *Coastal Engineering*, 84, pp. 56-72.

Losada, M.A. y Gimenez-Curto, L.A. (1981). "Flow characteristics on rough, permeable slopes under wave action". *Coastal Engineering* 4, 187-206.

Mendoza, E., Silva, R., Clavero, M. y Losada, M.A. (2010). "Evolución del comportamiento hidráulico y de la geometría de diques homogéneos al ser deformados por el oleaje". *Tecnología y Ciencias del Agua* 1, 21-35.

Silva, R. (2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje, SD/49*. Instituto de Ingeniería, UNAM, México, pp. 179.

Silva, R., Govaere, G., y Martin, F. (1998). "A statistical tool for breakwater design". *Proceedings of the Conference American Society of Civil Engineers*. Copenhagen, Denmark.

Whitaker, S. (1986a). "Flow in porous media I: a theoretical derivation of Darcy's law". *Transport in porous Media* 1, 3-25.

Whitaker, S. (1986b). "Flow in Porous Media II: the governing equations for inmiscible, two-phase flow". *Transport in porous Media* 1, 105-125.

El Catalejo

UNA MIRADA CERCANA A LA **CIENCIA**

ESCÚCHANOS TODOS LOS MARTES DE 10:00 A 11:00 HORAS POR UAM RADIO EN LOS 94.1 DE FM O POR INTERNET EN www.uamradio.uam.mx

REPETICIÓN: SÁBADOS DE 11:00 A 12:00 HORAS

DATOS CURIOSOS, ENTREVISTAS Y MÁS

ESCUCHA A EL CATALEJO A LA HORA QUE QUIERAS EN EL SITIO WEB :

www.feriacienciasuami.com

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

www.feriacienciasuami.com
FC
FERIA DE CIENCIAS

www.pexels.com