



El impacto de las Ciencias de la Tierra en la Sociedad

Ignacio Mora González
Coordinador

Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Sara Ladrón de Guevara
RECTORA

Leticia Rodríguez Audirac
SECRETARIA ACADÉMICA

Gerardo García Ricardo
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS

Octavio Ochoa Contreras
SECRETARIO DE LA RECTORÍA

Edgar García Valencia
DIRECTOR EDITORIAL

Manuel Martínez Morales
DIRECTOR DE COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA

El impacto de las Ciencias de la Tierra en la Sociedad

Ignacio Mora González
Coordinador



Universidad Veracruzana
Dirección Editorial

Clasificación LC: QF.48.MX1462017

Clasif. Dewey: 550.7262

Título: El impacto de las Ciencias de la Tierra en la Sociedad/ Ignacio Mora González, coordinador; colaboradores, Ana María Alarcón Ferreira [y otros doce].

Edición: Primera edición.

Pie de Imprenta: Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana, Dirección Editorial, 2017.

Descripción física: 114 páginas: ilustraciones en color, gráficas, mapas en color; 22 cm.

Notas: Incluye bibliografías.

ISBN: 9786075025568

Materias: Ciencias de la Tierra-México-Veracruz-Llave [Estado]- Investigaciones.
Ciencias de la Tierra-México-Veracruz-Llave [Estado]- Aspectos Sociales.

Autor relacionado: Mora González, Ignacio.

DGBUV 2017/09

Primera edición, 14 de febrero de 2017

D. R. © Universidad Veracruzana
Dirección Editorial
Hidalgo núm. 9, Centro, CP 91000
Xalapa, Veracruz, México
Apartado postal 97
diredit@uv.mx
Tel./fax (01228) 818 59 80; 818 13 88

ISBN: 978-607-502-556-8

Impreso en México
Printed in Mexico

Agradecemos a la Dirección de Comunicación de la Ciencia de la Universidad Veracruzana, por su apoyo para la publicación de este libro.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1	
El riesgo volcánico asociado al Pico de Orizaba	11
CAPÍTULO 2	
Valle de Perote: Clima y Eventos Extremos	31
CAPÍTULO 3	
Origen del agua subterránea en Xalapa y sus alrededores	53
CAPÍTULO 4	
Comparación de los modelos Hidrológicos Globales y Semi-distribuidos	71
CAPÍTULO 5	
El enfoque de la complejidad: las Ciencias de la Tierra y su relación con la Sociedad	91
COLABORADORES	111

INTRODUCCIÓN

La Tierra proporciona los recursos que sostienen a la sociedad y los ingredientes necesarios para mantener la vida. Es por eso que el conocimiento del planeta es importante para el bienestar de la sociedad. Las Ciencias de la Tierra contribuyen al conocimiento de los fenómenos naturales, antrópicos y los que se desprenden de la interrelación del hombre con el medio ambiente.

En el estado de Veracruz las principales ciudades han crecido a un ritmo vertiginoso, ocupando terrenos que en muchos casos no son aptos para la edificación de viviendas. Además, las regiones donde se asientan una gran cantidad de poblaciones rurales, están sujetas a fenómenos que representan un alto peligro para la vida de sus habitantes y la seguridad de sus bienes. El estudio con bases científicas y una evaluación sistemática de todos los factores que influyen en la ocurrencia de los diferentes agentes perturbadores de origen natural conducen a la disminución del riesgo y a la mitigación de los efectos asociados a ellos.

Este libro integra una serie de conocimientos sobre los fenómenos naturales que afectan al estado de Veracruz por ejemplo: el riesgo asociado al volcán Pico de Orizaba, el clima y eventos extremos en el Valle de Perote, el origen del agua subterránea en Xalapa, comparación de los modelos hidrológicos globales y semi distribuidos, estudios realizados en la cuenca del río Actopan y el enfoque de la complejidad: las Ciencias de la Tierra y su relación con la Sociedad.

CAPÍTULO 1

El riesgo volcánico asociado al Pico de Orizaba

Ana María Alarcón Ferreira
Katrin Sieron
Ignacio Mora González

Introducción

Las Ciencias de la Tierra permiten entender los procesos naturales y su estudio está ligado tanto a la investigación de los flujos de energía en la naturaleza y en algunos casos, al aprovechamiento de los mismos, así como a la *prevención* de riesgos.

Un primer paso para definir una actuación efectiva en la *prevención* del riesgo es la comprensión a profundidad de los fenómenos con potencial destructivo, el volcán, en este caso. Desde este punto de vista es evidente que las Ciencias de la Tierra (Vulcanología), aportan un conocimiento útil que entre otros objetivos, pueden ser empleados para proteger a la población y sus bienes.

En cuanto al vulcanismo en Veracruz, las afectaciones que este fenómeno ocasionó no tuvieron un gran impacto en el pasado, en el presente la situación ha cambiado, dado el crecimiento de la población que actualmente habita en sus alrededores y la infraestructura instalada.

De acuerdo con el registro histórico, el volcán Pico de Orizaba presentó actividad en los periodos: 1533-39, 1545, 1569-89, 1687, 1846 y 1867; si bien sus manifestaciones han sido menores, es considerado un volcán de alto riesgo debido a las erupciones mayores que ha producido en la escala de tiempo geológica (Mendoza-Rosas, 2010) y a la presencia de centros de población en las zonas aledañas al volcán.

En este contexto, el conocimiento obtenido a partir de estudios vulcanológicos y del monitoreo del Pico de Orizaba son la base sobre las que se deberán definir las acciones más pertinentes en la prevención y en la mitigación. Por esto se harán precisiones sobre el *riesgo volcánico*, entendiéndolo como producto de la relación dinámica entre el *peligro* y la *vulnerabilidad*, por lo que se abordarán estos dos conceptos.

El peligro

La relación entre la presencia de volcanes, el marco tectónico regional y la dinámica de los temblores es muy estrecha (Burski, 2008). El vulcanismo activo se localiza en la Faja Volcánica Mexicana (FVM), originada por los procesos de subducción entre la placa Norteamericana y la placa de Rivera y de Cocos (Macías, 2005).

El volcán Pico de Orizaba (Citlaltépetl: 19°01' N, 97°16' W; 5675 m) es la montaña más alta de México. Se ubica en la parte oriental de la FVM. Sus etapas de evolución de la más antigua a la más reciente, fueron denominadas como Torrecillas, Espolón de Oro, domos silícicos periféricos y el cono Citlaltépetl (Carrasco-Núñez, 2000) (Figura 1).

Es un volcán *poligenético*, formado de la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del

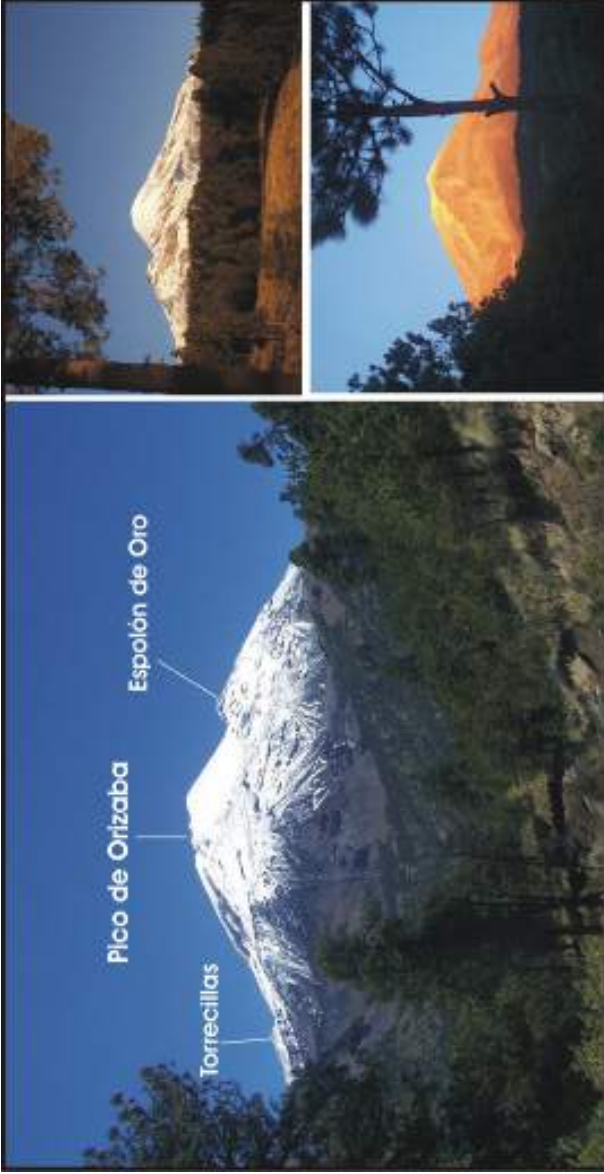


Figura 1. Vista del Pico de Orizaba. Izquierda: remanentes de edificios volcánicos anteriores Torrecillas y Espolón de Oro y el volcán moderno Pico de Orizaba, tomado desde NNE. Derecha: Pico de Orizaba desde Miguel Hidalgo (arriba) y Villas del Pico de Orizaba (abajo) Foto Katrin Sieron

tiempo geológico. Su última actividad ocurrió de 1864-1867, siendo sus principales manifestaciones fumarolas y emisiones de ceniza (De la Cruz-Reyna, 2001).

El hecho de que un volcán haya mostrado señales de actividad en tiempos pasados, implica que existe la posibilidad de ocurrencia de una nueva actividad. También las condiciones actuales prevalecientes en el volcán tienen importantes implicaciones, como se describirá más adelante.

El riesgo volcánico es una medida compuesta, la primera definición de este concepto fue propuesta por Fournier d'Albe en 1979. En particular, De la Cruz-Reyna y Tilling (2008) redefinieron el riesgo volcánico como: $R=H*(V-P)$.

Donde, H, el peligro, es la probabilidad de que una manifestación o fenómeno volcánico específico ocurra en un área dada en un intervalo de tiempo; V, la vulnerabilidad, es el porcentaje de la pérdida esperada del valor expuesto si ocurre dicha manifestación peligrosa (probabilidad de pérdida). P, representa la *preparación* refiriéndose a una serie de medidas para reducir la vulnerabilidad. Los parámetros que conformarán a la *preparación* son acciones preventivas y de mitigación, que se describirán más adelante.

Para estimar el *peligro*, se emplea el VEI (Volcanic Explosivity Index) que se refiere a la medida de la magnitud más empleado en las erupciones explosivas y comprende valores que van del 0 al 8 (Newhall y Self en 1982); se basa en características tales como: volumen de magma emitido, el alcance de los productos fragmentados, la altura de la columna eruptiva, la duración de la erupción, etc.

Una erupción clasificada con un VEI=3, presenta una altura máxima de columna de vapor de agua, gas y ceniza de 15 Km, un volumen emitido de 10, 000, 000 m³, etc.

Un ejemplo de este tipo de actividad se presentó en el volcán Popocatepetl en diciembre del año 2000, obligando a las autoridades a tomar medidas de protección como la evacuación preventiva de la población asentada a un radio menor de 5 km del cráter.

Para el caso del Pico de Orizaba, la actividad histórica registrada entre 1864-67 basada en emisiones de fumarolas y de cenizas, correspondería a un VEI=1. Sin embargo, existen registros en tiempo geológico de actividad con magnitud VEI=4. Por esto, se realizó una estimación del *peligro (H)* a partir del empleo de series de tiempo de erupciones geológicas e históricas (Mendoza-Rosas y De la Cruz-Reyna, 2008). De acuerdo con Martínez A. et al., (2006), en los últimos 467 años en el Pico de Orizaba, ha ocurrido una erupción con VEI=2 en promedio cada 78 años, con probabilidad de que ocurra una similar en los próximos 50 años.

Los materiales emitidos durante una erupción pueden causar diferentes efectos sobre el entorno, dependiendo de cómo se manifiesten. En el Pico de Orizaba, una erupción VEI=2 tendría características como: sismicidad local de muy baja magnitud, columnas eruptivas de entre 1 a 5 Km, leves emisiones de fragmentos y ceniza (su dispersión dependería entre otros aspectos de la dirección de los vientos). Manifestaciones de este tipo y mayores están plasmadas en el mapa de peligros (Sheridan et al., 2002).

Evidencias muestran que durante el Pleistoceno tardío el edificio ancestral del volcán Pico de Orizaba colapsó para formar un depósito que se extendió a 85 km, con un volumen de $1,8 \text{ km}^3$ y cubrió un área de 143 km^2 en dirección este del volcán. La causa fue la presencia agua, producto del deshielo del glaciar que alteró la roca a ser menos competente (alteración hidrotermal). Estas condiciones existen en la actualidad en el volcán. De modo que el riesgo

potencial de colapso del edificio podría generar un lahar de gran volumen (Carrasco-Núñez et al., 1993).

En 1920 y a consecuencia de un sismo $M_s=6.2$ (Suter et al., 1996) denominado como sismo de Xalapa, se generó un flujo de escombros de 44 millones de m^3 en el Pico de Orizaba. Una avalancha un poco mayor, aumentaría el riesgo hacia la población de Coscomatepec, y si la avalancha se movilizara por el sistema de drenaje Metlac, ésta llegaría hasta la ciudad de Orizaba, ubicada sobre las márgenes del río Orizaba, los cálculos indican que la altura de la ola de escombros podría alcanzar los 16 m. Los peligros están en el mapa del volcán (Sheridan et al., 2002).

La generación de este tipo de eventos continúa en el presente. En junio de 2003, producto de lluvias se produjo un flujo de agua cargado con sedimentos (lahar) que bajó por dos cauces que, durante la mayor parte del año se mantienen secos o con niveles muy bajos de agua: río Chiquito y río Carbonera ubicados en el flanco sur del Pico de Orizaba. Sobre el río Chiquito, el flujo rompió dos ductos de hidrocarburos provocando una explosión que afectó a la comunidad de la Balastrea, causando la pérdida de vidas humanas por quemaduras, además de cuantiosos daños materiales (Rodríguez et al., 2006).

En relación al fenómeno (lahar), el material que aportó la mayor parte de los sedimentos mezclados con el agua, se derivó de depósitos volcánicos (piroclásticos y epiclásticos) ubicados en las zonas altas e intermedias de los flancos de los volcanes Pico de Orizaba y Sierra Negra. Este tipo de fenómenos, con gran capacidad destructiva, presentan por lo regular períodos de recurrencia relativamente cortos (Rodríguez et al., 2006).

Este fenómeno también ocurre en otros volcanes en México (San Martín Tuxtla, Jorullo, Nevado de Toluca, etc.). Los principales eventos laháricos en el Popocatepetl

durante el reciente periodo iniciado en diciembre de 1994, ocurrieron en Huiloac en 1995, 1997 y 2001. Entre el 30 de junio y el 1 de julio de 1997 se produjo la mayor erupción que generó un lahar que recorrió 21 km, se detuvo justo en la entrada de San Nicolás de los Ranchos. El 22 de enero de 2001 el volcán emitió un flujo piroclástico que recorrió 6 km por la ladera norte del volcán. Al atravesar el glaciar lo fusionó y provocó un deshielo parcial del mismo. El agua de fusión saturó los materiales e inició un lahar en la barranca de Tenenepanco que continuó por Huiloac y finalizó 2 km antes de alcanzar la población de Santiago Xalitzintla, recorrió 14.3 km (Andrés de Pablo et al., 2014).

En 1955 en el volcán Nevado de Colima fallecieron 23 personas en la población de Atenquique por eventos de este tipo. El ejemplo más reciente está asociado al huracán Jova (10 al 12 de octubre de 2011), con la acumulación de más de 400 mm de lluvia en 24 horas se formaron lahares en las principales barrancas del Volcán de Fuego de Colima. Cada año se registran eventos, sin embargo, los de mayor magnitud tienen tiempos de recurrencias más largos, pues se asocian con sucesos hidrometeorológicos atípicos y con la actividad del volcán (Capra 2013).

En este punto es posible observar que en un ambiente volcánico se presentan distintos tipos de peligros. En el caso del Pico de Orizaba, como ya se mencionó, una reactivación magmática a corto plazo tiene baja probabilidad de ocurrencia y la generación de lahares, es la amenaza a corto plazo que tiene la mayor probabilidad de presentarse, a causa de las lluvias.

Para ambos casos, se requiere contar con información actual del volcán, por ello, comenzó una vigilancia volcánica desde 1998, cuando el Centro de Ciencias de la Tierra (CCT) de la U.V en colaboración con Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la Benemérita

Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Protección Civil de Veracruz y del estado de Puebla, comenzaron la instalación de tres estaciones sísmicas en el Pico de Orizaba para detectar movimientos asociados a una reactivación.

En cuanto a la generación de avalanchas y flujos de escombros, detonados por la ocurrencia de un sismo o por alteración hidrotermal, o la formación de lahares causados por lluvias, es posible realizar un monitoreo de barrancas mediante la instalación de estaciones detectoras de flujos. Un sistema de este tipo se instaló en el Popocatepetl en 1997 (<http://www.cenapred.gob.mx/es/Instrumentacion/InstVolcanica/MVolcan/DeteccionFlujos>)

En el volcán de Colima, a través de la colaboración de varios investigadores de diversas instituciones completaron la instalación de una estación de monitoreo en la barranca Montegrande (ladera sur) en 2011; con dos objetivos, primero estudiar y caracterizar el fenómeno, y posteriormente, proponer un sistema de alerta para las poblaciones expuestas (Capra, 2013). Sin embargo, la estación fue destruida por un flujo piroclástico en julio de 2015.

En ambos casos, el monitoreo de las barrancas se centra en detectar y registrar la generación de este fenómeno pero no se ha traducido en un sistema de alerta para autoridades y poblaciones ubicadas en zonas de exposición. Hasta aquí se ha mostrado un panorama general del *peligro* asociado al Pico de Orizaba. A continuación se presentarán aspectos relacionados con el otro componente del *riesgo*, la *vulnerabilidad*.

La Vulnerabilidad

Se explicarán las causas que dieron origen a este factor y sus implicaciones. Los conceptos teóricos y las relaciones que se presentarán son resultado de estudios realizados por

científicos sociales. El grado en que un grupo, comunidad o sociedad organizada puede ser afectado por un fenómeno potencialmente destructivo se denomina *vulnerabilidad* y está definida como la probabilidad de pérdida que puede esperarse ante el impacto de una manifestación potencialmente destructiva.

Wilches-Chaux (1989) definió a la vulnerabilidad de la sociedad como “la incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea, su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio”. Puente (2012) concentró distintos enfoques que la desagregan en diferentes componentes: social, medioambiental, informacional, etc. También menciona que es multidimensional: estructural, de la infraestructura de las líneas vitales, de los sistemas de comunicación, macro económica, regional, comercial y urbana.

Maskrey A. (1989) emplea a la economía política como alternativa para interpretarla, a través de ésta muestra “que muchos individuos o grupos sociales tiene muy poca libertad para decidir cómo o dónde vivir”, ya que “existen mecanismos de mercado que no permiten que grupos de ingresos bajos tengan acceso a terrenos con buenas condiciones de seguridad”, entonces esta situación “no es producto de una falta de conocimiento ni de ineficiencias en el sistema de planificación urbana”, aunque hay que destacar que esta condición no se cumple siempre.

Lo anterior, revela una relación entre la vulnerabilidad y el desarrollo, de acuerdo con Lavell (2000) “Estos mismos procesos de desarrollo podrían crear condiciones de vulnerabilidad que contribuirían a la concreción de *desastres* en el futuro”. Otro tipo de vulnerabilidad es la relacionada con las instituciones públicas Wilches-Chaux (1989) y en particular, las que intervienen en la atención a desastres Toscana (2003).

En el caso del Pico de Orizaba, las poblaciones vulnerables han sido afectadas históricamente por el impacto de los distintos fenómenos que se presentan en el volcán. Determinar la vulnerabilidad, es tarea de instituciones y dependencias con experiencia en el tema, como el CIESAS, Colegio de Veracruz, SPC-Ver, etc. En este capítulo se presenta un panorama del *riesgo volcánico* asociado al Pico de Orizaba con el fin evaluar la pertinencia de acciones realizadas e identificar las siguientes, para ello se emplearán elementos que forman parte de lo que se denomina *gestión del riesgo*.

Gestión del Riesgo: Prevención, Mitigación y Preparación

La Gestión Integral de Riesgos (GIR), es el fundamento de la Ley General de Protección Civil (DOF, 2012). Representa un cambio de paradigma: transitar de la atención de emergencias y/o desastres a la *prevención* de los mismos; se define como el conjunto de acciones dirigidas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos; para la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible. Su implementación involucra las etapas de: identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción.

Lo anterior significa que la realización de acciones en las etapas preventivas, de mitigación y de preparación, son elementos útiles en la reducción del riesgo. Para garantizar el logro paulatino de los objetivos de la Gestión de Riesgos, se creó el Fondo de Prevención de Desastres FOPREDEN (2004) para financiar acciones de este tipo.

El FOPREDEN cofinanció para Veracruz 4 proyectos: “Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos del Estado de Veracruz” (2007), “Red Sismológica del Estado de Veracruz para Evaluación del Riesgo Sísmico” (DOF, 04/09/2008), “Estudio Geológico del volcán San Martín Tuxtla, Veracruz. Equipamiento, Instrumentación y Monitoreo con fines de Prevención de Desastres” (DOF, 04/09/2008) y “Estudios geofísicos para determinar la microzonificación de las ciudades de Xalapa, Orizaba y Veracruz” (2010); cuyos resultados permitirán que las autoridades implementen medidas preventivas acordes a los fenómenos considerados en ellos.

La definición de *prevención* según la ley es “el conjunto de acciones y mecanismos implementados con antelación a la ocurrencia de los agentes perturbadores, con la finalidad de conocer los peligros o los riesgos, identificarlos, eliminarlos o reducirlos; evitar o mitigar su impacto destructivos...”.

En particular los proyectos FOPREDEN denominados “Atlas de peligros geológicos e hidrometeorológicos en el estado de Veracruz” y el de la “Red Sismológica del Estado de Veracruz para la evaluación del riesgo sísmico” incluyeron estudios relacionados al Pico de Orizaba. Los resultados de estos proyectos tienen un carácter netamente preventivo y por ello, deben usarse para diseñar medidas de mitigación. Por otra parte, debe resaltarse la sinergia entre la academia y la Secretaría de Protección Civil, ambos elementos del Sistema Estatal de Protección Civil (SEPC).

La elaboración del mapa de peligros del volcán (Sheridan et al., 2002) cumple con el rubro de la identificación del peligro y sus alcances. Para conocer el status actual del Pico de Orizaba se estableció un monitoreo volcánico siguiendo la recomendación de la IAVCEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth’s Interior); que

propone el monitoreo de 4 variables: sísmico, deformación, análisis geoquímico de manantiales y una vigilancia visual (Tilling, 1989). Con la interpretación de estos parámetros es posible establecer un diagnóstico del estado de un volcán. A continuación se presenta el status del Pico de Orizaba.

La red sísmica para el monitoreo del Pico de Orizaba ha registrado hasta el 2012, sismos esporádicos de muy baja magnitud (no percibidos por la población que habita sobre el volcán) no vinculados a una influencia magmática actual (Alarcón, 2015). En general, estos datos se deben utilizar para construir una línea base que servirá para detectar cambios en la actividad sísmica del volcán. Una de las labores del CCT es elaborar reportes periódicos de la actividad sísmica para mantener informadas a las autoridades de protección civil estatal y federal.

En cuanto a la deformación, el Instituto de Geofísica de la UNAM y el CENAPRED (1998) instalaron una red geodésica en el flanco norte y sureste del Pico de Orizaba e iniciaron mediciones hasta el año 2010. En ese periodo se detectaron cambios sin que fuera posible distinguir su origen. Por ello, se recomendó continuar con las mediciones para afinar la interpretación de los resultados obtenidos (CENAPRED, 2010).

Por lo que respecta a los manantiales, en el año 2002, el CENAPRED inició labores de medición en seis manantiales aledaños al Pico. Los sitios elegidos fueron: El Refugio Piedra Grande, Atotonilco (Casas), Atotonilco (Iglesia), Cuiyachapa, Xometla y Nogales (CENAPRED, 2005). El resultado de las mediciones realizadas (2002-2012), no muestra variaciones importantes, lo que significa que hasta el 2012 no hay indicios de influencia magmática (CENAPRED, 2012).

En distintas ocasiones se ha intentado establecer la vigilancia visual (acudiendo a distintas instancias),

mediante la instalación de una cámara en el volcán Sierra Negra, sin resultados favorables. El resultado de los tres monitoreos (2012) indica que el volcán está en reposo; sin embargo, esto puede cambiar de un momento a otro, por lo que es recomendable mantener este nivel de vigilancia aunque debe actualizarse e insistirse en la vigilancia visual. Por otra parte, sí es urgente incorporar el monitoreo de las barrancas para estudiar y caracterizar los lahares, con el fin de elaborar medidas acordes para el alertamiento de este fenómeno.

Con respecto a la *mitigación*, definida como “planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo” (Lavell, s/f), la existencia de un marco legislativo y normativo (leyes, instrumentos financieros, reglamentos, etc.) sustenta las acciones preventivas. En ellas está, el decreto para la creación del Comité Científico Asesor del Volcán Citlaltépetl, con atribuciones para emitir opiniones y recomendaciones sobre el origen, evolución y consecuencias del fenómeno, a fin de inducir técnicamente la toma de decisiones para la prevención y auxilio de la población ante una contingencia (DOF, 1995).

La publicación de la Ley 856 de Protección Civil y la Reducción del Riesgo de Desastres (01/08/2013) fundamentada en la Gestión Integral del Riesgo y su reglamento (30/01/2014). Cuyo artículo 3 menciona que “El Gobernador del Estado, en la iniciativa de Ley de Ingresos y en el Proyecto de Presupuesto de Egresos, incluirá lo concerniente a la protección civil y la reducción del riesgo de desastres”.

El Plan Veracruzano de Desarrollo 2011-2016 que vincula los objetivos de protección civil como política pública, bajo el enfoque de la GIR, deberá ser atendido por el Sistema Estatal de Protección Civil (Artículo 11, Ley 856).

El producto de los 4 proyectos FOPREDEN ya mencionados son de carácter preventivo pero también de mitigación.

Las acciones descritas en la *prevención* y en la *mitigación* deben ser usadas por el Sistema Estatal de Protección Civil (SEPC), para organizar una *preparación (P)*. Si se retoma la ecuación: $R = H * (V - P)$ entonces es posible obtener una reducción del riesgo (recordar que está basado en algunas acciones realizadas en dos etapas de la GIR).

Lo anterior significa que existen avances en la *prevención* y en la *mitigación* en el Pico de Orizaba, sin embargo aún es insuficiente para asegurar una *preparación* adecuada.

Conclusiones y recomendaciones

Ya se mencionó que la probabilidad de ocurrencia de una erupción VEI=2 en el Pico de Orizaba tiene un periodo de recurrencia de ~ 50 años, dando la impresión de que una erupción tardará en materializarse. Sin embargo, la generación de *lahares* detonados por la presencia de lluvias como el ocurrido el 5 de junio de 2003 y la posibilidad de avalanchas de escombros detonadas por la ocurrencia de sismos y/o por la alteración hidrotermal, representa el peligro a corto y mediano plazo. Por ello, se requiere promover la instalación de equipo para el monitoreo de las barrancas del volcán en sitios adecuados.

Es necesario realizar estudios de vulnerabilidad social de las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia del volcán para diseñar medidas enfocadas a la reducción de la vulnerabilidad. En cuanto a la vulnerabilidad institucional, la Secretaría de Protección de Veracruz muestra disposición para el establecimiento de la gestión del riesgo en el estado.

Elaborar y buscar financiamiento de proyectos enfocados al cálculo del *riesgo* volcánico del Pico de Orizaba. No es posible impedir la generación de los lahares, una avalancha de escombros (por sismo y/o alteración hidrotermal) o una reactivación en el volcán, por su origen natural, por ello es necesario buscar la reducción del *riesgo* de la población mediante la disminución de la vulnerabilidad, a través de acciones pertinentes. Estas deberán ser producto del estudio, análisis e interpretación de los datos obtenidos del monitoreo volcánico del Pico de Orizaba.

Estos datos deben ser usados para que el Comité Científico Asesor elabore escenarios y pronósticos de la actividad actual, para hacer un primer Semáforo de Alerta Volcánica para el Pico. Un semáforo de este tipo es el VTLAS (Volcanic Traffic Light Alert Systems) y opera para el Popocatepetl (De la Cruz-Reyna y Tilling, 2008). El de Colima está en preparación.

Una vez construido el Semáforo del Pico de Orizaba, se podría usar junto con otros elementos con el propósito de elaborar esquemas de organización preventiva y de auxilio, como un *plan operativo* volcánico.

Referencias

- Alarcón F. A., Córdoba M. F., Mora G. I., Rodríguez-Elizarrarás S. (2015). Técnicas de monitoreo sísmico aplicadas al Citlaltépetl: algunos resultados. En: *Metodologías aplicadas a las Ciencias de la Tierra*. Primera edición. ISBN: 978-607-9091-49-1. Impreso en México
- Andrés de Pablo N. Zamorano O. José, San José B. José, Tanarro G. Luis Miguel, Palacios Estremera D. (2014). “Evolución post-lahárica de un canal proglaciario: garganta de Huiloac (México)”. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 66, núm. 2, 2014, pp. 305-328.
- Burski M. (2008). A general model for tectonic control of magmatism: Examples from Long Valley Caldera (USA) and El Chichón (México). *Geofísica Internacional* 48 (1), pp. 171-183 (2009).
- Capra P. L. (2013). Primera estación de monitoreo de lahares en el volcán de Colima: hacia un sistema de alerta para los volcanes activos mexicanos. *Gaceta: Órgano informativo*. Universidad Nacional Autónoma de México Campus Juriquilla.
- Carrasco-Núñez G., Vallance J. W., Rose I.W. (1993). A voluminous avalanche-induced lahar from Citlaltépetl volcano, Mexico. Implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59 (35-46). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- _____-Núñez G., 2000. Structure and proximal stratigraphy of Citlaltépetl volcano (Pico de Orizaba), Mexico. En: *Geological Society of America Special Paper*: pp 334.

- Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2005. Informe “Geoquímico del volcán Citlaltépetl”. SINAPROC.
- _____ Nacional de Prevención de Desastres. 2010. Informe “Vigilancia básica geoquímica, geodésica y térmica en el Pico de Orizaba”. SINAPROC.
- _____ Nacional de Prevención de Desastres. 2012. Informe “Hidrogeoquímico del volcán Citlaltépetl”. SINAPROC.
- De la Cruz-Reyna S. (2001). Volcanes. En: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Primera edición. CENAPRED. Secretaría de Gobernación, México.
- _____ -Reyna S., Tilling R. (2008). Scientific and public responses to the ongoing volcanic crisis at Popocatepetl volcano, México: Importance of an effective hazards warning system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 170: pp. 121-134.
- Diario Oficial de la Federación, México. 1995. Acuerdo para la creación de los Comités Científicos Asesores.
- _____ Oficial de la Federación, México. 2012. Ley General de Protección Civil.
- Fournier d’Albe E.M. 1979. Objectives of volcanic monitoring and prediction. *Journal of the geological Society of London*. 136: pp. 321-326.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.
- Gaceta oficial. Órgano del gobierno del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomo CLXXXVIII. Ley 856 de Protección civil y la reducción del riesgo de desastres. Jueves 1 de agosto de 2013. Xalapa, Enríquez, Ver.

- Lavell, A.T. (s/f). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición.
- _____, A.T. 2000. "Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica." En Garita, Nora y J. Nowalski. Del Desastre al Desarrollo Sostenible: Huracán Mitch en Centroamérica. BID-CIDHCS.
- Macías J.L. 2005. Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. Boletín de la Sociedad geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Temas Selectos de la Geología Mexicana. Tomo LVII, núm.3, pp. 379-424.
- Martínez B. A, Ángel Gómez V. A. y De la Cruz-Reyna S (2006). Elaboración de mapas de peligros volcánicos. En: Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. ISBN: 970-628-902-X.
- Maskrey Andrew. 1989. El Manejo Popular de los Desastres Naturales. Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación, ITDG, Lima.
- Mendoza-Rosas A. T., De la Cruz-Reyna S. 2008. A statistical method linking geological and historical eruption time-series for volcanic hazard estimations: Applications to active polygenetic volcanoes. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 176: pp. 277-290.
- _____-Rosas A.T., 2010. Análisis estadísticos para la evaluación del peligro volcánico. Tesis de doctorado. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México., p. 92.

- J.M.1870 Informe sobre la erupción del Volcán de San Martín Tuxtla (Veracruz) ocurrida el año de 1793. Boletín Soc. Mex. Geograf. Estad. II: pp. 62-72.
- Newhall C.G., Self S., 1982. The volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of Explosive Magnitude for Historical volcanism. Journal of Geophysical Research. 87C2: pp. 1231-1238.
- Puente, S. 2012. Seminario: “Información estadística y geográfica para prevenir y mitigar efectos de las sequías e inundaciones en la población y la economía”. En: El desafío de mitigar la vulnerabilidad y De-construir el riesgo. INEGI.
- Rodríguez E. S., Mora-González I., Murrieta-Hernández J.L. Flujos de baja concentración asociados con lluvias de intensidad extraordinaria en el flanco sur del volcán Pico de Orizaba (Citlaltépetl), México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. LVIII, núm. 2, 2006, pp. 223-236. Sociedad Geológica Mexicana, A.C.
- Sheridan, M.F., Carrasco-Nuñez, G., Hubbard, B.E., Siebe, C., Rodríguez Elizarrarás, S., 2002, Mapa de peligros del Volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba), escala 1:25 000: Universidad Nacional Autónoma de México, I.G: 1 mapa.
- Singh S. K., Suárez G. y Dominguez T. 1985. The great Oaxaca earthquake of 15 January 1931: Lithosphere normal faulting in the subducted Cocos plate. Nature 317, pp. 56-58.
- Suter, M., Carrillo M. M., and Quintero Legorreta, O. (1996). Macroseismic study of shallow earthquakes in the central and eastern parts of the TransMexican Volcanic Belt, Mexico. Bull. Seismol. Soc. Am. 86, pp. 1952–1963.

- Tilling I. R. 1989. Los peligros volcánicos. Apuntes para un curso breve. World Organization of Volcano Observatory.
- Toscana A. A. 2003. La vulnerabilidad ex post: la cooperación en la mitigación de desastres. R Veredas UAM-Xoch.
- Wilches-Chaux G. 1989. Desastres, Ecologismo y Formación Profesional, SENA, Popayán.
- .

CAPÍTULO 2

Valle de Perote: Clima y Eventos Extremos

Carolina Andrea Ochoa Martínez
Carlos Manuel Welsh Rodríguez
Berenice Tapia Santos
Marco Aurelio Morales Martínez

Introducción

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se puede definir al clima de una zona o región como el resultado de un conjunto de características meteorológicas, principalmente temperatura y precipitación durante un periodo prolongado (OMM, 2016). Aunque dada la complejidad del sistema climático también deben de considerarse factores naturales tales como latitud, altitud, orografía, entre otros, lo que da lugar a la amplia gama de tipos de clima alrededor del mundo. Año con año se observan fluctuaciones en el clima, así un verano puede ser más cálido que el anterior o un mes en particular puede ser más lluvioso que el precedente. Estas fluctuaciones dan pie al término Cambio Climático (CC), que se entiende como cualquier cambio del clima a largo plazo, ya sea por causas naturales o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2013).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su reporte especial

Gestión de los Riesgos de Eventos Extremos y Desastres para promover la adaptación al Cambio Climático, señala que existe evidencia suficiente de que las observaciones que se reunieron desde 1950 muestran cambios en algunos extremos, aunque la confiabilidad en dichos cambios depende de la calidad y la cantidad de datos, pudiendo variar entre regiones y extremos (IPCC, 2012). Esto en adición a la interacción con los sistemas humanos y naturales, pueden dar lugar a desastres, los cuales se componen precisamente, de dimensiones tanto sociales como físicas. Por otra parte, de acuerdo al Informe Stern (2007), ya no es posible impedir el CC y como resultado de ello todos los países se verán afectados, siendo los más vulnerables los países y poblaciones más pobres, pues sufrirán intensamente los efectos, aun cuando también son los que menos han contribuido a causar dicho cambio.

En México durante los últimos 20 años, han ocurrido 52 fenómenos naturales, de los cuales 28 se pueden catalogar como extremos, de estos el 46 % se han registrado en los últimos seis años (Zúñiga, 2007) y de acuerdo a lo descrito por Ochoa et. al., (2013) en el estado de Veracruz la ocurrencia de los eventos extremos tiene una tendencia de aumento, siendo los huracanes y tormentas tropicales los de mayor impacto, mismos que dejan cuantiosos daños económicos provenientes de sectores como la agricultura, seguridad alimentaria, recursos hídricos y salud (Martínez y Fernández, 2004). Estos eventos han dejado un fuerte impacto en la sociedad veracruzana, principalmente durante los años, 1999, 2005 y 2010 (Tejeda, 2011).

El Valle de Perote, por la importancia de los ecosistemas que ahí habitan, ha sido monitoreado desde hace muchas décadas por distintas disciplinas, sin embargo, a pesar de su riqueza en biodiversidad no ha sido posible (en su carácter de Parque Nacional) contar con una red de monitoreo climatológico permanente. Es por ello que en colaboración

con Granjas Carroll se constituyó una red con el propósito de conseguir un mínimo de datos meteorológicos, mismos que puedan servir de contraste con las fuentes oficiales de datos en la zona.

Por todo lo anterior resulta de interés hacer frente a las condiciones meteorológicas extremas, observar la climatología y presentar los efectos de los eventos extremos; ambos como un reto para la toma de decisiones en tales condiciones donde la incertidumbre juega un papel fundamental en el contexto de la gestión del riesgo.

Zona de Estudio

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el Valle de Perote es una región ubicada en el Altiplano Mexicano. Su extensión territorial abarca seis municipios: Villa Aldama, Perote, Altotonga y Jalacingo en Veracruz; y Tepeyahualco y Guadalupe Victoria en Puebla, equivalentes a 735.3 km² que representan el 0.9% de la superficie total del país (INEGI, 1991). Topográficamente puede delimitarse al norte con la Sierra de Jalacingo, la cual es una prolongación de la Sierra Norte de Puebla, al Sur el extinto volcán del Cofre de Perote, al oeste con la frontera entre los estados de Puebla y Veracruz (Inegi-Orstom, 1991). Su altitud se encuentra entre los 2 250 a 2 500 msnm (Flores, 2012).

Forma parte de la cuenca endorreica “El Carmen.” En esta área la formación cónica de los estratos volcánicos como el Cofre de Perote, favorece la dispersión de los escurrimientos no así a la jerarquización de la red hidrográfica, lo cual sumado a la baja precipitación que se da mayormente en los meses de julio-agosto, provoca la ausencia de escurrimientos perenes al interior del Valle (Inegi-Orstom, 1991). Debido principalmente al clima del área la vegetación predominante

al interior del Valle de Perote es el Matorral xerófilo, el cual se caracteriza por la presencia de arbustos con hojas rígidas y de plantas espinosas (Ellis y Martínez, 2010). En el área del Cofre de Perote, segunda cumbre más alta del Estado de Veracruz con 4,250 msnm, se localizan bosques de Pino, Oyamel, Pino Encino, los cuales son fuente importante de germoplasma, y reciben presión resultante de prácticas agropecuarias y forestales en la zona (DOF, 2015).

Su suelo tiene una actitud para desarrollar el sector primario en su mayor parte por lo que se producen cultivos como los de papa, maíz grano, trigo, haba, frijol, zanahoria, además de cría intensiva de porcinos y ganado de pastoreo, como Bovino, Caprino y Ovino, además de la cría de aves como el guajolote y gallina (SEFIPLAN-VERACRUZ, 2015 y SEI-Puebla, 2014).

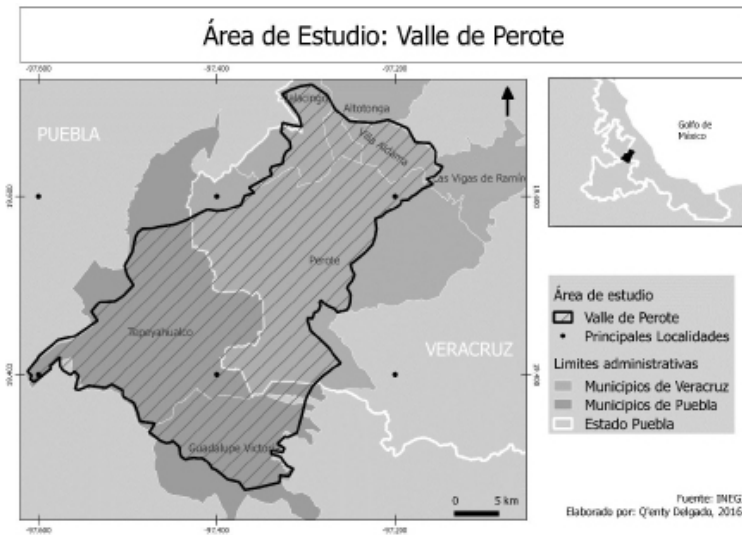


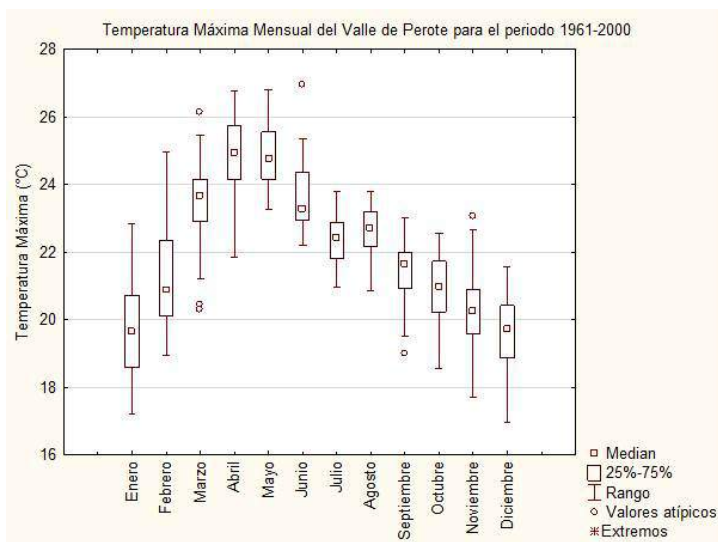
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.
Fuente Elaboración propia, con datos del INEGI

En el área se registra clima templado con temperaturas medias anuales de 12 a 18° C, con mínimas de alrededor de -3°C en su mes más frío. En este aspecto el Cofre de Perote juega un papel importante al actuar como barrera, la cual impide la entrada al Valle de los vientos cálidos del Golfo. Se presentan dos subtipos de clima, el templado subhúmedo con lluvias en verano y el seco semiárido con lluvias en verano y estación seca en invierno (Flores, 2012).

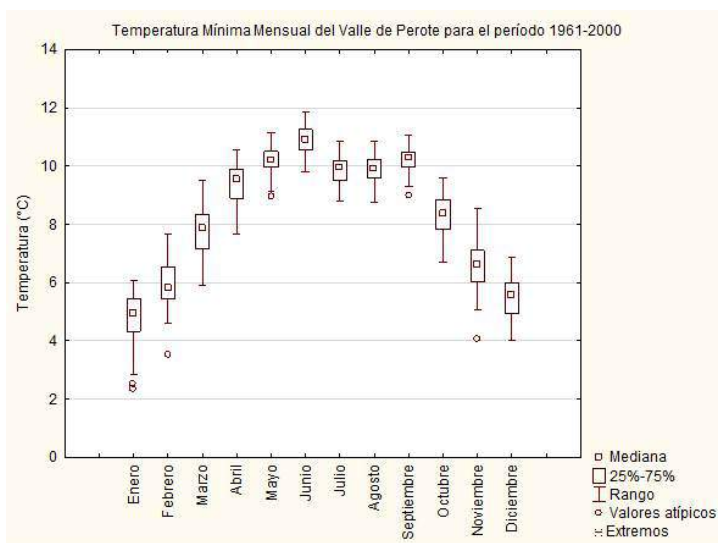
Con datos del censo de población y vivienda 2010 (INEGI, 2010), en el área comprendida por dichos municipios existe un total de 213,917 habitantes, distribuidos en 340 localidades, con un índice de marginación promedio de MEDIO (SEDESOL, 2015). Las principales localidades dentro del Valle son, Perote, Villa Aldama, El Limón Totalco, Tenextepec, Tepeyahualco y San José Alchichica.

La Universidad de EAST ANGLIA, en su Unidad de Investigación Climática (CRU, por sus siglas en inglés) cuenta con una base de datos con una resolución temporal mensual para el período 1901-2009 y una resolución espacial de 0.5° x 0.5° para todo el mundo. Se tomaron los datos existentes en el cuadrante de Lat 19.779 Long -97.119 con Lat 19.119 Long -97.734.

Las gráficas 1 y 2 muestran la variabilidad climática mensual para el caso de las temperaturas máxima y mínima en la zona de estudio. En ellas podemos observar que la máxima varía en un rango de 17 a 27°C a lo largo del año, mientras que la temperatura mínima en la zona de estudio, tiene un rango de 2.5 a 12°C. Ambas variables encuentran su máximo en los meses de abril y mayo, mientras que el mínimo corresponde a los meses de enero y diciembre.



Gráfica 1. Variación mensual de la temperatura máxima en el Valle de Perote. Fuente Elaboración propia con los datos del CRU.

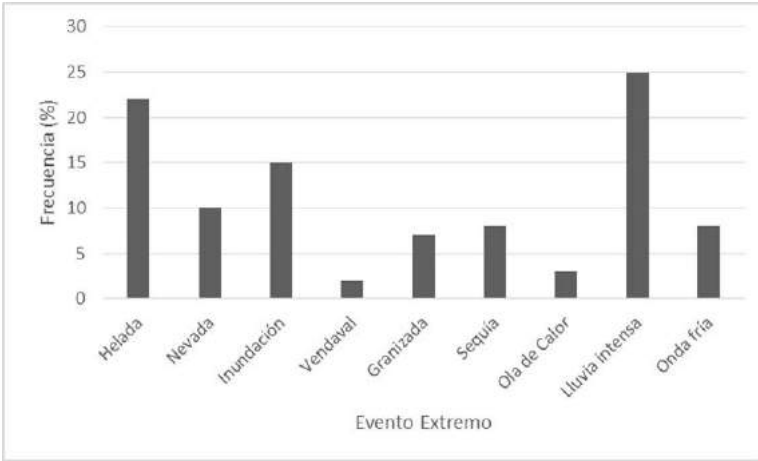


Gráfica 2. Variación mensual de la temperatura mínima en el Valle de Perote. Fuente Elaboración propia con los datos del CRU.

Por todo lo anterior, resulta necesario el estudio de eventos extremos en la zona, entendiéndose por estos la ocurrencia de un valor de un tiempo o variable climática más arriba (o abajo) de un valor umbral cerca de la parte superior (o inferior), es decir, extremos de la gama de valores observados de la variable (IPCC, 2012). De igual forma de manera estadística un evento extremo se define como aquél que se encuentra por encima del 90° ó por debajo del 10° percentil de una función de probabilidad observada (IPCC, 2001). Los eventos extremos pueden ser analizados por su intensidad, duración o frecuencia de aparición y a su vez los efectos producidos al ambiente, así como los costos o daños en los sectores económicos (Beniston, 2004). Dentro de los eventos extremos meteorológicos, se encuentran, los huracanes, tornados, sequias, heladas, trombas, granizadas, olas de calor, olas de frío, principalmente (FAO, 2012).

Eventos Extremos en el Valle de Perote, Veracruz

DesInventar es un catálogo de desastres de México que ha sido construido en el marco de diversos proyectos desde 1996, tomando como fuentes oficiales los registros del Sistema Nacional de Protección Civil, Declaratorias de Desastres Naturales para efectos del FONDEN y diversas fuentes hemerográficas (DESINVENTAR, 2015). En dicho inventario, se observa que en México los desastres asociados a eventos climáticos extremos, han tenido un importante incremento en los últimos años, pues de los totales ocurridos en el país el 27% de estos eventos ocurrieron en el estado de Veracruz, el 49% de las inundaciones, el 28% de las precipitaciones extremas y el 20% de los huracanes (Ochoa et.al, 2015).



Gráfica 3. Frecuencia de eventos extremos meteorológicos en el Valle de Perote 1970-2015. Fuente Elaboración propia con los datos de Desinventar.

Para el área del Valle de Perote se analizaron los datos de eventos extremos meteorológicos y sus causas, se determinó que los reportes similares en tipo de evento y fecha, se referían a un único evento que afectó a más de un municipio. De tal forma que para el Valle de Perote han impactado un total de 40 eventos extremos meteorológicos (ver gráfico 3), por lo que la gestión de los riesgos climáticos se vuelve un reto presente y futuro, ya que las tendencias apuntan a que la incidencia de los eventos extremos aumentará, y con ello las catástrofes que de ellos emanan (sequías, inundaciones, tormentas de viento, incendios forestales, y deslizamientos de tierra) (IPCC, 2012).

Monitoreo climático del Valle

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuenta con 360 estaciones meteorológicas para el estado de Veracruz para el período 1922-2015, de las cuales se encuentran operando

193. La Tabla 1 muestra las estaciones meteorológicas que pertenecen al Valle de Perote. Como se puede observar la mayoría de las estaciones señalan que siguen en operación cuando el año más reciente es el 2008.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas en el Valle de Perote.
Fuente Elaboración propia con los datos del
Servicio Sismológico Nacional

Clave	Nombre	Estado	Organismo	Inicio	Fin	Situación	Latitud	Longitud	Altitud
21040	Guadalupe Victoria	Puebla	CONAGUA-DGE	01/02/1961	31/12/2006	OPERANDO	19° 22' 26"	97° 21' 37"	2360.0
21051	Jolapa	Puebla	CFE	01/05/1961	30/08/2008	OPERANDO	20° 11' 49"	97° 48' 35"	725.0
21052	Aichichica	Puebla	CONAGUA-DGE	01/08/1955	31/12/2006	OPERANDO	19° 24' 43"	97° 23' 38"	2380.0
21059	Oyamelas	Puebla	CONAGUA-DGE	01/01/1961	31/12/2006	OPERANDO	19° 42' 51"	97° 32' 51"	2650.0
21077	San Luis Atercac	Puebla	CONAGUA-DGE	01/01/1961	31/12/2006	OPERANDO	19° 20' 47"	97° 27' 22"	2420.0
21117	Guadalupe Victoria	Puebla	CONAGUA-DGE	01/01/1969	31/12/2006	OPERANDO	20° 10' 12"	97° 59' 14"	1320.0
21129	Francisco I. Madero	Puebla	CONAGUA-DGE	01/03/1965	31/12/2006	OPERANDO	19° 36' 53"	97° 30' 04"	2585.0
21184	Libres (DGE)	Puebla	CONAGUA-DGE	01/09/1979	31/07/1988	SUSPENDIDA	19° 26' 05"	97° 41' 47"	2390.0
21200	Libres (CRP)	Puebla	CONAGUA-DGE	01/02/1980	31/03/1994	SUSPENDIDA	19° 27' 47"	97° 41' 10"	2380.0
21209	Los Humeros (CFE)	Puebla	CFE	01/01/1984	30/05/2008	OPERANDO	19° 40' 45"	97° 24' 22"	2790.0
30128	Perote	Veracruz	CONAGUA-DGE	01/05/1965	30/08/2008	OPERANDO	19° 34' 51"	97° 14' 52"	2415.0
30166	Tampos	Veracruz	CONAGUA-DGE	01/01/1961	31/07/2002	OPERANDO	22° 12' 58"	97° 59' 55"	20.0
30178	Tenextepec	Veracruz	CONAGUA-DGE	01/03/1966	31/12/2005	OPERANDO	19° 29' 10"	97° 15' 51"	2660.0
30198	Zayaleta	Veracruz	CONAGUA-DGE	01/07/1905	31/12/2006	OPERANDO	19° 24' 50"	97° 23' 20"	2350.0
30211	Las Vigas	Veracruz	CONAGUA-SMN	01/06/1922	31/12/2003	OPERANDO	19° 38' 20"	97° 06' 35"	2400.0
30306	Frijol Colorado	Veracruz	CFE	01/09/1982	31/05/1997	OPERANDO	19° 30' 15"	97° 20' 09"	2430.0
30370	Orilla del Monte	Veracruz	CFE	01/11/1982	31/05/1997	OPERANDO	19° 39' 40"	97° 17' 34"	2400.0

La Figura 2 muestra la distribución temporal de las estaciones meteorológicas del SMN.

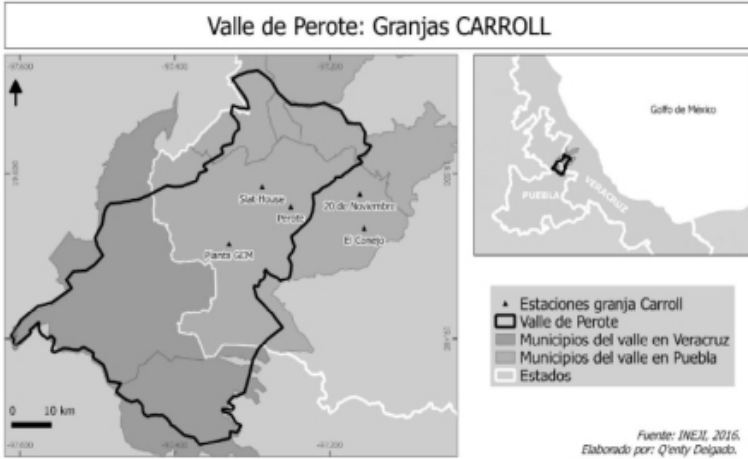


Figura 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas del proyecto.

La Figura 3 muestra la ubicación geográfica de las estaciones que constituían la red. Sin embargo, la UNAM al ser dueña de los equipos, en 2011 decidió retirar tres de ellos, quedando vigentes dos: la estación de Planta de Alimentos y Slat House mediante el convenio “Evaluación de la variabilidad Climática en Perote, Veracruz”. Dado el interés de la empresa, GCM adquirió una estación más: el Incinerador.

Las estaciones meteorológicas están programadas para obtener datos con una frecuencia de 30 minutos, misma que es guardada en una memoria temporal para su posterior análisis mensual, que se convertirá en información. A continuación, se presenta un breve análisis de los resultados obtenidos para el periodo 2011-2014.

Estación Planta de Alimentos

El rango de temperatura máxima registrada es de [27.4-28.8] °C, registrados para los meses de primavera, mientras que para el caso de la temperatura mínima es de [-10.9-

-5.1]°C para los meses de invierno. La velocidad del viento con mayor frecuencias es de 0-20 Km/hora en la escala Saffir-Simpson y la dirección es proveniente del Noreste, por último el caso de la precipitación el año más seco fue el de 2014 con un valor de 8.23 mm de lluvia, mientras que el año más lluvioso fue registrado para el 2011, con 30.6 mm de lluvia.

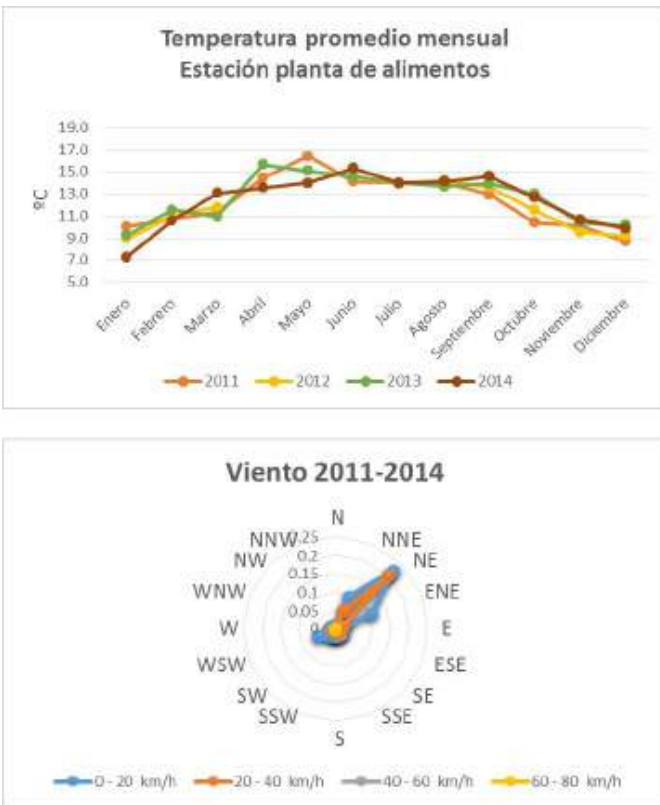


Figura 4. Resultados para la estación Planta de Alimentos.
Fuente elaboración propia.

Estación Slat House

El rango de temperatura máxima registrada es de [25.6-28.5] °C, registrados para los meses de primavera, mientras que para el caso de la temperatura mínima es de [-9.6 - -4.9]°C para los meses de invierno. La velocidad del viento con mayor frecuencia es de 0-20 Km/hora en la escala Saffir-Simpson y la dirección es proveniente del Norte, por último, el caso de la precipitación el año más seco fue el de 2014 con un valor de 8.6 milímetros de lluvia, mientras que el año más lluvioso fue registrado para el 2011, con 25.7 milímetros de lluvia.

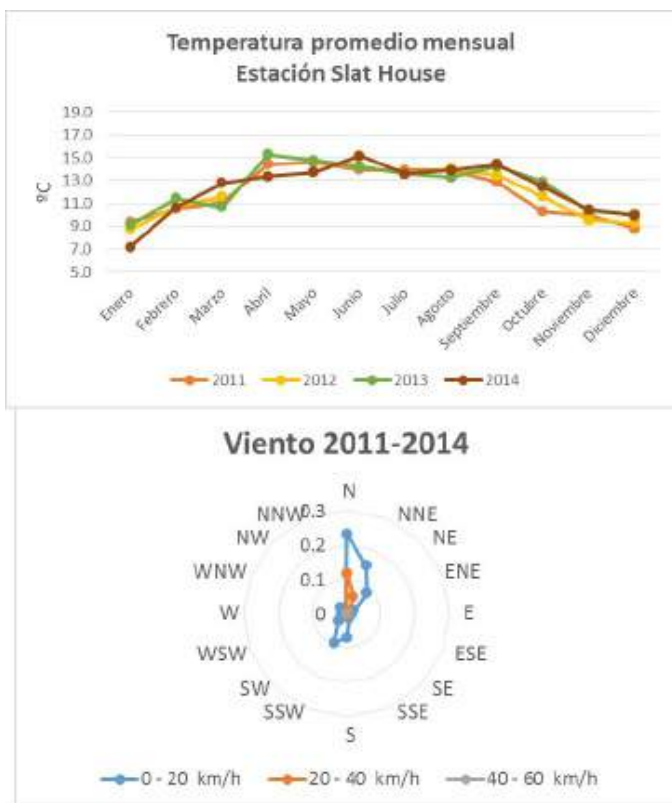


Figura 5. Resultados para la estación Stat House. Fuente elaboración propia.

Estación Incinerador

El rango de temperatura máxima registrada es de [26.3-27.4] °C, registrados para los meses de primavera, mientras que para el caso de la temperatura mínima es de [-3.4 - -1.6]°C para los meses de invierno. La velocidad del viento con mayor frecuencias es de 0-20 Km/hora en la escala Saffir-Simpson y la dirección es proveniente del Norte, por último el caso de la precipitación el año más seco fue el de 2014 con un valor de 40.1 mm de lluvia, mientras que el año más lluvioso fue registrado para el 2011, con 89.0 mm de lluvia.



Figura 6. Resultados para la estación Incinerador.
Fuente elaboración propia.

De los datos antes presentados se observa que la variabilidad de temperatura por época del año es mínima, tal como ocurre en lugares de montaña, casi no hay anomalía de temperatura entre primavera y verano, al igual que entre otoño e invierno; los efectos de los eventos extremos se han presentado entre el final del invierno y la primavera, en momentos críticos para el sector primario de la región, esta situación ha impactado de manera directa a los productores de papa y maíz por la heladas y granizadas.

Es relevante señalar la importancia que tienen las circulaciones regionales o locales, provenientes de los contrastes en la presión atmosférica, pues imprimen rasgos particulares a las condiciones climáticas de un territorio, convirtiéndose, en ocasiones, en el elemento climático más significativo de las mismas. Por ejemplo, se conoce como brisa de valle o montaña a los vientos que se producen en estas áreas. Donde a medio día el calentamiento del aire se produce a lo largo de toda la vertiente y se establece una circulación del aire que asciende desde el fondo del valle a lo largo de la ladera (brisa de valle); tras la puesta de sol se registra una brisa de sentido contrario (brisa de montaña).

Debe recordarse que el estado de Veracruz es vulnerable al paso de ciclones tropicales, que generalmente se presentan durante los meses de mayo a noviembre y dada la ubicación geográfica del Valle de Perote, resulta importante el estudio del campo de viento, pues de acuerdo a lo observado los vientos máximos se han presentado en dicho periodo, por lo que se está explorando la posible correlación entre los frentes fríos que ingresan en el Golfo de México con los fenómenos convectivos en la región que han ocasionado escurrimientos con efectos diversos en la región, sin embargo eso es motivo de trabajo futuro.

La tabla 2 muestra la frecuencia en los reportes de desastres por eventos hidrometeorológicos extremos en el

Valle de Perote. El análisis de datos muestra que en los últimos años ha habido un incremento en la presencia de eventos extremos en la zona del Valle. Aunque aún no es posible establecer una relación estadísticamente significativa, pues la red lleva funcionando poco tiempo, si es posible señalar que el año 2013 es el que tiene mayor número de declaratorias por desastre (10) y de acuerdo a lo observado es el año donde se registraron los valores máximos de viento en las tres estaciones.

Como se recordará el objetivo es generar información que pueda ser útil para la toma de decisiones, en ese sentido la primera etapa se cumplió con el establecimiento de la red, y nos encontramos en el diseño de un mecanismo de comunicación interinstitucional (UNAM-UV-GCM) con instituciones y organizaciones locales y estatales para poder sentar las bases de una comunicación efectiva entre usuarios potenciales.

Consideraciones finales

- Definir el clima de una zona o región es importante para el desarrollo de la misma. Dada la importancia, ecológica y Agro-económica del Valle de Perote, entender las variaciones climáticas ayuda al desarrollo de una planeación estratégica, el correcto uso de los recursos naturales de la misma y por último a una toma de decisiones adecuada.

- El objetivo principal de la red de estaciones, es contar con datos climatológicos de la zona que permitan generar estrategias de desarrollo acorde a las dimensiones sociales y ecológicas de cada región, aunque es importante mencionar que este es un primer diagnóstico para la zona de estudio, por lo que se proponen estudios posteriores que permitan conocer si existen cambios estructurales en las variables de estudio.

- Es necesario destacar la importancia que el sector privado ha manifestado en entender los procesos atmosféricos de la zona, a través de la vinculación con instituciones de educación superior, así como en la divulgación de los resultados obtenidos para el beneficio de los distintos sectores que se puedan ver beneficiados.

Referencias

- Beniston, M. S.; D. B. Stephenson. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*. (44):1-9.
- DesInventar, (2015). México – Inventario Histórico de Desastres 1970-01-01 – 2013-12-31. (Consultado 22/12/2015) <http://www.desinventar.org/es/database>
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2015. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Parque Nacional Cofre de Perote o Nauhcampatépetl. (Consultado 12-03-2016) disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5379137&fecha=21/01/2015
- Ellis E. A., Martínez B. M. 2010. Vegetación y uso de suelo. in: Florescano E., Ortiz E. J., Benítez B. G., Welsh R. C. (Coords). Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz, Tomo 1 Patrimonio Natural. Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración del Bicentenario de la Independencia y del Centenario de la Revolución Mexicana. Xalapa, Veracruz. Pp: 203-226

- FAO, (2012). Cambio Climático: Manejo de riesgos climáticos. (Consultado 22/12/2015) <http://www.fao.org/climatechange/49376/es/>
- INEGI (1991). Instituto de Geografía, Estadística e Informática. 1991. Cuaderno de información básica región Cofre de Perote. Consultado en http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/920/702825921118/702825921118_1.pdf
- INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. (Consultado, 16/05/2015) <http://www.censo2010.org.mx/>
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 881
- _____, (2012). Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.
- _____, (2013). Glosario. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bexy P.M. Midgley (Eds.). Cambio

Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo Ial Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Martínez J., Fernández A. (coords). (2004). Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, p. 525

Ochoa, C., S. Ibarra, C. Welsh, G. Yañez (2015). Análisis de la precipitación extrema en zonas de montaña en Veracruz. XXIV Congreso Mexicano de Meteorología. OMMAC, en prensa.

Ochoa Martínez C. A., Welsh R.C, Bonilla J. E. y Morales M. M., 2013. Fuentes de información de eventos hidrometeorológicos extremos en Veracruz de Ignacio de la Llave. Realidad, Datos y Espacio: Revista Internacional de Estadística y Geografía. 4(3): pp. 66-73.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2016. METEOTERM. (Consultado, 201-01-2015) <http://wmo.multicorpora.net/MultiTransWeb/Web.mvc>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (Consultado, 21-12-2015) <http://www.siap.gob.mx>

SEGOB (Secretaría de Gobernación). 2015. Sistema Nacional de Protección Civil México: DGGR (FONDEN). del Sistema Nacional de Protección Civil. (Consultado, 22-12-2015) <http://proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil>

Tejeda M. A. (Editor). 2011. Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. México, p. 578

Zúñiga, P. “Protección civil y desastres naturales”, en: Seminarios de protección civil y desastres inducidos por fenómenos naturales. Memorias. México, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC, 2007, pp. 25-33.

CAPÍTULO 3

Origen del agua subterránea en Xalapa y sus alrededores

Juan Pérez Quezadas
Alejandra Cortés Silva
María del Rocío Salas Ortega

Introducción

El agua es uno de nuestros más importantes recursos naturales. Sin ella, no habría vida en la tierra. El suministro de agua disponible para nuestro uso está limitado por la naturaleza. Aunque hay mucha agua en la tierra, no siempre está en el lugar correcto, en el momento adecuado y con la calidad adecuada. Se suma al problema la creciente evidencia de que los desechos químicos, inadecuadamente dispuestos años atrás, se puedan presentar hoy en nuestros suministros de agua.

El ciclo del agua o ciclo hidrológico, es un proceso continuo por el cual el agua se purifica por evaporación y se transporta desde la superficie de la tierra (incluyendo los océanos) a la atmósfera y de nuevo a la tierra y los océanos. Todos los procesos biológicos, físicos y químicos relacionados con el agua a medida que viaja en sus diversos caminos en la atmósfera, sobre y debajo de la superficie de la tierra, son de interés para los que estudian el ciclo hidrológico. Hay muchos caminos que el agua puede tomar

en su ciclo continuo, puede caer como lluvia o nevada y regresar inmediatamente a la atmósfera. Puede ser capturada durante millones de años en las capas de hielo polares. Puede fluir a los ríos y finalmente al mar. Puede penetrar en el suelo, ser evaporada directamente de la superficie del suelo o ser transpirada por las plantas. Puede filtrarse a través del suelo, generando recarga al agua subterránea y conformando acuíferos, los cuales pueden ser descargados a través de pozos artificiales, manantiales, arroyos, humedales e incluso al mar Figura 1.



Figura 1. Ciclo natural del agua. Tomado de U.S. Geological Survey.

Los isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$, ^2H) de la molécula del agua junto con otros compuestos químicos que arrastra disueltos o en cualquier otra forma pueden ser utilizados para trazar el ciclo hidrológico. Los compuestos no sólo determinan en muchos casos los posibles usos del recurso sino que, además son la mejor expresión de su historia. El conocimiento de las características químicas de agua vinculadas a la

hidrogeología, tiene como finalidad fundamental establecer relaciones ente la composición, distribución y circulación del agua en los acuíferos y la geología, mineralogía y sistemas de flujo de éstos.

Agua subterránea

La Hidrología se ha desarrollado como una ciencia en respuesta a la necesidad de comprender los complejos sistemas de agua de la Tierra y ayudar a resolver los problemas del agua. Es una ciencia que abarca la ocurrencia, distribución, movimiento y las propiedades de las aguas de la tierra y su relación con el medio ambiente dentro de cada fase del ciclo hidrológico. Siendo el agua subterránea parte del ciclo, regularmente es más barata, más cómoda su explotación, y menos vulnerable a la contaminación en comparación con el agua superficial. Por lo tanto, es de uso común para los organismos públicos de agua. En algunas zonas, el agua subterránea puede ser la única opción. Algunos municipios sobreviven únicamente de aguas subterráneas como manantiales, los cuales pueden definirse como: una zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero subterráneo. Un manantial aflora donde el nivel de saturación del agua en el acuífero corta la superficie topográfica. Se forman debido a cambios verticales u horizontales en la conductividad hidráulica de los materiales geológicos (Custodio y LLamas, 1983)

El agua subterránea contaminada es menos visible, pero más insidiosa y difícil de limpiar. La contaminación del agua subterránea regularmente es el resultado de la disposición inadecuada de residuos en superficie. Algunas fuentes principales son los productos químicos industriales y domésticos, vertederos de basura, lagunas de residuos industriales, residuos y aguas residuales de proceso de

minas, fugas de tanques subterráneos de almacenamiento de petróleo y oleoductos, lodos de depuradora y sistemas sépticos, <http://water.usgs.gov>.

Después de su uso, el agua se devuelve a otra parte del ciclo: tal vez descargada aguas abajo o depositada en el suelo. El agua utilizada normalmente es inferior en calidad, incluso después del tratamiento, lo que a menudo supone un problema para los usuarios aguas abajo.

Proyecto en Veracruz

En el año 2007, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se desarrolló un Proyecto de Colaboración Técnica (PCT) con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en el acuífero Valle de León, en León, Guanajuato. En el mismo año, se realizó un primer barrido isotópico e hidrogeoquímico en los alrededores de la ciudad de Xalapa y se inició un monitoreo isotópico del agua de lluvia en un transecto que parte de nivel de mar hasta 4,200 msnm. Esto dio origen en el año 2010 al PCT MEX7010, que actualmente se está ejecutando en la Cuenca Hidrográfica del río Actopan, entre el OIEA y la Universidad Veracruzana (UV), a través del Centro de Ciencias de la Tierra.

Parte del objetivo del proyecto a cubrir a través del PCT fue: Evaluar con métodos isotópicos y geoquímicos la relación que existe entre el agua subterránea y meteórica, debido a que la topografía abrupta, climatología y geología, generan características hidrológicas muy particulares.

Área de estudio

La ciudad de Xalapa se encuentra localizada en la parte central del estado de Veracruz a 1,400 msnm aproximadamente (Figura 2). Se encuentra ubicada en el sector oriental de

la Franja Volcánica Transmexicana (FVT). De acuerdo al último conteo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la población asciende a 457,928 habitantes (INEGI 2010). La normal climatológica 1971-2000, reportada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), plantea que la precipitación es de 1500 mm/año, temperatura máxima de 25 °C, temperatura mínima 14.6 °C y temperatura media 19.8 °C, con 162 días de lluvia.

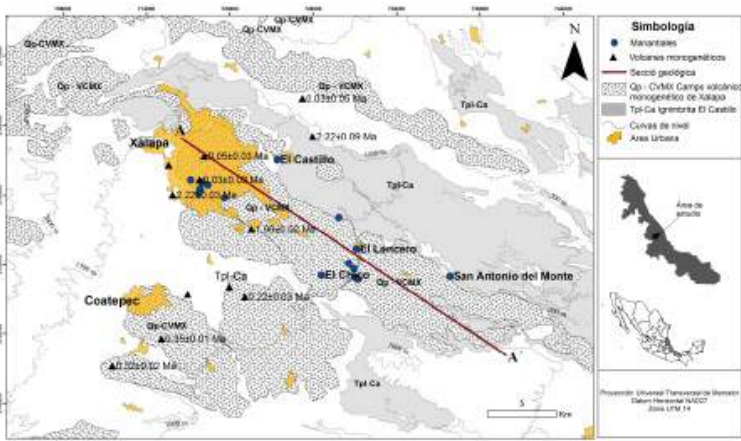


Figura 2. Localización de la zona estudiada, rasgos geográficos, localización de manantiales, geología local; donde se señalan las edades aproximadas de los conos volcánicos modificado de Rodríguez *et al.*, 2010 y Morales Barrera, 2009.

Características hidrogeológicas

Dentro del sector oriental la estructura volcánica más importante es la cadena montañosa Cofre de Perote-Pico de Orizaba (CP-PO), otra manifestación volcánica importante es el Campo Volcánico Monogenético Xalapa (CVMX)

(Rodríguez et al., 2010), el cual se encuentra al noreste del extinto volcán Cofre de Perote. Este último, se compone de conos de escoria y cráteres de explosión que produjeron una serie de derrames de basalto alcalino-calci-alcalino (Figura 2). Bajo estos derrames se encuentra un flujo piroclástico que sirve de basamento a los flujos de lava (Morales-Barrera, 2009).

La edad de las lavas de los conos volcánicos son determinantes para postular su distribución espacial. En la Figura 2 se observan las diferentes edades de un conjunto de volcanes monogenéticos, las cuales van desde 2.2 Ma hasta 0.01 Ma. Para el volcán Macuilmtepetl, donde se asienta la mayor parte de la ciudad de Xalapa, se reportan edades de 0.05 ± 0.03 Ma, (Rodríguez et al., 2010).

Los manantiales en estudio afloran en rocas volcánicas recientes, Cuaternario, como lo es el conocido Cerro de Macuilmtepetl. Las lavas presentan desde pequeñas fracturas hasta grandes conductos volcánicos, a través de las cuales se lleva a cabo la infiltración (Figura 3). Subyaciendo a esta roca, se encuentra una unidad con características ignimbríticas, denominada Ignimbrita El Castillo, formada por una secuencia de material no consolidado y consolidado, las cuales presentan menor permeabilidad que las lavas emitidas por el Volcán Macuilmtepetl. Es posible que en esta zona el funcionamiento hidrodinámico esté controlado principalmente por los contrastes de permeabilidad, ya que estas lavas muestran un grado de fracturamiento de moderado a intenso. En algunos puntos se observa en las lavas una vesicularidad elevada, mientras que en otros las rocas son más densas.



Figura 3. Cueva de las Orquídeas localizada en Xalapa, Veracruz sobre la avenida Miguel Alemán. Fuente: Juan Pérez Quezadas.

La Ignimbrita El Castillo, constituye el basamento de los volcanes monogenéticos del CVMX. Esta relación de contacto se observa a lo largo de la autopista Xalapa-Veracruz, en donde las lavas alteraron las rocas subyacentes (Figura 4). Esta relación de contacto condiciona la ocurrencia de los manantiales en las lavas del CVMX, debido a que la Ignimbrita El Castillo en esta zona actúa como capa de menor permeabilidad vertical (Salas-Ortega, 2010).

Debido a que el punto de descarga de un manantial refleja la cota del nivel estático, se generó un mapa de curvas isopiezas en el cual se intenta representar el flujo preferencial del agua subterránea. Para realizar este mapa se midió la altitud de cada manantial con un GPS Etrex manual marca garmin con error de precisión de ± 2 m y se comparó con las cartas topográficas 1:50000 editadas por

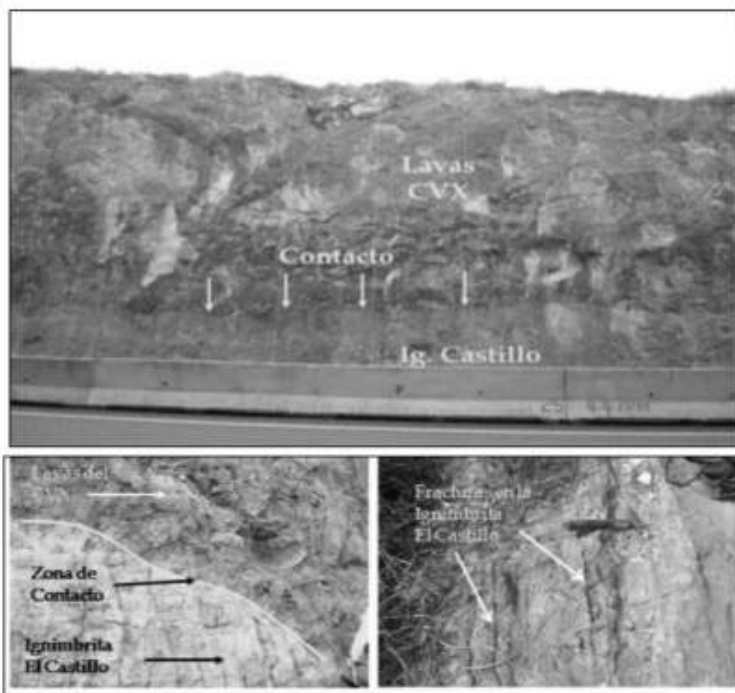


Figura 4. Contacto entre las lavas del CVMEX y la Ignimbrita El Castillo (parte superior e inferior izquierda) Fracturas de la Ignimbrita El Castillo (parte inferior derecha) Tomado de Salas Ortega, 2010.

INEGI. Las altitudes de los manantiales van de los 1,427 a los 392 msnm. El resultado es que el agua subterránea se mueve con dirección NE-SE, aparentemente en el mismo sentido que la dirección del flujo de lava (Figura 5).

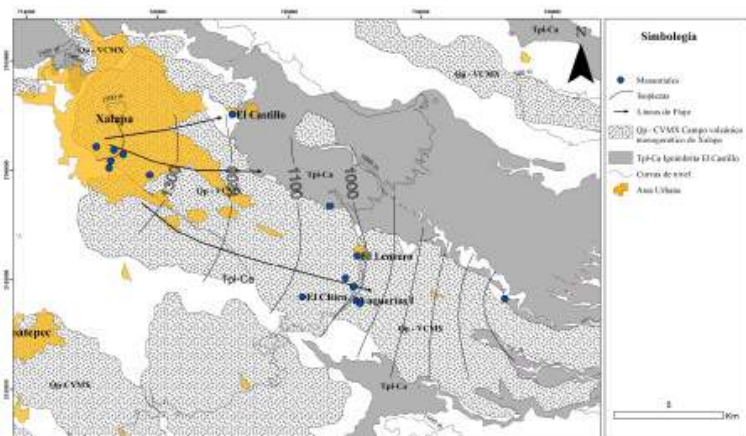


Figura 5. Curvas isopiezas y líneas de flujo con dirección NE-SE sobre lavas del CVMX. Fuente elaboración propia.

Datos

Se generó una base de datos que incluye: las relaciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$), parámetros fisicoquímicos e iones mayores, medidos en el agua descargada de 12 manantiales cercanos a Xalapa. Se colectaron muestras al inicio de la temporada de lluvias, 2007, las cuales fueron analizadas en isótopos ambientales por el Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Geología, de la UNAM, de acuerdo a las normas establecidas internacionalmente para su medición. Algunas de estas muestras también fueron analizadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Los análisis de iones mayores se realizaron en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Geociencias, UNAM. Los cationes fueron analizados por espectrometría de masas con un equipo ICP-OES (Plasma Inductivamente Acoplado con Espectrometría Óptica de Emisión), utilizando el Método 200.7 de la US EPA de Enero del 2001. Los aniones se determinaron por cromatografía, utilizando un Cromatógrafo Dionex ICS-2500 HPLC/IC con columna analítica dionex

AS14A y guarda analítica dionex AG14A, utilizando el Método 300.1 de la US EPA de 1997. Se contó también con un trabajo de tesis de licenciatura que reporta 24 mediciones de iones mayores y parámetros fisicoquímicos, realizados en 6 manantiales dentro de la zona urbana de Xalapa, en 4 campañas durante el año 1996, (Clemente et al., 1997).

Discusión

Las observaciones geológicas realizadas en la cueva de la Orquídea, localizada en las estribaciones del volcán Macuítetpetl, ponen de manifiesto la alta permeabilidad de las rocas provenientes de este aparato volcánico, sobre las que se asienta la ciudad de Xalapa. Estos tubos de lava, fracturas y contactos de diferentes emisiones de lava, generan caminos preferenciales del agua subterránea, los cuales podrían disminuir su diámetro en función de su profundidad, distancia al cráter y edad. Estas condiciones y la presencia del flujo piroclástico, con menor permeabilidad, que subyace inmediatamente a estas rocas, dan como resultado la descarga de agua subterránea a través de manantiales drenantes y flujos subsuperficiales, relacionados con un acuífero colgado localizado en las lavas (Figura 6).

El registro de la temperatura del agua subterránea medida en los manantiales varía de 19°C a 26°C, por lo tanto se encuentran dentro del rango de variación de la temperatura ambiente, sin indicios de termalismo. La conductividad eléctrica, varía de 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El ion cloruro varía desde 3 mg/L hasta 40 mg/L. De acuerdo a sus iones mayores, se agrupan en aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas, con un contenido de sólidos totales disueltos desde 80 mg/L para los manantiales localizados fuera de la ciudad y 300 mg/L para los que se encuentran dentro de la zona urbana.

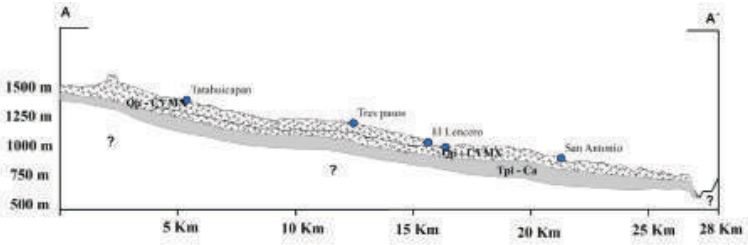


Figura 6. Perfil geológico esquemático y localización de manantiales.
Fuente Elaborado para esta publicación.

En la Figura 7, se muestra la relación existente entre el ión cloruro y la conductividad eléctrica. Los manantiales que presentan los valores más altos de conductividad eléctrica y concentración de cloruro, corresponden a manantiales localizados dentro de la ciudad de Xalapa. De acuerdo con la literatura especializada: Las fuentes naturales del ion cloruro en el agua subterránea se atribuyen a: a) agua de lluvia y su concentración en el terreno; b) brisa marina; c) mezcla con agua marina en regiones costeras; d) ataque de rocas y e) disolución de rocas evaporitas, aunque en general es pequeño por ser un elemento escaso en la corteza terrestre (Custodio et al., 2001). La presencia de ion cloruro en el agua subterránea en concentraciones mayores a las comunes en agua de lluvia (menor a 5 mg/l para estas latitudes) debidas al gradiente de concentración, pudiera indicar la probable influencia de agua con afectaciones antrópicas, debido a la carga de cloro en las redes de agua potable y probables fugas, sin descartar fugas en la red de drenaje.

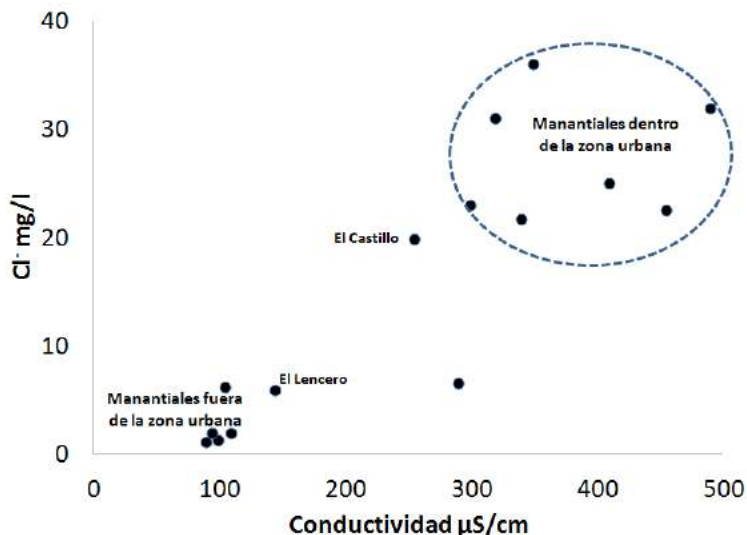


Figura 7. Dentro del círculo grande se presentan los manantiales localizados dentro de la zona urbana de Xalapa, con una conductividad mayor a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y cloruro mayor a 20 mg/l . Con valores más bajos se encuentra otro grupo perteneciente a manantiales fuera de la ciudad. En medio de estos dos, el manantial El Castillo. Fuente Juan Pérez Q.

Otro indicador relacionado con la contaminación antropogénica es el ión nitrato. En el manantial El Castillo, se encontró una concentración de 39.2 mg/L . Los manantiales El Hormigo y El Lencero presentaron concentraciones de 10.3 mg/l y 8.5 mg/l respectivamente, por arriba del límite permisible para consumo humano según la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA-1994. El resto de manantiales presentan concentraciones menores a 5 mg/L de nitrato. Para los manantiales que se ubican dentro de la zona urbana como son: Techacapan, Tecajetes, Parque Juárez, Xalitic y Los Lagos, no se contó con valores de concentración del ion nitrato, ya que los datos fueron tomados de un estudio anterior donde no se midió éste parámetro, ver (Clemente et al., 1997).

Puede darse el caso de la existencia de áreas densamente pobladas donde aún persisten las fosas sépticas y “resumideros” (muy comunes en zonas volcánicas) capaces de absorber una cantidad importante de desechos urbanos y aportar nitrato al agua subterránea. Otra fuente antropogénica de este ión se puede dar a través de ríos, donde circulan las aguas grises originadas por las actividades urbanas y circulando sobre rocas altamente permeables como las lavas del CVMX.

La Figura 8 muestra los valores isotópicos medidos en agua meteórica y manantiales en el año 2007, alineados a la Línea Mundial de las Aguas Meteóricas (LMAM) Craig, (1961), indicando que se trata de agua subterránea de origen meteórico. Los valores de las parejas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) para agua de lluvia registrada en 2007 varían desde (-12.2, -84.6) para las Vigas a 2440 msnm; hasta (-6.9, -51.5) para Coatepec a 1189 msnm; la firma isotópica del agua meteórica 2007 para Xalapa fue de (-7.3, -45.4). Las firmas isotópicas del agua descargada a través de manantiales forma un primer grupo que en promedio presenta los valores de (-7.4, -45.7); lo que implica que se trata prácticamente de la misma componente isotópica recargada por agua meteórica precipitada localmente y descargada a través de los manantiales, ya que el error analítico, según el laboratorio, es un poco menor a 0.2 para Oxígeno-18 y menor a 2 para Deuterio.

Pera el caso de los manantiales El Castillo y Tatahuicapan que conforman el segundo grupo, se aprecia que hay una diferencia de 1.2 ‰ en $\delta^{18}\text{O}$ y de 10 ‰ en $\delta^2\text{H}$ con respecto al promedio del primer grupo. Por otra parte, los valores medidos por el OIEA y los medios en la UNAM para la muestra de agua de lluvia de Las Vigas, son prácticamente los mismos.

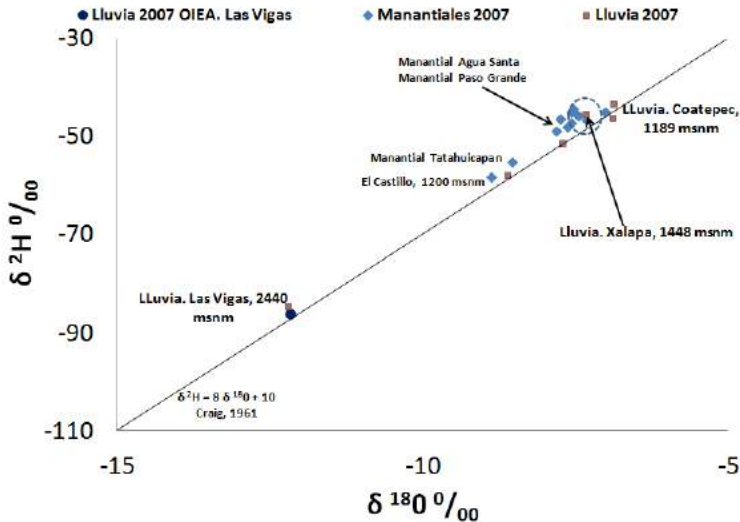


Figura 8. Se presenta en el eje de las abscisas a la $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ y en las ordenadas a la $\delta^2\text{H} \text{ ‰}$. En cuadros los pertenecientes a agua de lluvia para el año 2007 en diferentes puntos, dentro y fuera de la zona de estudio en un radio aproximado de 20 km de la ciudad de Xalapa y a diferentes altitudes. En rombos se presentan los valores isotópicos de algunos manantiales cercanos a Xalapa. Todos comparados con la Línea Meteórica Mundial Craig (1961). Fuente Juan Pérez Q.

Estos agrupamientos sugieren, que los manantiales Techacapan y El Castillo son una mezcla de dos componentes de agua meteórica, recargada a diferentes altitudes; una localmente y otra a mayor altitud, originando que un segmento de la LMAM se convierta en una línea de mezcla, donde proporcionalmente se observa que domina la recarga local (entre 70% y 80% aproximadamente). Esto se puede explicar debido a que Xalapa importa casi el 60% (1,060 l/seg) de agua originada a mayor altitud (3,000 msnm, Huitzilapan); la que se infiltra como agua residual o fugas de la red de agua potable, mezclándose con agua meteórica local y dando origen a esa firma isotópica.

Conclusiones

Las lavas del campo volcánico donde se emplazan los manantiales en análisis son altamente permeables y constituyen una zona de recarga de agua meteórica local. Bajo el desconocimiento de la distribución tridimensional de las lavas del CVMX y la Ignimbrita El Castillo (que tendrá que ser evaluado con técnicas geofísicas), se plantea que: el agua meteórica local se infiltra a través de las lavas del CVMX, hasta la zona de menor permeabilidad generada por la ignimbrita, originando una recarga. Cuando el nivel freático de este volumen de agua intercepta al nivel topográfico, se generan los manantiales.

La firma isotópica de los manantiales El Castillo y Tatahuicapan, así como sus características químicas, sugieren una mezcla de al menos dos componentes; agua local y otra proveniente de mayor altitud. Se infiere que la componente de mayor altitud es utilizada por la población, y en su forma residual, se infiltra a través de las lavas para formar parte del agua recargada al acuífero.

Lo anterior implica una vulnerabilidad muy alta de los manantiales a la contaminación de origen antrópico, la cual ya se ve reflejada en algunos manantiales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todas aquellas personas que nos permitieron acceder a su fuente de agua, al personal del Laboratorio de Isótopos Estables de la UNAM, al personal del Laboratorio de Química del Agua del CEGEO, UNAM y a los estudiantes que participaron en la toma de muestras y recorridos de verificación geológica.

Bibliografía

- Clemente, A., Paredes, C., 1997. Calidad de los manantiales de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Tesis. Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Veracruzana. p. 54
- Craig, H., 1961b. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702-1703.
- Custodio, E., Llamas, M., R., 2001. Hidrología subterránea. Segunda edición. Omega. p. 2350
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI., 2012. Censo de población y vivienda 2010.
<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mapatematico/default.aspx>
- Morales-Barrera W., 2009. Estudio geológico de un depósito ignimbrítico en la región de Xalapa, Veracruz: distribución, estratigrafía, petrografía y geoquímica. Tesis de Maestría, UNAM – Instituto de Geología, p. 143
- Rodríguez, S. R., Morales-Barrera, W., 2010. A quaternary monogenetic volcanic field in the xalapa region, eastern trans-mexican volcanic belt: geology, distribution and morphology of the Volcanic vents. *Journal of Volcanology and Geothermal Reserarch*.
- Salas-Ortega, R., 2010. Estudio geológico e hidrogeoquímico de un sistema de manantiales en la región de Xalapa, Veracruz. Tesis de Maestría, UNAM – Instituto de Geología, 100P.

Servicio Meteorológico Nacional., SMN., 2012. Normales climatológicas por estación.

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75

http://www.cinu.mx/minisitio/Programa_Conjunto_Agua/Estudio_xalapa_Agua_FAO.pdf

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>

CAPÍTULO 4

Comparación de los modelos Hidrológicos Globales y Semi-distribuidos

**Sara Patricia Ibarra Zabaleta
Mariana Castañeda González
Annie Poulin
Rabindranarth Romero López**

Introducción

Durante las últimas décadas se han presentado fenómenos hidrometeorológicos extremos que han aumentado la vulnerabilidad de los habitantes del planeta. Un ejemplo de esto es lo que ocurre en las cuencas centrales del Golfo de México que han soportado el 55.2 % de las inundaciones totales del estado de Veracruz desde 1999 a 2013, dejando cuantiosas pérdidas económicas, sociales y ambientales (Guzmán et al., 2011).

A pesar de la importancia que han cobrado las inundaciones en las últimas décadas, solamente las cuencas hidrológicas de mayor impacto cuentan con infraestructura hidrométrica. Por lo general, en las cuencas del sureste de México se tienen escasos pluviómetros instalados con alrededor de 30 años de observación, mientras que el número de estaciones climatológicas en operación va disminuyendo por diferentes motivos (Creel et al., 2001).

Considerando las deficiencias en los datos y la premura de prevenir más pérdidas debido a las inundaciones, es necesario desarrollar herramientas científicamente sustentadas para la correcta predicción de las avenidas e inundaciones. Una alternativa a esta problemática es el uso de modelos hidrológicos de simulación, por su posible operación a bajo costo y a la confiabilidad de los resultados que proyectan (Argota, 2011).

El objetivo de esta investigación es analizar el Modelo Hidrológico Global (MHG), MOHYSE, adaptado a las condiciones de países tropicales y compararlo con el Modelo Hidrológico Semi-distribuido (MHSD), HEC-HMS, para determinar su eficiencia en la respuesta hidrológica, a través del coeficiente Nash-Sutcliffe además de evaluar las ventajas de utilizar el MHG en condiciones tropicales y en regiones con escasez de datos meteorológicos e hidrométricos.

Metodología

Esta investigación se diseñó en cinco fases: 1) Recopilación y análisis de la información; 2) Determinación de la fisiografía de la cuenca por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y la extensión HEC-GeoHMS; 3) Aplicación de los modelos hidrológicos MHG y MHSD; y 4) Comparación de la respuesta hidrológica.

Recolección y análisis de la Información

Se consultaron fuentes oficiales de información para extraer y validar datos hidrometeorológicos y geográficos. Con estos datos, se elaboró una base geográfica, considerando los requerimientos de los modelos hidrológicos: MHSD y MHG que corresponden a la primera etapa del proyecto. Los datos climatológicos se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2013), los datos hidrométricos de la

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2013) para el mismo periodo. El modelo de elevación digital (MED), los datos de tipo y uso de suelos fueron suministrado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2013).

Determinación de la fisiografía por medio de SIG y HEC-GeoHMS

A partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y con el empleo de Sistemas de información geográfica (SIG), y sus extensiones (ArcHydro e Hydrology) que proporcionan funciones especializadas del SIG y HEC-GeoHMS, se obtuvo información que describe los patrones de drenaje de la cuenca, la delimitación de las subcuencas y la red hídrica (Nanía, 2007). Cabe señalar que la herramienta HEC-GeoHMS, se usa para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y compilación inicial de los datos del terreno (Pisani-Veiga, 2008). Esta extensión conecta al SIG con el software de simulación hidrológica HEC-HMS (Sifontes, Empresa, & Inrh, 2012).

Aplicación de los modelos

Los flujos de corriente diarias se calcularon utilizando el MHSD (HEC-HMS) y el MHG (MOHYSE). La Información meteorológica y geográfica se combinó para simular las respuestas hidrológicas.

El MHSD para la simulación de lluvia-escorrentamiento

El Hydrologic Engineering Centers Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) es un programa de dominio público de amplia utilización internacional, el cual provee una variedad

de opciones para simular proceso lluvia-escurrimiento, desarrollado por el United States Army Corps of Engineers (USACE, 2003).

Componentes del modelo HEC-HMS fueron utilizados para simular la respuesta hidrológica de la cuenca. Los componentes del modelo incluyen: modelo de cuenca, el modelo meteorológico, las especificaciones de control, y los datos de entrada. Las especificaciones de control incluyen el período y el lapso de tiempo de la ejecución de la simulación (Feldman, 2000).

El modelo de la cuenca: Representa la cuenca física, en este estudio, el modelo se desarrolla en HEC-GeoHMS como se describió anteriormente y se importó a HEC-HMS (Pacheco, 2012).

El modelo meteorológico: Calcula la entrada de precipitación requerida por cada elemento de la cuenca, puede utilizar la precipitación puntual o malla. En este estudio, se utilizaron los datos de precipitación puntuales y el método de los polígonos de Thiessen (Fernandez, 1995; Linsley, Kohler, & Paulhus., 1988; MOP, 1988; Pizarro T, Ramirez B, & Flores V, 2003) para determinar el Depth weights de los pluviómetros para tres subcuencas, el cual fue calculado por medio de un SIG.

Los datos de series de tiempo: Se obtuvieron los datos climatológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2013) para un periodo de 20 años (1990-2009) y los datos hidrométricos se obtuvieron de la estación 28108 denominada “Los Naranjillos” de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014), para el mismo periodo. El lapso de tiempo es diario para los datos hidrometeorológicos y se realizó una prueba de muestra dividida, Split-Sample test (SS) (Refsgaard & Knudsen, 1996) para la simulación, la calibración (1990-1999) y la validación (2000-2009).

El modelo MHG para la simulación de lluvia-escorrimento

El modelo hidrológico simplificado al extremo (MOHYSE), es un modelo hidrológico determinístico global o agregado (MGH), desarrollado de 2004 a 2006 por Vincent Fortin y Richard Turcotte (Fortin & Turcotte, 2007). Según Turcotte y Fortin (2006) el mayor éxito en la modelación hidrológica del MOHYSE, es dividir el problema en un conjunto de sub-problemas más simples al definir la cuenca, es decir, dividirlo en un conjunto de compartimentos donde las precipitaciones pueden alojarse antes o ser transportadas a la salida de la cuenca, o ya sea que se evapore y así volver a la atmósfera. El esquema de producción MOHYSE se puede considerar relativamente simple como mencionan sus autores. Sin embargo, es comparable en complejidad a la de los modelos utilizados para aplicaciones reales. Su simplicidad recae realmente en el modelado de cada uno de estos compartimentos.

La metodología de aplicación del MOHYSE

El MOHYSE necesita una estimación de: la Temperatura media durante un intervalo de tiempo (Δt) en Celcius, Lluvia (P_t) en mm/ Δt y Nieve (N_t) en mm/ Δt . (Fortin & Turcotte, 2007). En donde $M_t = (T_t, P_t)$ es el vector de las variables de entrada del modelo. Además de utilizar el área de la cuenca (B) y la latitud media (L), el modelo MOHYSE posee diez parámetros sujetos a la modelación.

Los parámetros (Tabla 1) que toma en cuenta el modelo, ordenados en tres partes, donde los primeros dos parámetros están en función del equivalente del agua de nieve; los siguientes seis forman parte del balance vertical y los últimos dos están en función del hidrograma unitario (HU) (Fortier, 2011).

Tabla 1. Parámetros del modelo MOHYSE (MHG). Están clasificados en tres grupos: El primero esta en función del equivalente del agua de nieve; el segundo y el tercero forman parte del balance vertical y del hidrograma unitario (HU).

Símbolo	Significado	Unidad
C_{ETP}	Coefficiente de ajuste de la evapotranspiración potencial	mm/ Δt
C_{TR}	Coefficiente de ajuste de la transpiración	(Δt) ⁻¹
C_t	Velocidad de deshielo	mm/Celsius/ Δt
T_f	Temperatura límite de deshielo	Celsius
C_{inf}	Tasa máxima de infiltración	mm/ Δt
C_{VA}	Coefficiente de drenaje de la zona vadosa hacia el acuífero	(Δt) ⁻¹
C_V	Coefficiente de drenaje de la zona vadosa hacia el curso del agua	(Δt) ⁻¹
C_A	Coefficiente de drenaje del acuífero hacia el curso del agua	(Δt) ⁻¹
A	Parámetro de forma del HU	Adimensional
B	Parámetro de escala del HU	Adim

En cuanto a los datos de salida el MOHYSE produce, a cada intervalo de tiempo, además del caudal en la salida (Q_t), es una estimación de: equivalente de agua de nieve de la capa de nieve (S_t) en mm, agua contenida en la zona vadosa (V_t) en mm, agua de los acuíferos provenientes de la zona vadosa (A_t) en mm, producción (HT) en mm/ Δt obtenida en la suma de el escurrimiento de la superficie ($H_t,1$), el flujo hipodérmico ($H_t,2$) y el flujo de base ($H_t,3$).

Adaptación del MHG a condiciones tropicales

El modelo para este estudio, es una adaptación del MOHYSE (Fortin & Turcotte, 2007), desarrollado para despreciar la salida del deshielo y se calibró a través del Shuffled Evolution Complex (SCE) de la Universidad de Arizona.

Comparación de la modelación del MHG y el MHSD

Para evaluar el rendimiento de los modelos de la prueba SS, se han establecido varios criterios con la finalidad de medir el ajuste de las series tiempo simuladas a las series de tiempo medidas. Se ha establecido un conjunto de criterios que comprenden una combinación de las siguientes representaciones gráficas y medidas numéricas: (1) hidrograma de caudal de los datos observados y simulados; (2) Scatter-plot de los datos observados vs. simulados de los caudales diarios (Lombardi, Toth, Castellarin, Montanari, & Brath, 2012); (3) Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (CE); (4) el coeficiente de variación (CV) y (5) el coeficiente de determinación (CD) (Chou, 2007).

El coeficiente de eficiencia (CE), está definido por:

$$CE=1 - \frac{\sum_{i=1}^N |q(i) - \hat{q}(i)|^2}{\sum_{j=1}^N |q(i) - \bar{q}|^2} \quad (1)$$

Donde $\hat{q}(i)$ es el hidrograma de escurrimiento simulado por un periodo de tiempo i (m^3/s), $q(i)$ es el hidrograma de escurrimiento observado por un periodo de tiempo i (m^3/s), \bar{q} representa el hidrograma de escurrimiento observado medio para un periodo de tiempo i (m^3/s) y N es el número de datos. El CE (ver Tabla 2) cuantifica la bondad de ajuste entre el hidrograma estimado y hidrograma observado. Para un mejor ajuste se indica mediante un CE que este más cercano a la unidad.

Tabla 2. Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe o Coeficiente de Eficiencia (CE). Fuente (Molnar, 2011)

CE<0.2	Ajuste insuficiente
0.2 - 0.4	Satisfactorio
0.4 - 0.6	Bueno
0.6 - 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

El coeficiente de variación (CV) se define como:

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\hat{q}(i) - q(i))^2}}{\bar{q}} \quad (2)$$

El coeficiente de determinación (CD), es la medida de la proporción de la varianza total de los datos observados explicada por los datos predichos:

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^N (q(i) - \bar{q})^2}{\sum_{i=1}^N (\hat{q}(i) - \bar{q})^2} \quad (3)$$

El valor óptimo de CD es 1, este coeficiente es útil para caracterizar caudales picos; valores entre $0 < CD < 1$ indica que el modelo es sobreestimado especialmente en los caudales picos, valores entre $1 < CD < +1$ indica subestimación del modelo. En la Tabla 2, se muestra los valores de referencia del Criterio de Nash-Sutcliffe o el CE.

Resultados

Descripción de la zona de estudio

La aplicación de la metodología anteriormente descrita, se ubica en la siguiente área de estudio (Figura 1) la cual se centra en las cuencas centrales de Golfo de México, entre las coordenadas 19° 30' latitud N; 96° 37' longitud W; 19° 30' latitud norte y 96° 37' longitud oeste. La altitud de esta región varía entre 4200 y 0 msnm. El área de captación estudiada se compone de la cuenca del río Actopan, que está compuesta por tres subcuencas (Sedeño, Ídolos y Actopan) que cubren aproximadamente 2089 km².

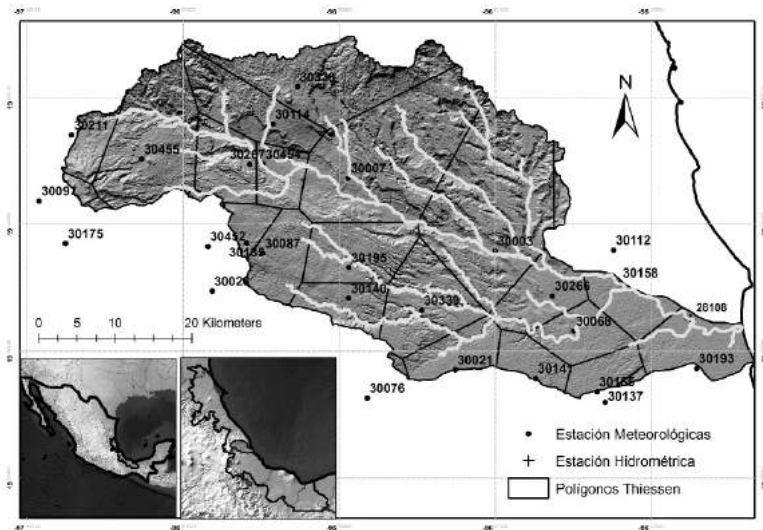


Figura 1. Localización del área de estudio (CCGM) y ubicaciones de las estaciones climatológicas e hidrométricas.

Fuentes (INEGI, 1993 y el INEGI, 2000).

Recopilación y análisis de la información

Los datos climatológicos se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2013) para un periodo de 20 años (1990-2009). El tamaño de la muestra quedó establecido por 27 estaciones climatológicas que cumplen con los criterios espacial y temporal. En la Tabla 3, se enlistan las estaciones seleccionadas, para la toma de datos hidrométricos se obtuvieron de la estación 28108 denominada “Los Naranjillos” de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2013) para el mismo periodo. El MED fue proporcionado en formato raster de un resolución 1:30,000; las capas utilizadas uso y tipo de suelo fueron proporcionados en formato shapefile de una escala 1:250,000 (INEGI, 2013).

Tabla 3. Información de las estaciones meteorológicas ubicadas en las CCGM, No. Estación meteorológica, Coordenadas geográficas Coordenadas UTM Zona UTM, Altitud (msnm) y Periodo de Información.

Clave	Longitud	Latitud	Altitud	Municipio	Fecha Inicial	Fecha Final
30003	3.063,848.23	844.397.55	250	ACTOPAN	05/01/48	31/12/09
30007	3.045,405.51	853,163.17	770	NAOLINCO	04/01/68	31/12/09
30021	3.059,464.06	826,801.96	420	EMILIANO ZAPATA	05/01/83	31/12/09
30026	3.029,169.97	837,919.23	1,252	COATEPEC	31/12/56	31/12/09
30068	3.073,860.51	834,376.02	100	ACTOPAN	03/01/59	31/12/09
30076	3.048,770.12	824,754.80	335	JALCOMULCO	31/12/56	03/01/09
30087	3.035,214.09	843,041.49	1150	XALAPA	05/01/40	31/12/09
30097	3.007,470.32	840,856.28	2980	PEROTE	02/01/60	03/01/09
30112	3.078,368.68	845,073.04	70	ACTOPAN	03/01/56	07/01/09
30114	3.035,863.64	859,842.98	1470	NAOLINCO	06/01/51	31/12/09
30137	3.078,139.97	825,304.36	110	PUENTE NACIONAL	02/01/60	11/01/09
30140	3.046,031.47	837,571.30	880	EMILIANO ZAPATA	31/12/64	31/12/09
30141	3.069,413.96	820,039.70	313	EMILIANO ZAPATA	31/12/16	31/12/09
30158	3.079,404.26	840,846.53	48	ACTOPAN	05/01/54	31/12/09
30165	3.077,041.02	826,612.01	144	PUENTE NACIONAL	04/01/52	31/12/09
30175	3.010,911.58	843,451.88	3,110	XICO	09/01/60	05/01/99
30193	3.069,106.51	830,121.93	28	LA ANTIGUA	31/12/36	31/12/09
30195	3.045,914.71	841,586.07	425	EMILIANO ZAPATA	04/01/61	08/01/09
30211	3.011,187.04	857,539.93	2400	LAS VIGAS DE RAMÍREZ	05/01/18	31/12/09
30266	3.071,070.45	838,841.31	110	ACTOPAN	11/01/70	31/12/09
30267	3.033,234.34	854,536.13	1000	JILOTEPEC	05/01/70	31/12/09
30268	3.033,191.53	844,286.05	1130	XALAPA	06/01/01	31/12/09
30338	3.038,737.08	864,792.20	1730	ACATLÁN	08/01/75	31/12/09
30339	3.055,068.39	836,369.83	580	EMILIANO ZAPATA	07/01/75	31/12/09
30452	3.028,441.77	843,721.30	1320	COATEPEC	06/01/60	31/12/09

Resultados de comparación de la respuesta hidrológica del MHG vs MHS D

En la Figura 2, se muestra el resultado global de la respuesta lluvia-escorrentía del comportamiento de la modelización con respecto al tiempo. Se realizó un análisis de los caudales simulados con respecto a los caudales observados, donde se observa simulación de los caudales picos, los valle en el tiempo y se evalúa su rendimiento CE (ver Tabla 2).

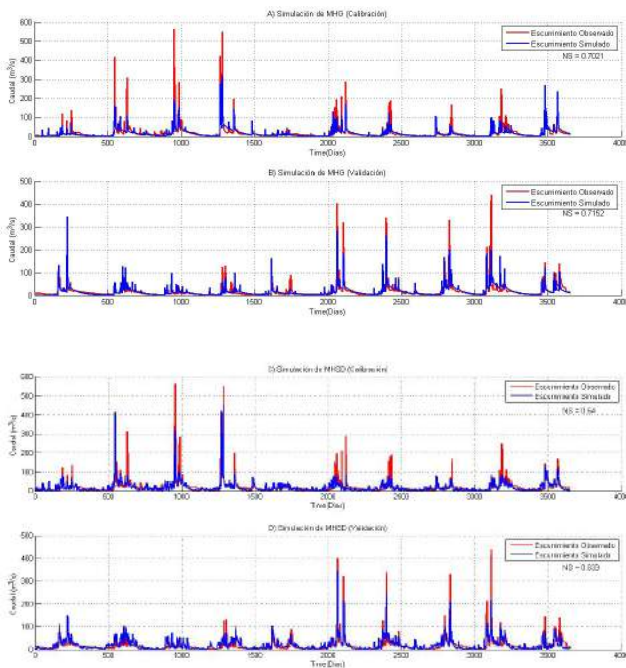


Figura 2. Comparación de la respuesta hidrológica del MHG y MHS D: (A y C) Calibración 1990-1999. (B y D) Validación 2000-2009. Fuente elaboración propia.

Las respuestas hidrológicas de los MHG y MHSD fueron comparadas cuantitativamente por varios tres criterios como se muestra a continuación (ver Tabla 4). Esta investigación se centra en los resultados estimados con la comparación de los datos observados (hidrométrica 28108), tanto para el periodo de calibración y validación.

Tabla 4. Criterios de evaluación para la respuesta hidrológica simulada para MHG y MHSD

Modelo Hidrológico		CV	CE	CD
MHSD	Calibración	1.609	0.6378	1.8416
	Validación	1.585	0.6044	1.1695
MHG	Calibración	1.649	0.7021	1.6091
	Validación	1.564	0.7120	1.2512

En la Tabla 4, se muestra el ajuste obtenido en la calibración y validación, de los tres criterios, donde se evalúan los rendimientos de la modelización del MHSD y del MHG para un periodo de calibración (1990-1999) y validación (2000-2009). Los resultados de la calibración muestran que el CE del MHG (con un valor de 0.7021, 0.71) es mejor que el MHSD (con un valor de 0.6377, 0.60). Sobre la base de los criterios de CD y CV el MHG tiene superioridad significativa sobre MHSD, muestra que ambos modelos están subestimados y especialmente el MHSD, debido a que no se ajusta de manera adecuada a los datos observados en los caudales valles y picos, que son de importancia en la prevención de inundaciones, sequías y eventos extremos, por lo que, el modelo condiciona su uso para el pronóstico. Además el MSDH muestra que reduce su capacidad de explicar los datos para el periodo de validación, debido a que los parámetros encontrados son óptimos para el periodo de calibración, a diferencia del MHG que aumentó su capacidad de explicar los datos para el periodo de validación, con lo que indica que tiene una mayor capacidad de pronóstico.

En la Figura 3, se indica que ambos modelos tienen una dependencia total entre las dos variables (hidrograma de escurrimiento simulado y el hidrograma de escurrimiento observado).

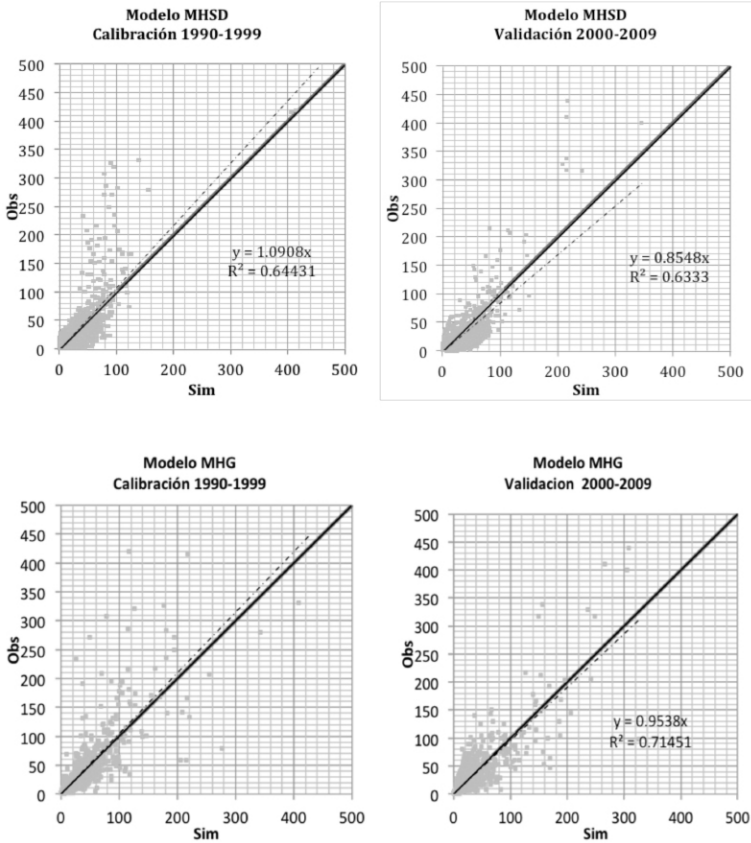


Figura 3. Scatter-plot de los datos observados vs simulados del caudal diario de los MHG y MHS. Fuente elaboración propia.

Partiendo de condiciones de entrada de datos iguales, los resultados indican que ambos modelos se ajustan adecuadamente a las condiciones tropicales de las cuencas centrales del Golfo de México. Sin embargo, el MHG obtuvo mejores índices en su respuesta hidrológica (ver Tabla 4) con respecto al MHSD, a pesar de que es la primera vez que se ha utilizado en México y en zonas tropicales.

Conclusiones

El objetivo de esta investigación se cumplió debido a que se pudo comparar el MHG (MOHYSE) con el MHSD (HEC-HMS) por medio del coeficiente Nash-Sutcliffe. Estos resultados permitieron evaluar las ventajas y limitaciones de cada uno de los modelos demostrando que el MHG es útil en condiciones tropicales, y en regiones con escasez de datos meteorológicos e hidrométricos.

El modelo Canadiense MHG (MHOYSE), se adecuó, aplicó y evaluó por primera vez en México y en un clima tropical y se obtuvo un coeficiente de eficiencia aceptable ante el fenómeno lluvia-escurrimiento, desarrollando ésta como una nueva herramienta para la modelación hidrológica.

Los MHSD y MHG se ajustan adecuadamente a las condiciones tropicales de las cuencas centrales del Golfo de México. Sin embargo, el MHG (MHOYSE) obtuvo mejores índices (ver Tabla 4) en su respuesta hidrológica con respecto al MHSD. Además el MHG se puede utilizar en estudios hidrológicos que no cuenten con información suficiente, como es el caso de muchas cuencas del país, se puede utilizar el MHG obteniendo resultados confiables.

Se comprobó que la utilización de modelos hidrológicos como herramientas de pronóstico, es una adecuada alternativa a bajo costo que permite la simulación de caudales que

pueden ser aplicados para la prevención de inundaciones causadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Con el uso del MHD y el MHSD se pueden generar escenarios, una vez calibrados, se exploran los impactos que tendrían en una serie de supuestos alternativos sobre las políticas futuras, hidrológicas, y clima. Asimismo se tiene una aplicación directa en la creación de mapas de riesgo, planificación urbanística, ordenación agro-hidrológica e impulsa la reducción del riesgo de desastre en razón de que es una herramienta indispensable para la promoción del bienestar, la protección de los recursos. Adicionalmente, la metodología desarrollada en esta investigación puede ser aplicada en cuencas que compartan condiciones similares en otras partes del mundo

Por otra parte, después de la evaluación de los resultados obtenidos y el proceso de aplicación de los diferentes modelos, se llegaron a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La calidad de simulación de cualquier modelo depende directamente de la calidad y cantidad de información disponible en el sitio de estudio, por ello, el modelo MHG presentó una ventaja debido a los pocos datos de entrada que se necesitan para aplicarlo;

- El MHG es una buena herramienta para la realización de pronósticos rápidos, ya que al requerir poca información para su aplicación, se pueden realizar simulaciones de manera rápida;

- Se propone mayor control, calibración y mantenimiento de las estaciones climatológicas e hidrométricas, el realizar esto los pronósticos mejorarían considerablemente al contar con mayor información de calidad;

- Se propone realizar un profundo análisis de los datos que se obtienen de las estaciones climatológicas e

hidrométricas, ya que a lo largo de ésta investigación se encontraron inconsistencias en series de datos que afectan las simulaciones hidrológicas u otras aplicaciones. Debido a este problema, se propone para trabajos futuros, la evaluación y análisis de las bases de datos de las estaciones meteorológicas de medición para conocer comportamiento que existe entre las diferentes variables de precipitación, temperatura y caudal;

Un punto muy importante es promover la generación de políticas públicas en las zonas en peligro, además de tener establecido un plan de ordenamiento urbano que permita disminuir el número de pérdidas humanas, así como de recursos económicos y ambientales. Por lo que se propone la realización de proyectos que permitan definir zonas de riesgo para informar a la población y evitar asentamientos que sean afectados ante la presencia de un fenómeno hidrometeorológico extremo.

Para futuras investigaciones se recomienda la aplicación e investigación de estas herramientas para resolver o a su vez, evitar problemas que afectan directamente a la población y al mismo tiempo al medio ambiente. Así como promover la investigación para mejorar la prevención de desastres ocasionados por diferentes fenómenos naturales que dejan graves pérdidas en la sociedad. De tal manera que permitan disminuir los efectos de este cambio.

Agradecimientos:

Agradecemos al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Veracruzana por su apoyo y patrocinio para realización de este proyecto.

Referencias

- Argota, T. (2011). *Simulación Hidrológica de la Cuenca del Rio Amajac, Estado de Hidalgo Aplicando el Modelo Swat*.
- Chou, C. (2007). *Applying multi-resolution analysis to differential hydrological grey models with dual series*. *Journal of Hydrology* (Vol. 332). <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.031>
- CLICOM. (2013). (Datos climáticos del CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional con gráficas del CICESE). Retrieved August 8, 2013, from <http://clicom-mex.cicese.mx>
- CONAGUA. (2014). Banco Nacional de Datos de Agua Superficiales (BANDAS). Retrieved January 1, 2014, from ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases_Datos_Bandas
- Creel, S., Segura, C., Quaas, Ro., Guevara, E., Sanchez, T., Ortiz, G., & Pimentel, C. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres)*. (O. Zepeda & S. González, Eds.) (Primera Ed). México: Centro Nacional de Prevencion de Desastres. Retrieved from <http://www.cenapred.unam.mx>
- Feldman, A. (2000). *Hydrologic Modeling System*. Retrieved from <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.aspx>
- Fernandez, F. (1995). *Manual de Climatología Aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Madrid, España.

- Fortin, V., & Turcotte, R. (2007). Le modèle hydrologique MOHYSE. *Recherche En Prévision Numérique, Environnement Canada*, 1–17.
- Guzmán, N. Z., Bonilla, J., Maza, R., Cerán, V., Delgadillo, C., Ferrer, J., ... Orozco, I. (2011). *Protección Civil. Programa Veracruzano de Educación 2011 - 2016*. Xalapa, Veracruz. México.
- INEGI. (2002). (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional). Retrieved August 1, 2013, from http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial_serieii.aspx
- _____. (2013). (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) Cartas de uso del suelo y vegetación , Datos vectoriales escala 1:250 000 serie V. Retrieved August 8, 2013, from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/ususuelo/Default.aspx>
- _____. (2014). (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) Conjunto de datos Vectoriales de la cartatopográfica E14b27,E14b28,E14b26,E14b17, E14b18 y E14b16 Escala 1:50,000. Retrieved January 1, 2013, from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>
- Linsley, R., Kohler, M., & Paulhus., J. (1988). *Hidrología para Ingenieros*. (2a Ed.). Latinoamericana, D. F. México.
- Lombardi, L., Toth, E., Castellarin, A., Montanari, A., & Brath, A. (2012). Calibration of a rainfall–runoff model at regional scale by optimising river discharge statistics: Performance analysis for the

- average/low flow regime. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 42-44, 77–84. <http://doi.org/10.1016/j.pce.2011.05.013>
- Magaña, V. (2010). Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones, 79.
- Molnar, P. (2011). “Calibration”. *Watershed Modelling*. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland. *Watershed Modelling*.
- MOP, D. (1988). *Balance Hídrico de Chile - 1987*. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.
- Nanía, L. (2007). *Manual Básico de HEC-HMS 3.0. 0 y HEC-GeoHMS 1.1*. Universidad de Granada-España. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Manual+Básico+de+HEC-HMS+3.0.0+y+HEC-GeoHMS+1.1#0>
- Pacheco, R. (2012). *Modelación Hidrológica con HEC-HMS en Cuencas montañosas de la región oriental de Cuba*. Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones.
- Pisani-Veiga, B. (2008). *Acoplamiento de modelos hidrológicos semidistribuidos y sistemas de información geográfica*. Universidad de La Coruña.
- Pizarro T, R., Ramirez B, C., & Flores V, J. P. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Bosque (Valdivia)*, 24(3), 31–38. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002003000300003>

- Refsgaard, J. C., & Knudsen, J. (1996). Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. *Water Resources Research*, 32(7), 2189–2202. <http://doi.org/10.1029/96WR00896>
- Sifontes, V. E., Empresa, I., & Inrh, R. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba Hydrological modeling with HEC-HMS in mountainous basins of, *XXXIII*, pp. 94–105.
- SMN. (2013). Servicio Meteorológico Nacional. Retrieved January 17, 2014, from http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75
- USACE. (2003). USACE 2012. Retrieved March 21, 2014, from <http://www.hec.usace.army.mil/about/>
- Wagener, T., Boyle, D. P., Lees, M. J., Wheater, H. S., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (2001). A framework for development and application of hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5(September 2000), 13–26. <http://doi.org/10.5194/hess-5-13-2001>
- _____, T., Lees, M. J., & Wheater, H. S. (2002). A toolkit for the development and application of parsimonious hydrological models. *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology - Volume 2*.
- _____, T., Wheater, H., & Lees, M. J. (2004). Monte-Carlo Analysis Toolbox User Manual.

CAPÍTULO 5

El enfoque de la complejidad: las Ciencias de la Tierra y su relación con la Sociedad

María del Socorro Menchaca Dávila

Introducción

En el contexto de las Ciencias de la Tierra, cualquier objeto de estudio que implique su relación con la sociedad se ubica dentro del ámbito de la complejidad, y por ello, se requiere desarrollar metodologías que permitan identificar las convergencias y/o relaciones entre las aportaciones de las distintas disciplinas, que se reúnen para su estudio o abordaje, y para diseñar respuestas viables para la solución de la problemática que de ahí deviene, bajo el método científico (ver Menchaca y Bello 2015).

El trabajo académico relacionado con objetos de estudio complejos, tiene doble énfasis, ya que por una parte nos remite a un quehacer científico que es desde hace siglos primordialmente disciplinario, fragmentado, especializado; y por otra parte, muestra la necesidad de buscar lo que está unificado, interconectado, o interrelacionado, lo que implica nuevas formas de comprender los fenómenos, el devenir de las problemáticas y diseñar respuestas útiles en su contexto

de aplicación, pero también producir conocimientos en el ámbito de la ciencia básica.

En este capítulo, se hace énfasis a la función de investigación de objetos de estudio en el contexto de las Ciencias de la Tierra, en cuanto al cambio de los modos de producción del conocimiento bajo el enfoque de la complejidad y el desarrollo de metodologías interdisciplinarias. Se pondera la relevancia de dicha función, dado el papel que tiene el valor social y económico del conocimiento, además de ser un factor clave para comprender los efectos del desarrollo de las actividades humanas y su relación con la naturaleza, y el desarrollo de los países y las regiones del mundo.

1. El enfoque tradicional para abordar los fenómenos

Las instituciones de educación superior (IES), son los ámbitos a los que tradicionalmente la sociedad les confiere la labor de la producción o generación de conocimientos, entre otros quehaceres sustantivos. Las IES o universidades contemporáneas viven ahora una paradoja en donde se reconoce la importancia de su labor ante la sociedad, pero se hace evidente la necesidad de que las distintas áreas del conocimiento y sus disciplinas, como en el caso de las Ciencias de la Tierra, se reorganicen con respecto a los procesos y procedimientos regulados por la producción de conocimiento, su transmisión, transferencia y circulación, sobre todo en aquellas áreas en donde generalmente se presentan problemáticas que se consideran complejas.

La relación entre el hombre y la naturaleza requiere construir conocimientos dirigidos hacia problemáticas complejas, donde se consideren los fenómenos sociales, económicos y ambientales, bajo la visión de su interrelación e interdependencia. Esta relación de las sociedades humanas

con la naturaleza puede representar a una amplia gama de problemas, por ello, se hace necesario que se diversifiquen los modos de producción de conocimiento. Si bien la Universidad Pública puede continuar con la fundamental labor de construir conocimientos disciplinarios en todas sus vertientes científicas, humanísticas y artísticas, también debe diversificar las modalidades de producción de conocimiento, para que se atiendan con mayor amplitud y certeza las problemáticas ambientales.

El problema es que la investigación y formación de recursos humanos son básicamente disciplinarias, ya que, la organización académica pondera su desarrollo, es decir, está configurada de acuerdo con las disciplinas tradicionales. Generalmente son escasos o nulos los espacios, entidades o núcleos académicos que principalmente desarrollen conocimientos interdisciplinarios orientados hacia áreas de conocimiento prioritarias para el desarrollo socioeconómico de una región, estado y/o país. Lo anterior, en muchas ocasiones no permite incidir de manera adecuada en la construcción de conocimientos orientados a problemáticas complejas, que requieren de la concurrencia y abordaje de distintas disciplinas, para encontrar soluciones eficientes y eficaces.

Actualmente, el avance del conocimiento establece la necesidad de reconocer que existen sistemas complejos que integran los fenómenos naturales y sociales, entre otros, por ello, se requiere desarrollar metodologías específicas que permitan investigar problemáticas complejas, en donde los fenómenos están imbricados. Lo anterior resulta ser un problema en las instituciones del nivel superior públicas, ya que en términos generales:

a. El desarrollo de las actividades académicas son preponderantemente disciplinarias, como se mencionó anteriormente, y de ahí deviene que los conocimientos

sean disjuntos, tabicados, compartimentados, cuando por el contrario, la realidad y los problemas derivados son cada vez más poli-disciplinarios, multidimensionales, transnacionales, globales y planetarios (ver Morin, 2000). En adición a lo anterior, las entidades disciplinarias generalmente no cuentan con profesionales o expertos que abarquen diversos campos del conocimiento, es decir, núcleos multidisciplinares, lo que dificulta la labor académica basada en la investigación científica de sistemas complejos;

b. El trabajo disciplinario que se realiza en las entidades académicas es fundamentalmente individual, y por ello, existen dificultades para desarrollarlo en grupo y/o colectivamente, ya que a nivel institucional se pondera el trabajo individual en cuanto a las formas de organización, registro, evaluación, entre otros;

c. Los académicos generalmente no han tenido la experiencia necesaria para diseñar y desarrollar metodologías interdisciplinarias que permitan investigar sistemas complejos mediante formas de organización y procedimientos específicos, los cuales son diferentes a los esquemas tradicionales disciplinarios, formas de organización, gestión y administración institucional.

Sí la sociedad demanda o requiere que se aporten soluciones diversas a los problemas complejos, las instituciones de educación superior deben diversificar los procesos de construcción y transferencia de conocimientos, mismos que deben ser interdisciplinarios, para que las IES logren proponer soluciones a las problemáticas complejas de la sociedad y su relación con el medio ambiente, para poder cumplir con su pertinencia social con calidad. Cabe señalar que, lo anterior no implica que dichas instituciones dejen de formar profesionales, generen conocimientos y los distribuyan a la sociedad mediante las disciplinas

tradicionales, sino más bien que diversifiquen los modos de producción formación y/o transferencia del conocimiento.

2. Historia de la complejidad de los fenómenos

En la ciencia han cambiado muchos factores, mismos que pueden devenir de su propio desarrollo, sin embargo, permanece la simplificación de los objetos de estudio, en donde se incluyen también los de las Ciencias de la Tierra. Desde que Galileo, Descartes y Newton conjeturaran e inventaran la disciplina de la física han sido simples los objetos descritos por la ciencia, muy simples las leyes y simplísimas sus expresiones matemáticas y la lógica, así, de acuerdo con Jorge Wagensberg (1985):

“De tal simplicidad se deduce buena parte de su prestigio: rigor, universalidad, incluso belleza. El mérito de las ciencias de la naturaleza consistía en captar la esencia simple e inmutable, pero emboscada tras apariencias superfluas y cambiantes. Se ha querido ver en la complejidad un obstáculo interpuesto por la naturaleza para proteger el secreto de sus leyes, un obstáculo con la misión de sugerir diferencias entre sistemas iguales, varios fenómenos donde sólo hay uno, o ciertos modelos allí donde reina una única ley natural...(así) Planeaba ya Descartes en su *Discurso del Método*: <Empecemos con los sistemas más simples y de más fácil discernimiento para ascender después gradualmente a la comprensión de los más complejos> Se trata sí de un reconocimiento de lo complejo, pero con tendencia a sugerir que las leyes de lo complejo se obtienen cambiando hábilmente las de lo simple.”

Podemos decir que la complejidad se ha encontrado revestida por una historia negativa en el pensamiento occidental; ha aparecido como un enemigo a combatir en la historia del pensamiento científico, incluso en ocasiones

el progreso de la ciencia se encuentra asociado a la batalla, explícita o implícitamente, establecida contra la complejidad.

Si bien, esta situación ha tenido la virtud de proporcionar buena parte del saber acumulado en el mundo, Ilya Prigogine (1994), dice que estamos todavía en la prehistoria de la ciencia, “Creo que estamos al comienzo de la ciencia, sólo comenzamos a ver la complejidad del mundo. La ilusión que antes teníamos provenía de la elección de objeto que habíamos hecho (por ejemplo, el péndulo), y luego extrapolábamos esos objetos simples para referirnos al mundo como totalidad. Esto ha causado confusión durante mucho tiempo, porque muchas de las cosas que hemos descubierto ahora podrían haber sido descubiertas mucho antes.” La tarea de la ciencia preponderantemente analítica, se ha dado a la tarea de aislar las causas, y reducir lo real a unidades pequeñas, y dar cuenta de ellas. Actualmente, la complejidad está asociada con la realidad, con lo real. Como dice Ignacio Inzuzquiza (1990), la realidad representa a la complejidad misma, es el máximo ejemplo de complejidad.

Reconociendo que en la relación de los fenómenos naturales (objeto de estudio de las Ciencias de la Tierra) y los de las Ciencias Sociales (objetos de estudio que se pueden ubicar en la relación del hombre y/o sociedad con el medio ambiente), pueden confluir conjuntamente en un complejo entramado, resulta interesante ejemplificar brevemente, el conocimiento que abarca la termodinámica clásica y la moderna, en donde se ubica un avance significativo en el proceso de comprender la complejidad.

Clausius y Boltzmann, forjaron el inicio de una línea perceptible que ha conducido al entendimiento de lo complejo, estableciendo los principios y leyes fundamentales de la termodinámica clásica, así ésta aparece como la

ciencia del equilibrio de los sistemas, es decir, una ciencia de los estados finales, de los estados homogéneos de los fenómenos, que sólo sufren cambios reversibles y donde nunca aparece explícitamente el factor tiempo.

En un segundo rizo, en un segundo movimiento hacia lo complejo, se tiene la termodinámica moderna en donde ya aparece el no-equilibrio en los sistemas, los procesos irreversibles y la heterogeneidad de sus componentes. Es decir, un sistema complejo se concibe en un no-equilibrio que significa la profusión de diferentes equilibrios generada por sus componentes, y la heterogeneidad como una población de homogeneidades distintas.

A partir de la breve síntesis sobre la termodinámica, la que es considerada como el *alma mater* de los sistemas complejos, se puede decir en términos generales, que un sistema se concibe como un conjunto de elementos o componentes heterogéneos que están relacionados con una red causal, de tal manera que cada componente está relacionado con otros, en un lapso de tiempo dado. Y, podemos agregar que desde su origen, el significante de lo complejo establece la confluencia del conjunto de las partes que conforman el sistema. Abordar la complejidad ha implicado el desarrollo de un pensamiento que busca distinguir las partes que conforman el sistema, pero también implica reconocer aquello que las une, lo que busca su complementariedad (Menchaca, 2003).

3. Sobre la complejidad, sistemas complejos, Ciencias de la Tierra y Sociedad

Iniciamos este apartado exponiendo que la definición de la complejidad representa un problema de conocimiento, ya que pueden existir tantas definiciones de ésta, como áreas de conocimiento o investigadores que se dedican a su

estudio. Por ello, es importante que se abran espacios en las instituciones del nivel superior con el propósito de estudiar e investigar la complejidad, y a su vez que se abran largos debates sobre el concepto, etc.

Sí la complejidad está relacionada con el proceso de comprender el mundo que es complejo y los múltiples fenómenos que están imbricados en la realidad, entonces las dificultades provienen de distintos ámbitos, por ejemplo: las facetas relacionadas con el quehacer científico que se consideran problemáticas o que ya están resueltas; la adquisición de la información sobre el mundo para conocer su estado actual y el diseño de modelos sobre cómo se comportan los fenómenos; la construcción de métodos que nos permitan inferir su estado y su funcionamiento, entre otros.

Para comprender la complejidad, se toma como base a los sistemas, así para Ludwing von Bertalanffy (1995), éstos están circunscritos en una complejidad organizada, merced a interacciones fuertes a interacciones no triviales; Edgar Morin (1983), por su parte afirma que, “Todo sistema constituye una unidad compleja que comporta diversidad y multiplicidad, antagonismo incluso. Los <<sistemas vivientes>> y el sistema de la vida en su conjunto (ecosistema, biosfera) dan un sentido pleno al término de lo complejo: *plexus* (entrelazamiento) procede del *plexere* (trenzar). Lo complejo -lo que está trenzado conjuntamente- constituye un tejido estrechamente unido, aunque los hilos que lo constituyen sean extremadamente diversos. La complejidad viviente es sin duda una diversidad organizada.”

La relación intrínseca entre complejidad y sistemas es la base de la *Teoría de los Sistemas* y sus propósitos son definidos por Ludwing von Bertalanffy (1995), como es construir un lenguaje, información y significación común entre los conocimientos derivados de las distintas disciplinas

y/o ciencias, ya que: la tendencia general de integrar las varias Ciencias Naturales y Sociales, que parece girar en torno a la *Teoría General de los Sistemas*, se establece de acuerdo con elaborar principios unificadores que corren <verticalmente> por el universo de las ciencias, esta teoría pretende acercarnos a la unificación de todas las ramas de la ciencia, lo que puede conducir a una integración, que hace mucha falta, en la instrucción científica.

Von Bertalanffy propone la necesidad de reorientar el conocimiento por el rumbo de la *Teoría General de los Sistemas*, la que opera en sentido inverso a la tendencia histórica de una especialización creciente. De esta manera, como lo establece Santiago Ramírez (1999), “En una palabra, mientras que en un pasado relativamente reciente la ciencia se ocupaba de reducir los fenómenos a la interacción entre sus partes “elementales” (elementales en tanto que se les suponía aislables unas a las otras, investigables por sí mismas, etc.) hoy el énfasis se coloca en las nociones de la totalidad y jerarquía, en problemas de organización, en problemas que no pueden reducirse sólo a acontecimientos locales, en relaciones que surgen en la totalidad y que no son manifiestas en el comportamiento de las partes.”

Podemos decir que el cambio que se propone en la *Teoría General de los Sistemas* es transmutar la tarea de la ciencia y/o de las disciplinas, en cuanto a la acción fuertemente adherida al simple análisis en donde se aíslan “trenes” causales y se reduce lo real a unidades más pequeñas y simples. Esto ha sido insuficiente y como consecuencia han aparecido conceptos dentro del principio de organización de la *Teoría General de los Sistemas* ajenos a la ciencia clásica, como son: organización, totalidad, crecimiento, diferenciación, orden, jerarquía, dominación, control, competencia que con un análisis principalmente cualitativo puede producir teoremas para la noción general

de organización. Esta noción aparece en Von Bertalanffy (1995), quien la llama “teoría interdisciplinaria” de la que se destaca lo siguiente:

La unificación de las disciplinas no ha sido posible mediante la reducción de todas ellas a la física, sin embargo, la *Teoría General de los Sistemas* permite pensar en la posible unificación de la ciencia mediante la noción de isomorfismo entre los diferentes campos del conocimiento, es decir, mediante una uniformidad estructural. La anterior visión es llamada por Bertalanffy “perspectivismo” y está acompañada por una propuesta educativa, que no trata a las diferentes ciencias como dominios separados, sino que formará y preparará científicos generales y desarrollará principios básicos interdisciplinarios.

Cabe señalar que la *Teoría General de los Sistemas*, establecida por el autor, subraya la importancia que debe tener para los académicos, estudiosos e investigadores de los sistemas complejos de contar con una “herramienta” teórica –conceptual, como dicha teoría, para investigar los sistemas complejos, que les permita acceder a un metalenguaje como el medio para que las diferentes disciplinas puedan comunicarse a un nivel “general” y posibilite la creación de un nuevo conocimiento.

Lo anteriormente expuesto aparece como marco general y básico para abordar en concreto el concepto de sistemas complejos, el que se establece bajo la perspectiva constructivista, la cual parte de una visión particular en donde el sujeto aparece en el centro de la construcción del sistema complejo. En el sentido anterior, Rolando García (2000), establece que se fundamenta la concepción de la construcción del conocimiento desde la perspectiva que considera la relación de sujeto y objeto de conocimiento como indisoluble, o sea no sólo se transforma el objeto con la actividad del sujeto, sino que también se transforma

la posibilidad de actuar sobre él y entra ahí una de las fases más importantes de las formas constructivistas: las transformaciones.

En este sentido, se pondera la acción que el sujeto académico/investigador hace para construir la complejidad en un objeto de estudio y se establece la estrecha relación entre el sujeto y objeto de estudio en una relación subjetiva y, concreta también, en el proceso de generación de conocimiento relacionado con los sistemas complejos, mediante enfoques no disciplinarios ya que para investigar dichos sistemas y/o problemáticas complejas, explicar la realidad del mundo y los fenómenos, se requieren enfoques que permitan concebir una visión que integre los diversos aspectos que conforman las áreas de conocimiento ambiental, social y económica, es decir que, los problemas complejos requieren más que el conocimiento de una o varias disciplinas, para su comprensión.

A partir de lo expuesto, se establece que el hombre y/o la sociedad dependen de los recursos naturales y que también son afectados o influenciados directamente por los fenómenos que ocurren en el planeta como pueden ser: los procesos geológicos, los patrones y cambios climáticos, los terremotos, erupciones volcánicas, huracanes, inundaciones, entre otros. Así mismo, los individuos y/o las sociedades con el desarrollo de sus actividades impactan y afectan a la Tierra, a sus ecosistemas con el aumento en la demanda de recursos naturales, la contaminación, la extracción, el uso no racional de estos recursos, los patrones de consumo, entre otros, creándose problemáticas complejas que se deben comprender, analizar, plantear y resolver, bajo nuevos enfoques que permitan establecer la interrelación e interdependencia entre los componentes de un sistema complejo como son lo ambiental, social y económico.

En dicho contexto delimitamos específicamente a aquellos objetos de estudio de las Ciencias de la Tierra que se relacionan con la sociedad, y que se ubican en el marco de los problemas ambientales, este es el foco de atención. De acuerdo con Rolando García (1994), ahí pueden estar involucrados aspectos del medio físico-biológico, los relativos a los modos de producción, la tecnología, la organización social, la economía, entre otros. Y esos objetos de estudio, se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones establecen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada, la cual el autor denomina como sistema complejo, y en dicha condición, se requiere siempre de una verdadera articulación de diversas disciplinas involucradas en un objeto de estudio, por ello, se requiere el desarrollo de una investigación interdisciplinaria.

Cabe señalar, que no todos los objetos de estudio en las Ciencias de la Tierra requieren del desarrollo interdisciplinario, como lo establece el mismo autor, quien al respecto explica que cuando un químico, por ejemplo, está investigando la composición de una sustancia química, aunque requiera del conocimiento de otras disciplinas o técnicas para lograr su propósito, lo que está haciendo es la utilización de conocimientos multidisciplinarios, lo que no significa que su trabajo sea de carácter interdisciplinario. Se define entonces aquí, que la interdisciplina es un proceso de construcción de conocimientos que implica la acción de unir, articular, integrar y/o relacionar el conocimiento, o sea, establece la interacción de ciertas disciplinas con otras. Lo interdisciplinario establece un punto de intersticio donde varias disciplinas están involucradas alrededor de un objeto de estudio, establecido como un sistema complejo (Menchaca 2003).

Además de lo anterior, se subraya también que la disciplina y el conocimiento que se deriva de las especialidades es el “ingrediente principal” para la construcción de conocimientos en otras modalidades o enfoques, es decir que, como puede parecer lógico, no es posible construir conocimientos en otros enfoques multi o interdisciplinarios, etc., sin el conocimiento que aportan las distintas disciplinas y/o especialidades al estudio y/o investigación de un objeto de estudio.

Se destaca la importancia de desarrollar metodologías interdisciplinarias en objetos de estudio que lo requieren, con el propósito de comprender y aportar soluciones a las problemáticas complejas, esto se considera fundamental, ya que en el contexto de lo socio-ambiental o ambiental, sin desarrollar lo expuesto, los fenómenos que ocurren no son comprendidos en su totalidad o las soluciones que se proponen serán parciales, esto de acuerdo a la aportación del fragmento y/o sector de los conocimientos disciplinarios que intervengan.

En el área de conocimiento de las Ciencias de la Tierra, uno de los objetos de estudio que se ubica dentro del enfoque de complejidad, es el estudio de las cuencas y la gestión y manejo de los recursos hídricos, cuyo propósito puede ser la comprensión del ciclo natural y antrópico del agua en una localidad, región, etc., para de ahí proponer políticas, estrategias y acciones. Una cuenca puede ser un sistema complejo que integra los componentes de lo ambiental, social y económico, ya que ésta se define como el espacio limitado que incluye desde los aspectos que abarcan las formas geológicas de la Tierra que captan, concentran y distribuyen los distintos flujos hídricos, que provienen de las precipitaciones de la región, hasta los aspectos relacionados con los ecosistemas, los seres humanos que habitan espacios y territorios, así como los relativos a la economía en cuanto

a los sistemas y modos de producción de bienes y servicios (Menchaca y Bello 2014).

En lo específico, las problemáticas complejas en cuencas inciden en múltiples ámbitos tanto en el ciclo del agua natural como en el antrópico, es decir, la disponibilidad del recurso; la distribución; el uso en cuanto a la oferta y demanda de los usuarios del agua y el uso racional del recurso, sobreexplotación y desperdicio; y la gestión que integra las fases de desalojo, tratamiento de aguas servidas y reciclaje. Además, están los fenómenos relacionados con la disponibilidad en cuanto a su cantidad y calidad del agua, los relativos a la conservación de los ecosistemas en las cuencas, los factores antrópicos que afectan a los servicios ambientales, los desastres naturales como son inundaciones y sequías, entre otros. Lo anterior, hace que las Ciencias de la Tierra se articulen con la sociedad para brindar soluciones y definir estrategias que permitan la solución de los problemas que de ahí devienen, mediante el desarrollo de metodologías interdisciplinarias. Esto tiene el propósito de asegurar que el estudio de los fenómenos que ocurren en las cuencas, sean comprendidos de manera holística y que se aporten soluciones eficientes a lo largo del tiempo.

Se señala además, que el abordaje sistémico es el punto clave y de partida para homogeneizar la visión del sistema, lo que significa reconocer que la gestión para el manejo integral de una cuenca, implica incidir en problemáticas complejas (o situaciones complejas), las que están determinadas por la confluencia de múltiples factores que interactúan y pueden ser interdependientes, de tal manera que no es posible aislarlos o explicarlos “sumando” los estudios parciales que realicen distintos especialistas de manera independiente. Lo anterior, se fundamenta en que los fenómenos que ocurren en una cuenca, como se ha mencionado, involucran distintos aspectos del medio físico-biológico, la organización social, la economía, la

producción, la tecnología, los factores antropogénicos y su relación con los servicios ambientales, etc., lo que implica a su vez la confluencia de múltiples procesos (en los que pueden intervenir diversos campos de conocimiento), cuyas interrelaciones constituyen la estructura del sistema que funciona como totalidad organizada, y es lo que se define como un sistema complejo (Menchaca y Bello 2014).

Con base en lo establecido, el estudio de una cuenca y la comprensión de la problemática para su intervención, entre otros ámbitos de conocimiento de las Ciencias de la Tierra, requieren de la confluencia de múltiples disciplinas para determinar objetos de estudio como sistemas complejos y desarrollar metodologías interdisciplinarias, cuestión que se establece a continuación.

4. La metodología interdisciplinaria para objetos de estudio complejo en Ciencias de la Tierra

La diversificación de los modos de producción para investigar objetos de estudio que se ubiquen en el contexto de la complejidad tiene su eje en el desarrollo del enfoque interdisciplinario, ya sea en las Ciencias de la Tierra o en otras áreas de conocimiento que sea necesario, como se ha venido mencionando, cuestión que es amplia debido al carácter que tiene el procedimiento metodológico. A continuación, se presentan sólo algunos factores en términos generales, mismos que se consideran indispensables para el desarrollo de dichas metodologías:

1. Un equipo de trabajo que se plantea producir conocimientos en el ámbito de la complejidad, debe ser heterogéneo, multidisciplinario, con profesionales y/o expertos en las distintas disciplinas relacionadas con el objeto de estudio que se pretende investigar. Generalmente los ámbitos disciplinarios se ubican en las áreas de

conocimiento de las Ciencias Naturales/Ambientales, Sociales y Económicas.

2. El planteamiento de las preguntas iniciales sobre la problemática por parte de los expertos de las distintas disciplinas, determina el objeto de estudio en cuanto al contexto y amplitud del sistema complejo, y posibilita también, el establecimiento del marco epistémico sobre el cual descansarán las bases teórico-conceptuales y metodológicas, así como los valores que guiarán y sustentarán la problemática a incidir.

3. El desarrollo interdisciplinario - en el contexto de los Ciencias de la Tierra relacionado con la sociedad y/o los problemas socioambientales - tiene una mayor responsabilidad ética y reflexiva, sobre todo aquellos conocimientos que se producen en el marco de su aplicación, ya que requieren de una mayor sensibilidad y análisis sobre las repercusiones de los resultados de la investigación; y también porque los científicos y/o tecnólogos son agentes de cambio desde la definición de los problemas hasta su solución, conjuntamente con los actores que viven los problemas que son complejos. Por ello, se tiene la responsabilidad indiscutible de brindar respuestas viables e innovadoras que incluyen los valores de los grupos o personas inmersas en la demanda de conocimiento que se establece.

4. En la producción del conocimiento en el contexto de la complejidad ubicado en el ámbito de las Ciencias de la Tierra y los problemas socioambientales, incluye procesos de negociación continua con las diversas partes actoras: instituciones pares, sectores productivos, industria, gobierno, sociedad o actores sociales, ya que el desarrollo interdisciplinario establece la necesidad de una negociación permanente con los interesados.

5. El grupo de trabajo puede contar con una estructura de comunicación horizontal, descentralizada y puede contar con un líder o líderes que saben delegar autoridad y son sensibles al clima del grupo. La principal función del liderazgo, es crear las condiciones que permitan tanto la participación permanente de los expertos que integran el grupo -los que pueden pertenecer a diversas instituciones u organismos nacionales o internacionales- como la de los interesados relacionados con la problemática que es el objeto de estudio y/o de intervención; así también tienen la función de constituir y hacer funcionar las redes interinstitucionales de colaboración, y la gestión de los recursos financieros.

6. Si bien el método científico se ha distinguido por ponderar lo objetivo, lo observable y lo posible a cuantificar, actualmente la creatividad, el desarrollo de la intuición, la inclusión de lo subjetivo/cualitativo, y la no separación entre el sujeto y objeto de conocimiento, han surgido como herramientas heurísticas indispensables para la producción de un nuevo conocimiento científico y/o tecnológico.

7. Bajo el entendimiento que un sistema complejo está conformado por disciplinas de distintas áreas de conocimiento, que representan o abarcan componentes del sistema complejo en el que se incide, tienen la misma importancia, es decir, que para desarrollar la interdisciplina no es posible admitir imperios disciplinarios.

8. En el procedimiento de construir conocimientos, en un objeto de estudio comprendido como sistema complejo, no es posible que se hagan imperios disciplinarios, esto es que alguna disciplina tenga mayor importancia que otra. Esta es una condición fundamental para que se articule el conocimiento de las disciplinas relacionadas con el objeto de estudio.

Se considera que lo anteriormente establecido, es necesario para que se construyan conocimientos interdisciplinarios y surja una nueva cualidad, la que se ubica en los saberes que son útiles para la sociedad, ya que puede aportar soluciones a problemáticas complejas ubicadas en la relación del individuo y/o sociedad con el medio ambiente. Esto es indispensable para que las instituciones de educación superior cumplan con pertinencia y calidad su misión para con la sociedad.

Conclusiones

Para que la interdisciplina se desarrolle con eficacia y eficiencia es necesario incluir y apoyar en la organización académica universitaria espacios, núcleos y/o centros, programas y proyectos dirigidos a áreas de conocimiento que requieran necesariamente la generación de conocimientos interdisciplinarios. Lo anterior, permite desarrollar una “nueva cultura” de producción de conocimientos la que es difícil desarrollar en esquemas reticentes al cambio como son las modalidades unidisciplinarias o multidisciplinarias.

Este cambio en la organización académica requiere también transformaciones en todos los niveles administrativos, para apoyar con eficiencia la construcción de conocimientos y su transferencia a la sociedad bajo la modalidad interdisciplinaria. Estos pueden ubicarse en las formas de organización y evaluación del trabajo académico; el desarrollar distintos mecanismos que apoyen, incentiven y promuevan la construcción de conocimientos no disciplinarios; el desarrollo de procedimientos ágiles y flexibles para estar acorde con los requerimientos centrados en producir conocimientos fuera del precepto medieval disciplinario, precepto al que la administración universitaria pareciera estar adherida de manera perpetua, entre otros.

Sin duda, la diversificación de los modos de producción del conocimiento en el contexto de problemáticas complejas, mediante el desarrollo interdisciplinario, abre la posibilidad que se construyan soluciones ciertas y eficientes para su solución, ya que dicho abordaje integra los saberes que se requieren para la comprensión de los desafíos inmersos en la relación del individuo y/o sociedad con el medio ambiente en el planeta Tierra; además de que promueve el ejercicio de una “inteligencia general” apta para el entendimiento de lo multidimensional que puede ser inherente a los fenómenos y/o la realidad.

Bibliografía

- Bertalanffy, L. (1995). *Teoría General de los Sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica. pp. 18, 38
- García, R. (1994). *Interdisciplinariedad y Sistemas Complejos*. En: *Ciencias sociales y formación ambiental* (E. Leff, Ed.). Barcelona: Gedisa. pp 85-124.
- _____, R. (2000). *El Conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de los sistemas complejos*, España: Gedisa. pp.99 - 107.
- Izuzquiza, I. (1990). *La sociedad sin hombres: Niklas Luhmann o la Teoría del Escándalo*. España: Anthropos. p.60.
- Menchaca, S. y Bello, J. (2014). *La gestión para el manejo integral de cuencas desde el enfoque de sistemas complejos*. En: *Metodologías aplicadas a las ciencias de la tierra*. México: IETEC Editores.

- Menchaca, S. (2003). Os Conhecimentos Social e Ambientalmente Úteis. En: Problemática do uso local e global da água da amazonia. (Aragón L., Clüsenner-Godt ed.). Brasil: UNESCO, UFPA, NAEA. pp 484-489.
- Morin, E. (2000). Los Siete Saberes Necesarios para la Educación del Futuro. Paris: UNESCO.
- _____, E. (1983). La complejidad viviente en El Método. La vida de la vida, Capítulo II, Cátedra, ed., Madrid, p.418.
- Prigogine, Y. (1994). De los Relojes a las Nubes. En Nuevos Paradigmas, Cultura y Subjetividad, Dora Fried Schnitman (ed.). México: Paidós. p.417.
- Ramírez, S. (1999). Perspectivas en las teorías de sistemas. México: Siglo XXI y CIICH/UNAM. pp.13-14.
- Wagensberg, J. (1985). Ideas sobre la complejidad del Mundo. Madrid: Tusquets. p.11.

COLABORADORES

Ana María Alarcón Ferreira

Maestra en Ciencias de la Tierra con especialidad en Sismología por la UNAM, Cursa el doctorado en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Se desempeñó en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (en el monitoreo volcánico del Popocatepetl y otros volcanes activos en México); también colaboró en el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ponente en foros nacionales e internacionales. Actualmente trabaja en la Secretaría de Protección Civil de Veracruz.

Katrin Sieron

Doctora en Ciencias de la Tierra (Vulcanología) en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizó estudios de Licenciatura y Maestría en Geología (TU BergakademieFreiberg), incluyendo un intercambio con beca a la Acadia University, Canadá. Investigadora del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ha publicado en el ámbito internacional en revistas indexadas, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI, nivel “C”) y ha participado en múltiples proyectos de investigación, además de ser catedrática de la Facultad de Economía.

Ignacio Mora González

Investigador del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ha escrito artículos en revistas nacionales e internacionales y es coautor de los libros “Peligros geológicos más frecuentes en el estado de Veracruz”; “Sismos, lo que usted debe saber” y “Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos en el estado de Veracruz”. Es miembro del Comité Científico Asesor de Protección Civil del estado de Veracruz.

Carlos Manuel Welsh Rodríguez

Doctor en Sostenibilidad por la Universidad Politécnica de Cataluña, cuenta con un Posdoctorado en el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) en Boulder Colorado. Actualmente es Investigador del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana, su línea de investigación se desarrolla en torno a los impactos locales y regionales del cambio global. Ha participado como ponente en conferencias nacionales e internacionales, ha publicado libros, capítulos de libro, así como artículos en revistas nacionales e internacionales. Fue revisor del V informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y es miembro de la red de Desastres Hidrometeorológicos y Climáticos del consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Redesclim).

Carolina Andrea Ochoa Martínez

Estudiante del Doctorado en Ingeniería por la Universidad Veracruzana. Forma parte del Grupo de Cambio Global del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Su línea de investigación se basa en el ámbito de la variabilidad climática, el cambio climático y los impactos de ambos. Ha colaborado en varios artículos para revistas nacionales e internacionales así como también en varios capítulos de libros.

Marco Aurelio Morales Martínez

Licenciado en Biología por la Universidad Veracruzana, Técnico Académico del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana, co-autor en diversos capítulos de libro como colaborador en la línea de investigación “Impactos Locales y Regionales del Cambio Climático”, así como de diversos artículos para revistas arbitradas nacionales e internacionales, miembro estudiante de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos

y Climáticos (REDESCLIM) del Conacyt. Estudiante de la Maestría en Desarrollo Regional Sustentable del Colegio de Veracruz, incorporada al Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.

Berenice Tapia Santos

Licenciada en Ciencias Atmosféricas por la Universidad Veracruzana, Maestra en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Se desempeña como Profesora de educación básica de la Secretaria de Educación Pública, pero colabora activamente con la línea de investigación “Impactos Locales y Regionales del Cambio Climático del Centro de Ciencias de la Tierra (UV), en investigaciones nacionales e internacionales. Actualmente colabora en la medición de variables meteorológicas para el Valle de Perote.

Juan Pérez Quezadas

Físico por la Universidad Veracruzana (UV). Candidato a Doctor en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Capacitado en Hidrología a nivel maestría, UPC, Barcelona, España, y Salto, Uruguay. Coordinador Técnico de Proyectos de Colaboración Técnica, UNAM, UV, ante el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Participante en proyectos de investigación del Grupo de Hidrología Isotópica del Instituto de Geofísica, UNAM y el Centro de Ciencias de la Tierra (CCT) de la UV. Publicaciones nacionales e internacionales en hidrogeología.

Alejandra Cortés Silva

Física de la Facultad de Ciencias, UNAM. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. Coordinadora del grupo de Hidrología Isotópica, Instituto de Geofísica, UNAM. Más de 40 artículos publicados en revistas nacionales e

internacionales y capítulos en libros especializados en Ciencias de la Tierra. Contraparte nacional de los Proyectos de Colaboración Técnica del OIEA, para la UNAM y asesora en el PCT-OIEA en la UV.

María del Rocío Salas Ortega

Ingeniero Químico por la UV. Maestra en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Capacitada a nivel maestría en Montevideo, Uruguay. Colaboradora en el CCT de la UV en diferentes proyectos de investigación. Catedrática de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UV. Participante en proyectos de investigación en el Grupo de Hidrología Isotópica del Instituto de Geofísica, UNAM. Coautora de artículos nacionales e internacionales, así como en capítulos de libros.

Rabindranarth Romero López

Maestro en Ingeniería, Doctor en Ciencias Ambientales, Posdoctorado École Technlogie Supérieure. Maestro de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Civil (Xalapa) de la Universidad Veracruzana. Ha publicado diversos artículos en revistas indexadas en CONACYT, SCOPUS y JCR. Miembro del Consejo Consultivo de Posgrados Universidad Veracruzana.

María del Socorro Menchaca Dávila

Doctora en Educación Superior en desarrollo sustentable, interdisciplinarietà y sistemas complejos en una Cátedra de la UNESCO de la UAEM, con licenciatura en Psicología Social por la UNAM. Profesora Investigadora de la Universidad Veracruzana del Centro de Ciencias de la Tierra. Coordinadora académica del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), y participante en Proyecto Universitario sobre Riesgos Naturales y Antrópicos (RINA).

Siendo rectora de la Universidad Veracruzana
la doctora Sara Ladrón de Guevara.

El impacto de las Ciencias de la Tierra en la Sociedad, de Ignacio Mora González, coordinador; colaboradores, Ana María Alarcón Ferreira [y otros doce], se terminó de imprimir en marzo de 2017, en Industria Gráfica Internacional, S.A. de C.V., en Circuito Industrial No. 45, Balcones de Xalapa, C.P. 91194, Xalapa, Ver., Tel. 2281416256.

La edición, impresa en papel cultural de 90 g, consta de 100 ejemplares.

En su composición se usaron tipos Times New Roman de 10, 12, 14 puntos.

Diseño de portada y edición: Irma Hernández Contreras.

Debido a la ubicación geográfica del estado de Veracruz, y a sus características geológicas y compleja morfología de su territorio, también está expuesto a fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, sismos y aquéllos asociados al clima extremo, como las inundaciones y los deslizamientos de laderas.

La ocurrencia de estos eventos afectan a la población y a la infraestructura, es por eso que es muy importante realizar estudios de estos fenómenos, para ayudar a identificar las zonas más vulnerables a esos procesos. Este conocimiento si bien es del dominio de las Ciencias de la Tierra, posee una fuerte componente socioeconómica, ya que son los habitantes de las ciudades y comunidades los que resultan afectados.

Este libro presenta algunos ejemplos de investigaciones realizadas con el fin de proporcionar información que sirva en la toma de decisiones para evitar en lo posible el impacto de los procesos naturales y salvaguardar la vida, la infraestructura y los bienes de la población, así como para la planeación del crecimiento urbano.

Los efectos pueden ser minimizados si se toman las medidas preventivas necesarias al conocer los mecanismos que los desencadenan, sus períodos de recurrencia y las zonas susceptibles de ser afectados.



Universidad Veracruzana
Dirección Editorial

