

Métodos y técnicas de monitoreo y predicción temprana en los escenarios de riesgos siconaturales

Coordinadores

José Emilio Baró Suárez

José Ramón Hernández Santana

Enrique Guevara Ortiz



Métodos y técnicas de monitoreo y predicción temprana en los escenarios de riesgos siconaturales

José Emilio Baró Suárez
José Ramón Hernández Santana
Enrique Guevara Ortiz
(Coordinadores)

2021



CONACYT
Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas
Registro: 1900555

Métodos y técnicas de monitoreo y predicción temprana en los escenarios de riesgos siconaturales

Coordinadores

José Emilio Baró Suárez
José Ramón Hernández Santana
Enrique Guevara Ortíz

Dirección del proyecto

Eduardo Licea Sánchez
Esther Castillo Aguilar
José Eduardo Salinas de la Luz

Arte

Paulina Cordero Mote
Vanessa Alejandra Vázquez Fuentes
Livia M. Rocco Sarmina

Primera edición, julio de 2021
© 2021 Fernando de Haro y Omar Fuentes

ISBN AM: 978-607-437-569-5
ISBN UAEM: 978-633-330-3

D.R. © CLAVE Editorial
Paseo de Tamarindos 400 B, Suite 109.
Col. Bosques de las Lomas, Ciudad de México, México. C.P. 05120
Tel. 52 (55) 5258 0279/80/81
ame@ameditores.mx
ecastillo@ameditores.mx
www.ameditores.com

D.R. © Universidad Autónoma del Estado de México
Av. Instituto Literario 100 Ote.
Toluca, Estado de México
C.P. 50000
Tel. 722 226 21 40
<http://www.uaemex.mx>
publicaciones@uaemex.mx

Las opiniones y puntos de vista expresados en la presente obra, son responsabilidad única y exclusiva de su autor y no necesariamente representan las posiciones u opiniones de la editorial, y las de sus integrantes.

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, archivada o transmitida en forma alguna o mediante cualquier sistema, ya sea electrónico, mecánico o de fotorreproducción, sin la previa autorización de los editores.

Elaborado en México.



Contenido

<i>Prólogo</i>	9
<i>Introducción</i>	13
<i>Sección 1. Vulnerabilidad y resiliencia</i>	
1.1. <i>Vulnerabilidad ambiental de la cuenca florícola del Estado de México</i>	21
Clarita Rodríguez Soto, Edgar Daniel Hernández César, Miguel Ángel Gómez Albores y Rebeca Angélica Serrano Barquín	
1.2. <i>Perfil de resiliencia urbana. Un instrumento de medición y seguimiento en la gestión integral del riesgo</i>	41
María Milagros Campos Vargas, Francisco Monroy Gaytán, Enrique Guevara, Luz Elena Rivera Cano, Rafael Marín y Alonso Reyes López	
1.3. <i>Indicadores de vulnerabilidad en la valoración de niveles de riesgo ante peligro volcánico asociado al Volcán de Fuego de Colima</i>	57
Frances Rodríguez Van Gort	
<i>Sección 2. Riesgos geológico geomorfológico: el pulso de la corteza terrestre</i>	
2.1. <i>Monitoreo de la actividad volcánica y comunicación del riesgo asociado. Experiencias en el Volcán de Colima</i>	81
Nick Varley y Juan Carlos Gavilanes-Ruiz	
2.2. <i>Estudio y monitoreo de volcanes activos en México</i>	109
Amiel Nieto Torres, María del Carmen Jaimes Viera y Anaid Pérez Pérez	
2.3. <i>Monitoreo de la actividad sísmica en la red sismológica del suroccidente colombiano</i>	134
Nathalie García Millán, Jhonattan Fernández Córdoba, Jorge Andrés Vélez Correa, César Augusto Cardona Parra y Elkin de Jesús Salcedo Hurtado	
2.4. <i>Geodinámica reciente del relieve: expresiones de la tectogénesis regional y la morfogénesis fluvial local en la planeación territorial y la gestión del riesgo</i>	156
José Ramón Hernández Santana, Luis Miguel Espinosa Rodríguez, Ana Patricia Méndez Linares, Alexis Ordaz Hernández, Juan Carlos Garatachía Ramírez y Norma Angélica Dávila Hernández	

2.5.	<i>Monitoreo y sistemas de alerta ante la presencia de deslizamientos</i>	189
	José Emilio Baró Suárez, Srahyrlandy Rocío Díaz Sánchez y Luis Miguel Espinosa Rodríguez	
2.6.	<i>Métodos y técnicas tradicionales en campo para el monitoreo de la erosión hídrica</i>	209
	Miguel Ángel Balderas Plata, Luis Miguel Espinosa Rodríguez y Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo	
2.7.	<i>Riesgos geotécnicos inducidos en asentamientos humanos</i>	223
	Alexis Ordaz Hernández, José Ramón Hernández Santana y José Emilio Baró Suárez	
2.8.	<i>Evaluación de Riesgo Volcánico en la Región del volcán Jocotitlán, Estado de México</i>	241
	Miguel Martínez Tapia, José Luis Escalona Hernández y Rubén López del Campo	
2.9.	<i>Cambios costeros contemporáneos y sus riesgos: algunas aproximaciones metodológicas</i>	270
	Alexis Ordaz Hernández, José Ramón Hernández Santana y Ana Patricia Méndez Linares	
2.10.	<i>Medidas de control de la erosión</i>	288
	José Miguel Febles Díaz y José Manuel Febles González	

Sección 3. Riesgos hidrometeorológicos

3.1.	<i>Inundaciones: causas, efectos y elementos mínimos a considerar en la construcción de sistemas de alerta temprana</i>	333
	Carlos Díaz Delgado, Humberto Salinas Tapia, Khalidou M. Bâ, Carlos Alberto Mastachi Loza, Adrián Torres Maya, Miguel Ángel Gómez Albores y José Emilio Baró Suárez	
3.2.	<i>Sequía: causas, efectos, impactos y método para construcción de planes de gestión en México</i>	345
	Carlos Díaz Delgado, Aleida Yadira Vilchis Francés, Khalidou M. Bâ, Rocío Becerril Piña, Carlos Alberto Mastachi Loza, Alondra Balbuena Medina, Ricardo Arévalo Mejía y José Emilio Baró Suárez	
3.3.	<i>Huracanes: amenazas desde dos océanos</i>	356
	Armando Antonio Domech González y José Emilio Baró Suárez	

Sección 4. Geotecnología aplicada a la vigilancia y predicción de las dinámicas de los escenarios de riesgos siconaturales

- 4.1. *Análisis de problemáticas ambientales y fenómenos naturales perturbadores a partir de imágenes satelitales MODIS y GOES: algunas aplicaciones de LANOT (Unidad Facultad de Geografía)* 381
Francisco Zepeda Mondragón, Yered Gybram Canchola Pantoja, Miguel Eduardo García Reyna, Cristina Estrada Velázquez, Juan Carlos Garatachía Ramírez y Martín Pánfilo Soto Romero
- 4.2. *El Sistema de Alerta Temprana de Tabasco (construcción a la Fase 1 del módulo hidrometeorológico). Estado de Tabasco* 399
Jorge Mier y Terán Suárez
- 4.3. *El Sistema de Alerta Sísmica Mexicano. Perspectiva de su desempeño desde la Gestión Integral de Riesgos y los Sistemas de Alerta Temprana comunitarios* 437
Mario Álvaro Ruiz Velázquez
- 4.4. *Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT)* 456
Enrique Guevara Ortiz, Gilberto Castelán Pescina y Paulino Alonso Rivera

Sección 5. Universidades y educación ciudadana: hacia una cultura de la gestión del riesgo integral del riesgo como base en la preparación para la alerta temprana

- 5.1. *La Protección Civil en la Universidad Autónoma del Estado de México* 473
José Emilio Baró Suárez, Armando Arriaga Rivera, Fernando Carreto Bernal y Ruggiero Olivera Guadarrama

4.1. Análisis de problemáticas ambientales y fenómenos naturales perturbadores a partir de imágenes satelitales MODIS y GOES: algunas aplicaciones de LANOT (Unidad Facultad de Geografía)

FRANCISCO ZEPEDA MONDRAGÓN
YERED GYBRAM CANCHOLA PANTOJA
MIGUEL EDUARDO GARCÍA REYNA
CRISTINA ESTRADA VELÁZQUEZ
JUAN CARLOS GARATACHÍA RAMÍREZ
MARTIN Pánfilo Soto Romero

*FACULTAD DE GEOGRAFÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO*

Introducción

La complejidad para el estudio de las problemáticas ambientales y fenómenos naturales requiere de un enfoque multivariable y holístico, lo cual se sustenta en la utilización de diversas metodologías y herramientas geotecnológicas para su comprensión hacia un acercamiento más coherente con la realidad, donde la utilización de la percepción remota a través del análisis geoespacial satelital resulta un enfoque novedoso y de última generación para poder analizar en tiempo casi real los acontecimientos perturbadores que ponen en situación de riesgo a las poblaciones.

En este sentido, a partir de la creación del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT), unidad Facultad de Geografía, el pasado 10 de junio del 2019. Se ha tenido como propósito desarrollar productos

estratégicos geoespaciales para contar con información actualizada en el Estado de México, así como en el resto de la república, en cuanto a las condiciones meteorológicas en tiempo real, el análisis de fenómenos hidrometeorológicos, monitoreo de recursos naturales, identificación de riesgos ambientales, así como el impulso estudios geográficos especializados, mediante la utilización de imágenes meteorológicas de satélites de GOES-16 y satélites de órbita Polar Terra y Aqua para impulsar la investigación científica ambiental y de riesgos en el territorio nacional.

En este tenor, el objetivo principal es presentar los productos derivados del análisis geoespacial en cuanto a sequías, anomalías térmicas y degradación ambiental, que permita comprender la evolución y aplicación en cuanto al uso de los sensores remotos en los trabajos de investigación realizados en esta unidad del LANOT.

Antecedentes en el estudio de problemas ambientales

En las últimas décadas, los problemas ambientales se han convertido en complejos escenarios, a partir de los cuales se postulan varias reflexiones en torno a las circunstancias que enfrenta la sociedad moderna. Los efectos negativos derivados de los desarrollos tecnológicos y de un modelo del consumo y uso de los recursos naturales han generado un panorama de insostenibilidad que pone en peligro la propia base material de la vida humana, dando con ello paso a la denominada sociedad del riesgo (Beck 1998).

En la actualidad se presenta un momento histórico donde el acelerado ritmo de la industria y la tecnificación del quehacer cotidiano ha derivado en una crisis ecológica.

Según Garrido *et al.* (2007) esta crisis se expresa en eventos tangibles, como son: el efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono, el derrame de los combustibles fósiles, la deforestación, la sobreexplotación de los recursos hídricos, contaminación atmosférica, la lluvia ácida y la erosión, por mencionar algunos.

La crisis ecológica se manifiesta a nivel territorial, en términos de una geografía del uso tecnológico (Ramírez 2006), en una escala global, regional y local. A nivel global, algunos autores identifican problemáticas ambientales tales como la alteración del ciclo del carbono mediante emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) y la modificación de la cobertura de la tierra en el planeta (Rockström *et al.*, 2009). De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), dichas problemáticas son relevantes por el crecimiento demográfico y el desarrollo económico (PNUMA 2012).

De igual manera, resulta importante poder definir que es un fenómeno natural y a partir de qué momento se convierte en un proceso perturbador. Un fenómeno natural es el resultado de “extremos” en procesos geofísicos,

*4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)*

el sentido de la causalidad o dirección de la explicación va del ambiente físico hacia sus impactos sociales; el enfoque dominante relega los factores sociales a una posición dependiente. La iniciativa de una calamidad está con la naturaleza, esta decide dónde y cuáles condiciones sociales o respuestas se tornan significantes. La implicación parece ser que un desastre siempre ocurre por las recurrencias fortuitas de extremos naturales, modificados en detalle, pero fortuitamente, por consecuencias humanas (Lavell, 1993).

Por lo dicho anteriormente, los fenómenos naturales son todos aquellos procesos constantes de movimientos o transformaciones que tienen lugar en la naturaleza sin la intervención humana. Pueden ser cíclicos o pueden constituir un acontecimiento extraordinario e inusitado. Los fenómenos naturales suceden independientes del factor humano o, dicho de otro modo, no son fenómenos antrópicos (Mosquera, s/f).

En este tenor, los fenómenos naturales son estudiados por las ciencias en sus aspectos físicos, químicos y biológicos. Los fenómenos físicos son aquellos que suceden por la interacción de las partículas que conforman la materia. Este tipo de fenómenos, por lo tanto, dependen de las propiedades de la materia y se presentan en los diferentes estados de esta. Mientras, los fenómenos naturales que son producto de fenómenos físicos son, por ejemplo, los movimientos de las mareas, la evaporación del agua, la erosión terrestre, el arcoíris y la aurora boreal (Mosquera, s/f).

Por su parte, los fenómenos químicos son aquellos que ocurren debido a las reacciones entre elementos. Los elementos químicos, como el oxígeno y el carbono, son las partículas más pequeñas que forman, junto con otros, todas las reacciones químicas que conocemos (Mosquera, s/f).

En cuanto a los fenómenos biológicos se puede mencionar que son aquellos que reflejan en los ciclos biológicos de los organismos vivos. Estos pueden ser internos; por ejemplo, el ciclo de vida del ser humano dividido en nacimiento, juventud, adultez y vejez (Mosquera, s/f); o externos, causado o afectado por organismos vivos, como las migraciones de aves o cuando producen frutos los árboles. También pueden producir desastres como plagas, epidemias, pandemias, marea roja, etc. Por ello, y dada la derivación de fenómenos, se han generado divisiones de los fenómenos naturales, que es una forma de entenderlas mejor (por sus cambios físicos, químicos y biológicos), pero ellas no suelen presentarse en la naturaleza de forma aislada. De esta manera, existen los estudios de fenómenos meteorológicos, por ejemplo, que abarcan fenómenos atmosféricos y ambientales (físicos, químicos y biológicos) (Mosquera, s/f).

En este caso, la lluvia es un fenómeno atmosférico porque se presentan las condiciones físicas en la atmósfera (ciclo del agua) para que llueva. También se denomina un fenómeno ambiental, ya que cambia el ambiente, mojando la tierra y haciendo que las plantas crezcan. A su vez, es un fenómeno

meteorológico cuando es relevante para la vida diaria de las personas, como pueden ser las lluvias torrenciales que provocan inundaciones. Cuando los pronósticos meteorológicos indican cambios anormales de los ciclos naturales que conocemos debido a la ciencia, y pueden afectar las casas de poblaciones, se les denomina como desastre natural. Los desastres son eventos que afectan los ciclos normales de la naturaleza. Su clasificación es idéntica al de los fenómenos naturales, de manera general, pero enfatiza en los efectos negativos que pueden provocar consecuencias devastadoras. Algunas de ellas son (Mosquera, s/f):

- Los fenómenos meteorológicos: ocurren en la atmósfera y en el ambiente, como vientos, precipitaciones (lluvias, granizadas, nevadas), tormentas eléctricas, huracanes, aquellos causados por el fenómeno del niño y muchos más.
- Los fenómenos hidrológicos: son aquellos que ocurren en el agua o las grandes masas de agua, es el caso de oleajes, tsunamis o inundaciones.
- Los fenómenos geofísicos: son aquellos que se forman o surgen desde el interior del planeta o en su superficie, estos son: avalanchas, derrumbes, deslizamientos, terremotos, erupciones, hundimientos de tierra, etc.

Estas concepciones teóricas permiten comprender el espectro de análisis de las problemáticas ambientales, donde la inclusión de los sensores remotos ayuda al entendimiento geoespacial sistemático por las capas de información espectral que de ellos se puede obtener. Esto permite desarrollar investigaciones especializadas mediante el procesamiento de sistemas de información geográfica, algoritmos y softwares especializados para el tratamiento de las bandas de información derivadas de las imágenes satelitales que han venido evolucionado en las últimas décadas.

Concepciones y tendencias

Con el transcurso del tiempo, la necesidad de explorar nuevas tierras, de conocer los recursos con los que cuenta un territorio y hasta la localización de puntos de interés, ha generado una evolución geotecnológica que va desde la captura de la primer fotografía en el mundo obtenida por ingeniero francés Nicéphore Niépce en 1826 (Maison Nicéphore Niépce, s/f), pasando por la invención del avión, llegando finalmente a las telecomunicaciones, a la aplicación de la fotogrametría aérea para la generación de mapas topográficos, hasta la primer computadora creada en 1936 por el ingeniero alemán Konrad Zuse (Jaimovich, 2019).

No puede obviarse el lanzamiento del satélite SPUTNIK en 1957 o la llegada del hombre a la luna el 20 de junio de 1969 en la misión Apolo 11 (País, 2019); o la implementación del internet, los drones y los nuevos satélites con sensores multi e hiper espectrales. Todo lo anterior ha permitido desarrollar nuevas herramientas para la obtención, procesamiento,

4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)

integración y análisis de información espacial, que sirven como insumos al estudio, modelación y tendencias de las actividades humanas y de las interacciones físicas que se presentan en un territorio.

En la actualidad, es indispensable la aplicación y la utilización de imágenes de satélite para evaluar el riesgo de desastres asociados a fenómenos perturbadores de carácter hidrológico, geológico, atmosférico y ambiental, que son recurrentes en el territorio mexicano por el contexto geográfico en el que se localiza. La percepción remota, los Sistemas de Información Geográfica y otras geotecnologías forman parte primordial como herramientas potenciadoras en el tratamiento de información geoespacial, que permite la generación de productos para la generación de estrategias de mitigación, indicadores de vulnerabilidad y perspectivas a corto, mediano y largo plazo sobre la dinámica social, ambiental, cultural y económica.

La disponibilidad de acceso a diferentes plataformas de información de carácter libre y de paga, da la posibilidad de realizar estudios con mayor resolución espacial. Por ejemplo, en el Estado de México se han realizado actualizaciones en la cobertura o uso de suelo, como son los bosques, cultivos, zonas urbanas, agua y pastizales. Este tipo de información coadyuva en el análisis del territorio, su ordenamiento y planificación. Lo anterior con la finalidad de contribuir en el desarrollo de sociedades sustentables y resilientes.

En este sentido, las imágenes de satélite han contribuido enormemente a mejorar nuestro conocimiento de distintos territorios, generando una herramienta de gran utilidad para distintas aplicaciones. Hoy en día, es posible tomar imágenes de la tierra de una gran nitidez, así como de la superficie de otros planetas. Como su nombre lo indica, estas imágenes se toman con artefactos que son enviados al espacio y que orbitan alrededor del planeta, estos toman las correspondientes fotografías y luego pueden transmitir las al planeta Tierra (*Importancia*, 2020).

De igual manera el uso de las imágenes puede ser visto como una herramienta de gran utilidad para distintas aplicaciones. Ya sea el estudio de fenómenos meteorológicos, la elaboración de mapas fidedignos para planificación urbana, la vigilancia del medio ambiente para prevenir o monitorear desastres, entre otros.

En la actualidad, las imágenes de satélite abarcan más aspectos y los expertos en desarrollo, mencionan que las imágenes son muy importantes. Si se combinan con los datos disponibles pueden agregar información que mejore la medición sobre la pobreza en los diferentes países. Esta fue la hipótesis detrás del estudio Estimación de la pobreza local utilizando imágenes satelitales del Banco Mundial.

“Las imágenes satelitales podrían convertirse en una herramienta para ayudar a identificar dónde hay pobreza, ya que se pueden realizar acercamientos a los pueblos más pequeños y monitoreo constantes, que no son posibles con los

estudios tradicionales”, explica Andrea Coppola, uno de los autores del estudio y economista del Banco Mundial (Banco Mundial, 2015).

Tal como explica Coppola, muchas veces los datos disponibles sobre la pobreza no son lo suficientemente actuales o rigurosos. De acuerdo al experto, son pocos los países que logran realizar con frecuencia encuestas de hogares. Además, los encuestadores o censistas suelen tener dificultades para acceder a los pobres, y muchas veces la calidad de esos datos no es del todo rigurosa. Por el contrario, los satélites recogen datos a un ritmo constante durante todo el año, independientemente de los peligros físicos o sociales (Ojeda, 2015).

Otro ejemplo del análisis de las imágenes de satélite en cuestiones de población, son con la ESA (Agencia Espacial Europea), que ha presentado un mapa de la Tierra elaborado con más de 180000 imágenes satelitales de alta definición, el cual permite localizar prácticamente todos los asentamientos humanos del planeta.

Este mapa, bautizado como *Global Urban Footprint* (GUF), en español Mapa del Impacto Urbano Mundial, se diferencia de otros porque no solo se muestran los centros urbanos, sino también las aldeas rurales. Esta característica permite tener una mayor comprensión de la distribución demográfica y sus implicaciones en temas relacionados con la salud (difusión de enfermedades), la ecología (presión sobre la biodiversidad) o las dinámicas poblacionales.

En este sentido, los satélites MODIS y GOES-R16 han resultado esenciales, sus instrumentos están diseñados de forma específica para la cartografía de la vegetación global. El análisis geoespacial del que es capaz ha sido fundamental para informarnos a tiempo casi real de los incendios forestales.

Uno de los más conocidos son los MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) de la NASA, se trata de un instrumento científico a bordo del satélite Terra (1999) y del satélite Aqua (2002). Otro de ellos es el VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) también de la NASA, es un sensor diseñado y fabricado por la Compañía Raytheon a bordo del *Suomi National Polar-orbiting* (Suomi NPP) y NOAA-20, y que junto con los MODIS proporcionan datos sobre los incendios forestales dentro del programa de la NASA. *Fire Information for Resource Management System*, dedicado de forma exclusiva a darnos información puntual y muy precisa en tiempo casi real (NRT) de los incendios forestales, dentro de las 3 horas posteriores al paso del satélite.

Otro de los satélites que están siendo de gran ayuda en este campo y de facturación europea, son los Sentinel del programa Copérnico, dirigido conjuntamente por la ESA y por la Unión Europea a través de la Agencia Europea del Medioambiente. Con todo lo anterior se puede observar la utilidad de imágenes de satélite, en cuestiones sociales y lo importante que es su uso en pleno siglo XXI.

Objeto del LANOT (Unidad Facultad de Geografía) y la contribución de productos geoespaciales

El Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) tiene sus orígenes en la Ley de Ciencia y Tecnología (LCYT) que como parte de sus atribuciones considera el desarrollo del Programa denominado “Apoyos Complementarios para el Establecimiento y consolidación de Laboratorios Nacionales” del cual se aprueba la creación del proyecto denominado LANOT, con número de registro ante CONACYT: 281270.

A partir de este momento, la Universidad Autónoma del Estado de México firmó un convenio de colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se estipuló su participación en el consorcio LANOT a través de la Facultad de Geografía en el pasado año 2017.

El Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) Unidad Facultad de Geografía fue instalado en enero del 2019 e inaugurado el 10 de junio de ese mismo año. Se estipularon que los principales objetivos de esta Unidad so: la generación de productos estratégicos espaciales para contar con información actualizada del país y el estado en cuanto a las condiciones meteorológicas en tiempo real, el análisis de fenómenos hidrometeorológicos, el monitoreo de recursos naturales, la identificación de riesgos ambientales, así como el impulso estudios geográficos especializados.

La principal función del LANOT es la recepción de imágenes meteorológicas de satélites de GOES-16 y satélites de órbita Polar Terra y Aqua, así como desarrollar algoritmos para dar respuesta inmediata a problemáticas ambientales y fenómenos naturales perturbadores, generar un observatorio ambiental en tiempo real vinculado a diversas instituciones, la vinculación científica para el desarrollo de proyectos internacionales con universidades convenidas con la Universidad Autónoma del Estado de México, con el propósito de integrar un sistema de alerta temprana vinculada instituciones de la entidad para la adecuada toma de decisiones. Esto es la base para el desarrollo de un visualizador y un observatorio ambiental que conjunte proyectos de investigación científica para la consulta y divulgación de información, tanto en instancias académicas, gubernamentales y privadas.

Materiales y métodos en la generación de productos geoespaciales hacia la toma de decisiones (LANOT)

El satélite GOES 16 está equipado con seis sensores que captan información de manera constante. Cada sensor tiene una finalidad, por ejemplo el equipo EXIS detecta erupciones solares que pueden afectar las comunicaciones; el sensor SUVI monitorea la actividad solar en el rango del ultravioleta que permite observar erupciones solares y filamentos solares, que permite una

detección temprana de impactos directos o cercanos al planeta Tierra; el mapeador de rayos geoestacionario (GLM, por sus siglas en inglés) es un dispositivo que captura en el canal del infrarrojo cercano la actividad de rayos, permite medir y pronosticar tormenta severas.

El sensor ABI (*Advanced Baseline Imager*) obtiene información multiespectral de una parte de la Tierra. El ser geoestacionario obtiene datos del continente americano cada cinco minutos, esto posibilita ver la casi en tiempo real la dinámica de la atmosfera. Este sensor cuenta con 16 canales que registran y mandan a la Tierra imágenes meteorológicas y de condiciones de la superficie. Por otra parte, obtiene una imagen CONUS que abarca los países de América del Norte y gran parte de Centro América cada cinco minutos, con una resolución espacial y temporal de 2 km por 2 km a nivel de píxel.

Uno de los productos que recibe el LANOT Unidad Facultad de Geografía es el de Temperatura superficial de la tierra (LST, por sus siglas en inglés), en el cual, se muestra la radiación neta en la superficie de la Tierra, lo que permite conocer el flujo de energía y la condición de esta de acuerdo con la concentración. Este producto se encuentra en grados Kelvin, en condiciones diurnas y nocturnas, lo que permite obtener esta información en cualquier momento. La única limitante es cuando se presenta nubosidad, las zonas que se encuentran cubiertas de nubes son huecos sin datos.

Otro sensor que transmite imágenes con fines meteorológicos y de baja resolución espacial (cubre mayor área) es MODIS, que se encuentra montado en los satélites Aqua, que orbita la tierra de sur a norte, y Terra, que lo hace de norte a sur. Ambos pasan por el Ecuador, pero en diferente horario.

Este instrumento multiespectral captura treinta y seis canales del espectro electromagnético en diferentes longitudes de onda. Permite comprender la dinámica de la atmosfera y el comportamiento de la superficie terrestre y los océanos. Se puede generar un mosaico de imágenes de todo el planeta en un periodo de uno a dos días. La resolución espacial varía en los diferentes canales: 250 m en los canales 1 y 2; 500 m en los canales 3 al 7) y 1000 m en los canales 8 al 36).

MODIS, genera cuarenta y cuatro productos distintos, lo que nos permite tener información de la atmosfera; esto incluye nubes, aerosoles, cobertura de nieve, temperatura superficial del mar y de la tierra, tipo de cobertura terrestre, índices de vegetación, evapotranspiración, incendios y anomalías térmicas, entre otros.

El Índice Normalizado de la Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés) se obtiene del cálculo de la división del canal infrarrojo cercano (NIR) menos el canal rojo. Esto permite conocer la cantidad, calidad y la distribución de la vegetación mediante la medición de la intensidad de radiación que la vegetación de acuerdo con su estado de salud y vigorosidad refleja.

Este producto es el resultado de una adquisición que comprenden un conjunto de imágenes de una serie de tiempo de dieciséis días con una resolución

4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)

espacial de 250 m, donde, de forma automatizada y respetando los criterios de nubes bajas, ángulo de visión bajo y el valor más alto en NDVI, busca y hace una selección de los mejores píxeles en esa serie y genera una sola imagen.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) y FAS (Servicio Agrícola del Extranjero) comparten el resultado de un proyecto en conjunto sobre el Monitoreo Agrícola Global, denominado GLAM, que provee una base de datos con la serie temporal de índices de vegetación a nivel mundial del año 2000 a la fecha.

Estudios geoespaciales ambientales y de riesgos en el Estado de México

Desde la instalación del LANOT Unidad Facultad de Geografía se tenido la visión de generar productos especializados, enfocados al análisis de problemáticas ambientales y fenómenos perturbadores, en aras de contar con insumos cartográficos a partir del tratamiento de imágenes sensoriales para generar productos de monitoreo para la adecuada toma de decisiones. A continuación, se presenta algunas aplicaciones de estudios geoespaciales elaborados desde esta Unidad.

Monitoreo de sequía, NDVI y se relación con anomalías térmicas de la FIRMS

Uno de los proyectos desarrollados en el LANOT Unidad Facultad de Geografía consiste en el monitoreo de la sequía que se presenta en las zonas forestales del Estado de México, esto se hace mediante el cálculo del Índice de Condición de la Vegetación (VCI) de acuerdo con el siguiente algoritmo:

$$VCI = \frac{NDVI_{x,y} - NDVI_{min_{x,y}}}{NDVI_{max_{x,y}} - NDVI_{min_{x,y}}} * 100\%$$

En donde:

NDVI: es el mínimo y máximo del Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación observada durante el mismo periodo de 16 días.

Para este proyecto se descargaron los NDVI de cada 16 días obtenidos de la GLAM, éste índice mide la respuesta espectral de la vegetación a través de la radiancia capturada por el sensor, sirve para cuantificar las condiciones del déficit o exceso de agua debido al proceso fotosintético de las plantas y se calcula a partir de la siguiente formula:

Donde:

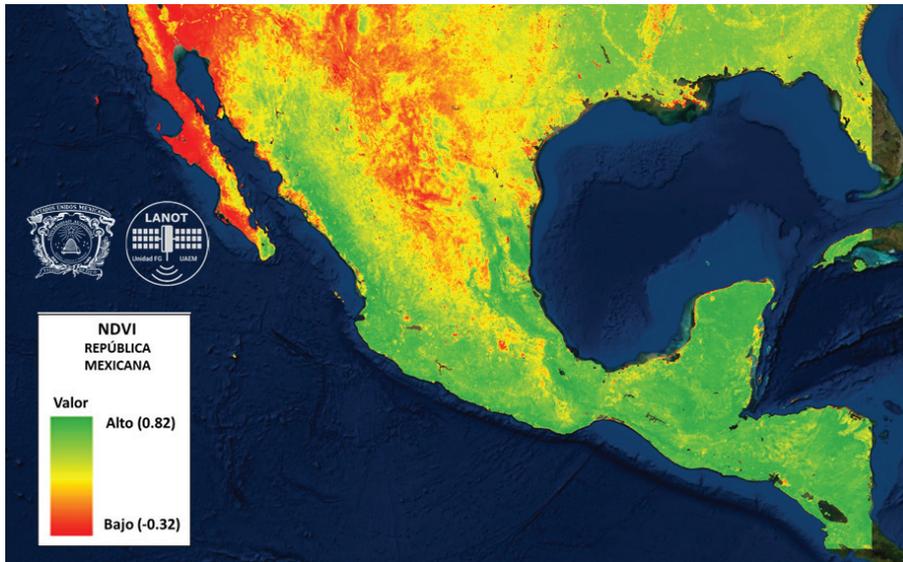
$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

NIR: es el canal de infrarrojo cercano

VIS: es canal que captura el reflejo en la región visible del rojo

A continuación, se presenta un mapa resultado del procesamiento de las bandas espectrales y la fórmula aplicada para el caso del territorio de la República Mexicana, donde se observan los valores de NDVI. Los que aparecen en color rojo muestran la poca existencia y calidad de la cobertura vegetal y los valores más tendientes al 1 presentan mejores condiciones vegetativas representadas en colores tendientes a verde (Figura 1):

Figura 1. Imagen NDVI de la República Mexicana



Fuente: LANOT (Unidad Facultad de Geografía de la UAEM), 2019.

Debido a que las imágenes del sensor MODIS realizan un barrido de toda la superficie, se cuenta con información de todos los usos de suelo que se presentan en la zona de estudio. Debido a lo anterior, se realizó un proceso para discriminar todo lo que no fuera cubierta forestal, utilizando información vectorial del Inventario Estatal Forestal y de Suelos, Estado de México 2014, elaborado por la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal).

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos del cálculo del Índice de Condición Vegetal para el mes de mayo del 2019, donde la sequía moderada es la que se presenta en mayor cobertura, pero la diferencia de superficie entre la sequía severa y extrema es mínima. La superficie forestal en el Estado de México ocupa 10653.669 km² de la extensión total de la entidad; de acuerdo con lo arrojado en el modelo VCI, el 38.11% de la zona forestal

*4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)*

que se encuentra al Suroeste de la entidad federativa (ver Imagen 1), sufrió de estrés hídrico debido al déficit de agua, lo cual, mantiene estrecha relación con la temporada de estiaje prolongada y el retraso de las lluvias. Todo esto provoca un ambiente seco en las zonas con vegetación, lo que vulnera su capacidad para resistir incendios.

Cuadro 1
Resultados del Índice de Condición Vegetal en Zonas forestales del
Estado de México para mayo de 2019

Porcentaje	Nivel	Cobertura (km ²)
30% - 40%	Sequía Leve	960
20% - 30%	Sequía Moderada	1,049,423
10% - 20%	Sequía Severa	1,041,681
0% - 10%	Sequía Extrema	1,009,421

Fuente: LANOT (Unidad Facultad de Geografía de la UAEM), 2019.

En relación con datos publicados por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), para el año 2019 la temporada de lluvias se estimó para los meses de mayo a noviembre; pero en el Estado de México presentó una baja precipitación media mensual (Cuadro 2).

Cuadro 2
Precipitación media (mm) por entidad federativa

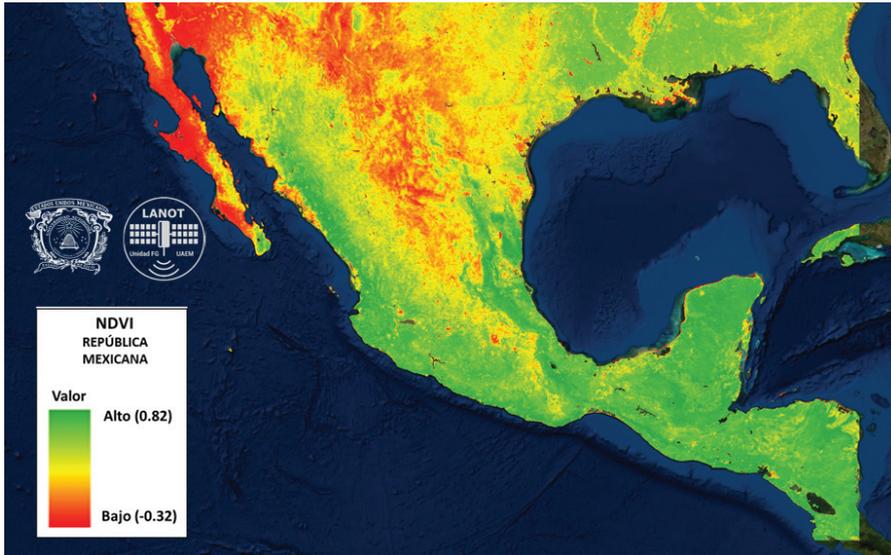
Entidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Estado de México	4.1	5.8	6.7	7.3	33.3
Guerrero	1	0.4	0.7	0.4	44.4
Oaxaca	14.9	4.7	9.6	8.5	96.9

Fuente: CONAGUA, 2019.

Al sobreponer con los focos de calor o anomalías térmicas registradas el 13 de mayo del año 2019, como se muestra en la Figura 2, se puede apreciar la relación que se presenta en ambos fenómenos. Estas condiciones no solo se presentaron en el Estado de México, también en los estados de Guerrero,

Oaxaca, Puebla, Morelos y la CDMX; se manifestaron incendios en zonas agrícolas y forestales, provocando una densa capa de humo y mala calidad del aire (Figura 2 y 3).

Figura 2. Imagen que muestra el Índice de Condición Vegetal (VCI) en Estado de México, mayo 2019



Fuente: LANOT (Unidad Facultad de Geografía de la UAEM), 2019.

El uso de imágenes MODIS y en particular los productos generados a partir de operaciones entre canales, permite tener información en tiempo casi real, sobre la situación actual de una zona de interés. La resolución espacial con la que trabaja este sensor ayuda a interpretar los fenómenos desde una perspectiva general y amplia, debido a la gran cobertura que se tiene. Lo anterior, en combinación con otros datos, puede ayudar a generar diversos modelos predictivos y de tendencias, que sienten las bases para generar y operar un sistema de alerta temprana que permita tener información actualizada ante un fenómeno perturbado de carácter meteorológico.

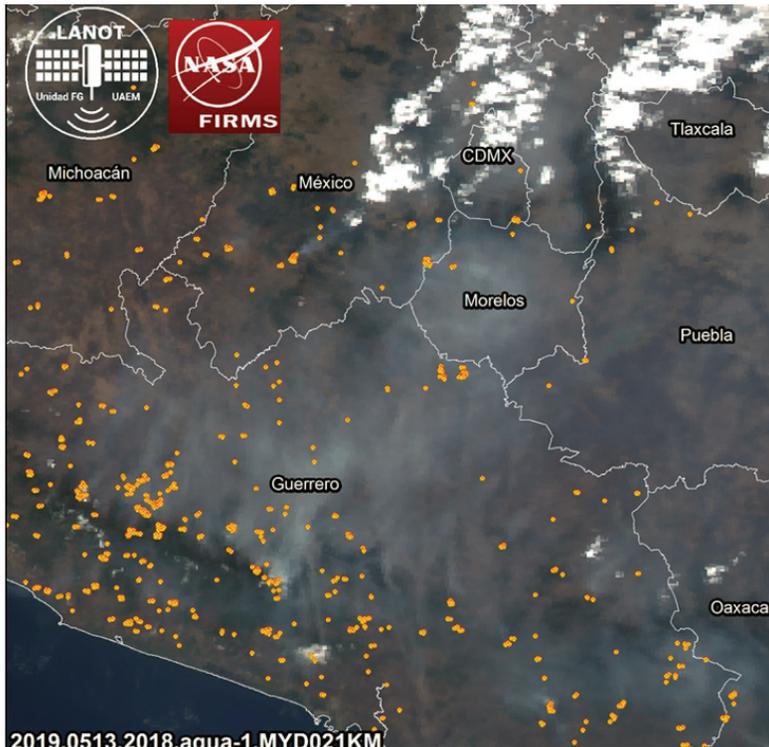
Islas de calor

Islas de calor es un proyecto en conjunto con LANOT Unidad Facultad de Geografía y Coordinación Estatal de Protección Civil del Estado de México. Consiste en medir la temperatura superficial de las zonas metropolitanas en la República Mexicana. La variedad de temperaturas tiene diferentes motivos, algunos de estos están relacionados con la densidad de construcción en las

4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)

ciudades, el material con el cual lo están, la extensión del suelo de concreto y la disminución de áreas verdes y cuerpos de agua, lo que facilita que la radiación solar y dificultad de la dispersión del calor por la noche.

Figura 3. Imagen de satélite AQUA del sensor MODIS y Anomalías Térmicas del 20 de mayo del 2019



Fuente: LANOT (Unidad Facultad de Geografía de la UAEM), 2019 y FIRMS (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>).

Este fenómeno es monitoreado diariamente, en cuatro diferentes horarios, debido a que las islas no se presentan durante todo el día y dependen de condiciones meteorológicas como cielos despejados, viento, la oscilación térmica y los gases contaminantes que se convierten en una barrera que evita que se disipe el calor.

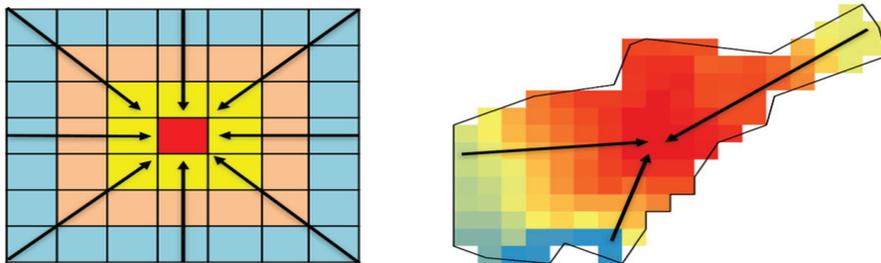
En este proyecto, LANOT evalúa las horas en donde hay presencia de radiación solar en zonas metropolitanas urbanas, que va desde las 6 de la mañana a las 6 de la tarde. Para realizar el monitoreo del efecto islas de calor urbanas, se utilizan imágenes del GOES 16, pues permite monitorear la misma

porción de la tierra mediante la obtención de una imagen de Land Surface Temperature cada 10 minutos.

El tratamiento de estas imágenes para la obtención de las islas de calor urbanas consiste en descargar imágenes en intervalos de 3 horas, a las cuales se les aplican el siguiente procesamiento:

- Primero se obtiene la imagen LST promedio para el periodo de tiempo, mediante la aplicación de la media aritmética de todas las imágenes. A continuación, se realiza una selección por atributos de los valores mayores a cero, lo anterior para utilizar los valores positivos de temperatura.
- El siguiente paso es convertir los valores de la imagen en números negativos por lo cual se multiplica por -1. Con esto se busca que al generar las direcciones de flujo éstas vayan de los valores más bajos a los más altos como se muestra en la Figura 4.
- Una vez que se tienen los flujos, se realiza la delimitación de las cuencas de temperatura, el resultado son conjunto de polígonos que muestran el límite espacial de la concentración de las temperaturas.

Figura 4. Modelo de dirección de flujo



Fuente: LANOT (Unidad Facultad de Geografía de la UAEM), 2019.

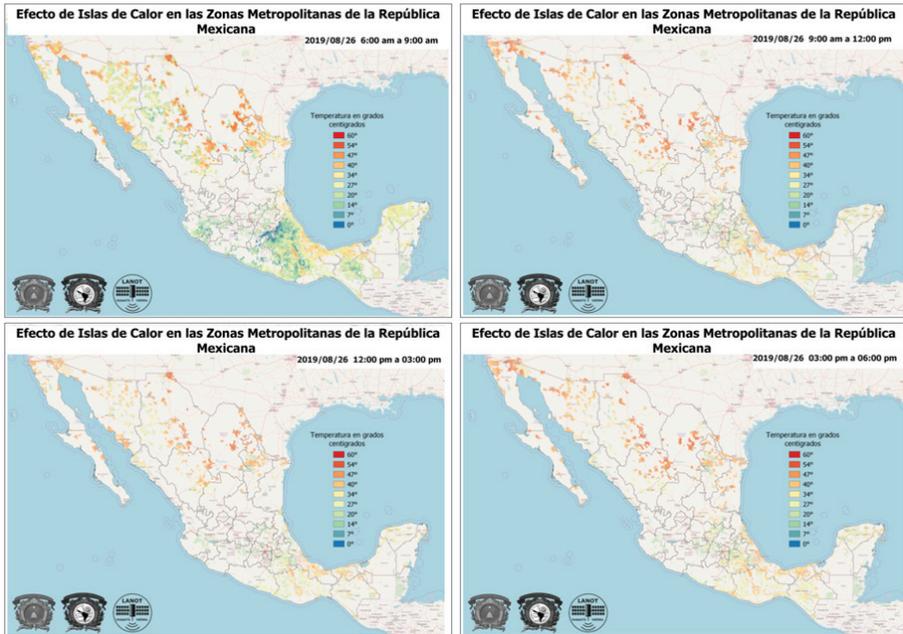
Derivado de la aplicación de esta metodología se están realizando estudios que se enfocan a zonas metropolitanas urbanas, donde se realiza una selección de los polígonos de cuencas que interceptan y se extraen los valores de la imagen LST media en las principales 58 ciudades metropolitanas del país para dar seguimiento al comportamiento lo largo del día. Esto se realiza en los siguientes horarios: de 06:00 a 09:00; de 09:00 a 12:00; de 12:00 a 15:00 y de 15:00 a 18:00 horas (Figura 5).

Los aportes de este producto hacen se enfocan en identificar el comportamiento del efecto de las concentraciones de temperaturas altas y su grado de incidencia para poder determinar cuáles poblaciones urbanas son

4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)

vulnerables ante este efecto. Por otra parte, se convierte en un referente para los tomadores de decisiones en cuanto en la generación de propuestas de mitigación.

Figura 5. Efectos de islas de calor en las zonas metropolitanas urbanas de la República Mexicana



Fuente: LANOT (Unidad Facultad de Geografía de la UAEM), 2019.

Conclusiones

La evolución de las geotecnologías ha permitido tener acceso al entendimiento de los problemas ambientales y fenómenos perturbadores en tiempo casi real. Esto ayuda a comprender la dinámica presente con miras a un alertamiento temprano que, en conjunción con las instancias gubernamentales tomadoras de decisiones, contribuye a reducir el riesgo de desastres.

Se reconoce que el uso actual de las geotecnologías para el estudio del ambiente, así como para los análisis de peligros y vulnerabilidad asociados a fenómenos perturbadores, es esencial para la generación de diagnósticos y la propuesta de escenarios de riesgo de desastre. En este sentido, el uso de sensores remotos y las consecuentes imágenes satelitales de última generación como las que provee el satélite GOES 16, han demostrado ser un insumo de gran valor ya que dan soporte a la toma de decisiones en materia de gestión de riesgos.

Por lo anterior, los productos generados del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) Unidad Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, se han generado para generar información que dé soporte a la toma de decisiones en materia de problemáticas ambientales y de riesgo, tanto a nivel estatal como nacional. Asimismo, el laboratorio busca, en conjunto con otras instancias, fomentar una cultura de Gestión Integral del Riesgo y Protección Civil entre actores gubernamentales, privados y sociales.

En otro orden de ideas, es importante mencionar que la generación de la información geoespacial se sustenta en el tratamiento de imágenes satelitales con base en la interpretación cuantitativa y cualitativa de datos que evidencian el estado actual de las condiciones ambientales y el entendimiento de los fenómenos perturbadores, donde la calibración de los productos es esencial.

Actualmente también se emplean datos de sensores remotos de acceso abierto en conjunción con la utilización de plataformas privadas que posibilitan trabajar a diferentes escalas y resoluciones espaciales para comprender de manera más práctica la dinámica territorial.

Por último, la visión a largo plazo de esta Unidad del LANOT es continuar con la generación de una gama de productos en los diferentes tópicos ambientales, basados en algoritmos específicos, para dar respuesta inmediata a problemáticas geocológicas y fenómenos naturales perturbadores plasmados en un observatorio ambiental en tiempo real, vinculado a instancias gubernamentales y científicas, para el desarrollo de proyectos internacionales, aunado a la generación de material didáctico enfocado a fortalecer la enseñanza de las geociencias a niveles básico, medio superior y superior, posicionando así al laboratorio como un referente de consulta a nivel nacional.

Bibliografía

- Ariza, D., Duran, J.A., 2011. *Historia de la teledetección*. Universidad de la Paz.
- Banco Mundial, 2015. "Así se ve la pobreza desde un satélite". Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/09/08/asi-se-ve-la-pobreza-desde-un-satelite>. Consultado el 9 de diciembre de 2020.
- Beck U., 1998. *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*. Paidós, Barcelona, España, 304 pp.
- Canuta, N., 1995. *Cuadernos de Geografía. La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*.
- Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de Estados Americanos, 1993. "Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado" "Capítulo 4". *Percepción remota en la evaluación de peligros naturales*. Washington, D.C

4.1. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES Y FENÓMENOS NATURALES
PERTURBADORES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MODIS Y GOES: ALGUNAS
APLICACIONES DE LANOT (UNIDAD FACULTAD DE GEOGRAFÍA)

Garrido F., González de Molina M., Serrano J. y Solana J., 2007. *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*. Icaria Editorial, Barcelona, España.

Lavell, Allan, 1993. "Ciencias sociales y desastres naturales en América Latina: un encuentro inconcluso", en Andrew Maskrey, *Los desastres no son naturales*, Colombia, La Red, ITDG, Tercer Mundo Editores.

Importancia, 2020. Importancia de las Imágenes de Satélite. Importancia. Una guía de ayuda. Disponible en: <https://www.importancia.org/imagenes-de-satelite.php>. Consultado el 7 de diciembre de 2020.

Jaimovich, Desirée, 2019. "Cuál fue la primera computadora de la historia". Disponible en: <https://www.infobae.com/america/tecno/2019/10/14/cual-fue-la-primera-computadora-de-la-historia/#:~:text=La%20Z1%20est%C3%A1%20considerada%20como,le%C3%ADa%20instrucciones%20de%20cintas%20perforadas>. Consultado el 7 de diciembre de 2020.

Maison Nicéphore Niépce, s/f, "Niépce y la invención de la Fotografía". Disponible en: <https://photo-museum.org/es/niepce-invencion-photografia/>. Consultado el 7 de diciembre de 2020.

Mas, Jean- François, 2011. *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*. Disponible en: http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/imagenes/abook_file/aplicacionesMODIS.pdf.

Mendoza Mejía, Jesús Baruch, & Orozco Hernández, María Estela, 2014. *Análisis de la vulnerabilidad biofísica a los riesgos por inundación en la zona metropolitana de Toluca, México*.

Mosquera Moreno, Heiler, s/f. "La física al alcance de todos". Disponible en: <http://elmundodelafisicaalalcancedetodo.weebly.com/fenoacutemenos-naturales.html>. Consultado el 7 de diciembre de 2020.

NASA, 2020. "MOD13A2 v006", "MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI)", "VI Time Series Database from the Global Agriculture Monitoring (GLAM) Project" y "GLAM—Global Agricultural Monitoring". Disponible en: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13a2v006/>; <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>; y <http://pekko.geog.umd.edu/usda/beta/>; y <https://ipad.fas.usda.gov/glam.htm>

Ojeda, María Victoria, 2015. "Así se ve la pobreza desde un satélite". *El País*. Disponible en: https://elpais.com/internacional/2015/09/06/actualidad/1441490939_710866.html. Consultado el 9 de diciembre de 2020.

País, Ana, 2019. "Llegada del Apolo 11 a la Luna: los 13 minutos en los que toda la misión estuvo a punto de fracasar". *BBC News Mundo*. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48882605>. Consultado el 7 de diciembre de 2020.

PNUMA, 2012. "GEO 5. Perspectivas del medio ambiente mundial". *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*, San José de Costa Rica, Costa Rica, 528 pp.

- Probosque, 2014. *Inventario Estatal Forestal y de Suelos*. Disponible en: <http://probosque.edomex.gob.mx/sites/probosque.edomex.gob.mx/files/files/inventarioFtal/inventarioEstatalFtalSuelosEdoMex2014.pdf>.
- Ramírez O., 2006. "Reflexiones sobre el monocultivo de soya transgénica en Argentina: Una aproximación desde la geografía del azar tecnológico". *Revista Gestión y Ambiente* 9, 81-90.
- Rivera, R.; Vargas, E.; Terrazas, S.; Gavi, F., 2003. *Utilización de imágenes de satélite para determinar áreas con problemas de lixiviación de nitratos*.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin S., Lambin E., Lenton T., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H., Nykvist B., De Wit C., Hughes T., Van Der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R., Fabry V., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P. y Foley J., 2009. "A safe operating space for humanity". *Nature* 461, 472-475.
- UNESCO, 2020. "¿Cómo se calcula el vci?" disponible en: <https://www.climatedatalibrary.cl/maproom/monitoring/ndvi/vci.html#tabs-2>.