

S
M
C
C
A



BOLETÍN

Sociedad Mexicana de Computación
Científica y sus Aplicaciones

Año III - Número 3

Diciembre 2017



BOLETÍN

Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones

Consejo Editorial

Pablo Barrera Sánchez, UNAM

Pedro Flores Pérez, UNISON

Irma Delia García Calvillo, UAdeC (*editor responsable*)

José Gerardo Tinoco Ruíz, UMSNH

Editores técnicos

Vanesa Ávalos Gaytan, UAdeC

Oliver Ávalos Rosales, UAdeC

Yajaira Cardona Valdés, UAdeC

El Boletín de la Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones A. C. (SMCCA), Año III, No. 3, Diciembre 2017, es una publicación anual editada por la Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones A. C., calle Luis Horacio Salinas, 545, Col. Valle de Morelos, Saltillo, Coahuila, C.P. 25013, Tel. (844) 4 10 12 42, www.smmca.org.mx. Editor responsable: Irma Delia García Calvillo. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-103114330600-203, ISSN: 2594 - 0457, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Yajaira Cardona Valdés, calle Magisterio, s/n, Unidad Camporredondo, Edificio S, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, 15 de diciembre de 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones A. C.

Suscripciones al Boletín vía correo electrónico: smcca@smcca.org.mx

Contenido

CARTA DE BIENVENIDA.....	4
Reseña del XXVI Escuela Nacional de Optimización y Análisis Numérico.....	5
Ganadores del décimosexto Premio MIXBAAL	8
Convocatoria para el décimooctavo Premio MIXBAAL	9

ARTÍCULOS

Control Parcial de un Sistema Caótico de tres especies.....	11
Simulación de lluvia extrema utilizando herramientas GIS e Iber en Jalpa de Méndez, Tabasco.....	20
PRÓXIMOS EVENTOS.....	52
¿Quieres publicar artículos, información sobre eventos o noticias en el Boletín?.....	53

Carta de Bienvenida

La Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones, A.C. (SMCCA) y el comité Editorial, les dan una cordial bienvenida a la tercera edición del Boletín electrónico anual de la SMCCA, el cual tiene como objetivo mantenerlos informados de las actividades realizadas por la SMCCA y sus asociados. En el Boletín se publicarán noticias, eventos, artículos de divulgación y de investigación de alto nivel en el área de Cómputo Científico y sus Aplicaciones, así como resúmenes de las mejores tesis de Licenciatura en Matemáticas Aplicadas.

En esta tercera edición del boletín se presenta: una breve semblanza de la XXVI Escuela Nacional Optimización y Análisis Numérico, llevada a cabo este año del 3 al 7 de julio en las instalaciones de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; en esta edición se presentan dos artículos de investigación, los cuales fueron trabajo presentados en la XXVI ENOAN. Por último presentamos los resultados de los ganadores a la décimosexta edición del premio Mixbaal para la mejor tesis de Licenciatura y se presenta la convocatoria para participar en dicho premio en su décimo octava edición.

La SMCCA agradecerá que ante el interés que surja en los lectores en los temas que se presenten en nuestra publicación, éstos se conviertan en usuarios asiduos, así como en miembros activos de nuestra Sociedad. La información del registro de membresías a la SMCCA la pueden consultar en el Módulo de Registro de nuestra página www.smcca.org.mx.

Rina Betzabeth Ojeda Castañeda

Presidenta

Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones

Reseña de la XVI ENOAN



Por Rina Betzabeth Ojeda Castañeda
y Justino Alavez Ramírez

DEL 3 AL 7 DE JUNIO DE 2017 SE LLEVÓ A CABO CON GRAN ÉXITO LA XXVI ESCUELA NACIONAL DE OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS NUMÉRICO (ENOAN) Y EL VII TALLER DE MODELACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL: “MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE AGUAS SOMERAS”, EN LAS INSTALACIONES DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO (UJAT) DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO. LA ORGANIZACIÓN DE ESTA XXVI EDICIÓN DE LA ENOAN ESTUVO A CARGO DE UN COMITÉ LOCAL FORMADO POR PROFESORES-INVESTIGADORES Y ALUMNOS DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO, Y DEL COMITÉ NACIONAL CONFORMADO POR PROFESORES-INVESTIGADORES MIEMBROS EN ACTIVO DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE COMPUTACIÓN CIENTÍFICA Y SUS APLICACIONES.

Durante esa semana, 104 asistentes en total, entre alumnos de licenciatura y posgrado, profesores, investigadores y profesionales interesados en la aplicación de las Matemáticas y el Cómputo Científico, se reunieron para participar en diversas actividades académicas: 9 cursos cortos, 6 conferencias plenarias



presenciales y una conferencia plenaria en la modalidad de videoconferencia; 4 conferencias invitadas de la Escuela ENOAN, 4

conferencias invitadas a la Sesión de Modelación y Simulación de Aguas Someras, 37 ponencias presenciales y 13 carteles por solicitud de la ENOAN y 12 ponencias por solicitud de la Sesión de Modelación.

Los conferencistas (plenarios e invitados) y los instructores de los cursos que participaron en el evento, son profesores-investigadores de diferentes Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación tanto extranjeros como nacionales. Son profesionales ampliamente reconocidos en sus áreas de conocimiento, con gran experiencia en el ámbito de la docencia e investigación en temas de actualidad, relevantes y en el estado del arte sobre la aplicación de las matemáticas y del cómputo científico en la Ciencia e Ingenierías. Actualmente participan en proyectos establecidos para la solución de problemas ya sea de interés nacional y/o internacional. Este perfil idóneo de los profesores-investigadores permitió a la ENOAN ofrecer a alumnos de licenciatura y posgrado de distintas instituciones educativas del país y del extranjero cursos especializados a diferentes niveles: básico, intermedio y avanzado, a los que generalmente ellos no pueden acceder con regularidad en sus instituciones. Los cursos básicos impartidos fueron: “Introducción a la

Optimización”, “EDO no lineales tridimensionales” e “Introducción al Cómputo Científico”; los cursos intermedios fueron: “ $Ax=b$ y restauración de imágenes”, “Técnicas numéricas para el cómputo del movimiento de interfaces.” y “Optimización y control en espacios de Hilbert” y los cursos especializados avanzados: “Leyes de conservación hiperbólicas”, “Algoritmos genéticos.” y “Método de volúmenes finitos para leyes de conservación y leyes de equilibrio” sus contenidos, bibliografía e información de los instructores, se pueden consultar en la página de la ENOAN en la liga www.smcca.org.mx/enoan2017.



La participación de conferencistas plenarios e invitados internacionales y nacionales del evento, permitió a todos los asistentes tener la oportunidad de conocer el estado del arte de la Computación Científica y sus aplicaciones tanto en México, como en otros Países. Aquí se hace mención de los nombres de algunos de ellos, pero el lector puede consultar el programa completo de conferencias impartidas en www.smcca.org.mx/enoan2017.

Conferencistas Plenarios Doctores:

- JORGE EDUARDO MACÍAS DÍAZ,
Universidad Autónoma de Aguascalientes;
- TOMAS MORALES DE LUNA,
Universidad de Córdoba, España;
- PEDRO FLORES PÉREZ,
UNISON.

Conferencistas Invitados Doctores:

- ALEJANDRO PEREGRINO PÉREZ,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco;
- MARÍA LUISA SANDOVAL SOLIS,
Universidad Autónoma de México – Iztapalapa;
- LUIS B. MORALES MENDOZA,
IIMAS-UNAM.

Dentro de este marco de vinculación de academia-investigación-industria, los alumnos asistentes también tuvieron la oportunidad, un buen número de ellos (62 ponencias por solicitud), de exponer de manera presencial o a través de un formato de cartel, del desarrollo y los resultados de investigaciones que llevan a cabo en conjunto con sus profesores,

como trabajos de tesis (licenciatura, maestría, doctorado) o en proyectos de investigación establecidos en sus Instituciones, recibiendo una retroalimentación de utilidad para mejorar su trabajo, tanto de parte de investigadores especializados en los temas presentados, como de sus compañeros de otras instituciones, interesados en estos temas.

Por último es de gran importancia señalar que el gran esfuerzo de trabajo realizado tanto por el Comité Local (Sede UJAT) como el Comité Nacional (aglutinados dentro de la SMCCA) en la organización, y contando con el importante apoyo financiero de Instituciones, Dependencias y Centros de Investigación como: CONACYT, la Sociedad Matemática Mexicana y la UJAT, permitió obtener un conjunto de resultados a beneficio de una comunidad científica conformada por alumnos, profesores, investigadores y profesionales interesados en la Computación Científica y las Matemáticas Aplicadas, que incidieron en indicadores de impacto como los que se presentan en la siguiente tabla:

Indicador	Cantidad
Total de asistentes	104
Alumnos beneficiados del evento	70
Becas estudiantes de Instituciones de Provincia:	45
Becas estudiantes y profesores de la UJAT	23
Programas Educativos de Instituciones participantes	24
Investigadores, Docentes y Profesionales beneficiados del evento	34
Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación del País y del Extranjero	12
Número de Instituciones participantes	
Nacionales	34
Extranjeras	2
	36

Ganadores del Premio MIXBAAL

Ganadores de la décimosexta edición del premio Mixbaal a la
Mejor Tesis de Licenciatura en Matemáticas Aplicadas

Ganadora del premio Mixbaal

Olivia Reséndiz Flores
Lic. en Matemáticas Aplicadas
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Trabajo: Control parcial de un sistema caótico
de tres especies



Mención Honorífica

Enrique Vázquez Mendoza
Lic. en Biología
Universidad de Autónoma del Estado de Hidalgo

Trabajo: Efecto de la desnutrición sobre la composición y
organización de las fibras de los fascículos del
músculo extensor digitorum longus de la rata
(Rattus norvegicus)



CONVOCATORIA AL PREMIO



A LA MEJOR TESIS DE LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS APLICADAS

La Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones A.C. (SMCCA) convoca a los profesionistas en matemáticas y ramas afines, recién titulados, a presentar su tesis o su trabajo terminal de licenciatura para el **DECIMOSÉPTIMO PREMIO MIXBAAL A LA MEJOR TESIS DE LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS APLICADAS** de acuerdo a las siguientes:

BASES

1. El trabajo, **sobre un tema de matemáticas aplicadas**, deberá haber sido presentado en alguna institución mexicana de educación superior para obtener el grado de Licenciatura.
2. La fecha de obtención del grado deberá estar comprendida en el lapso del 1 de febrero de 2017 al 31 de enero de 2018.
3. Se deberá enviar en forma impresa y por cuadruplicado:
 - a) Copia del trabajo mecanografiado o tipografiado.
 - b) Documento probatorio con fecha de obtención del título.
 - c) Documento en el que conste oficialmente que el trabajo enviado a concurso fue presentado como requerimiento para la obtención del título.
 - d) Breve currículum del candidato.
 - e) Nombre del asesor o director del trabajo.
 - f) Nombres de los sinodales del examen profesional.

La fecha límite para recibir toda la documentación es el 29 de abril de 2018.

4. El jurado será designado por la Comisión del PREMIO MIXBAAL y estará integrado por especialistas de reconocido prestigio en diversas ramas de las ciencias relacionadas con las matemáticas aplicadas.

5. El PREMIO MIXBAAL incluye un reconocimiento y un diploma.

6. Se otorgarán menciones honoríficas a juicio del jurado.

7. Los trabajos de tesina serán evaluados previamente para su aceptación a concurso.

8. La decisión del jurado será inapelable.

Los resultados serán comunicados verbalmente a los interesados el 30 de julio y publicados posteriormente en la página de la sociedad: <http://www.smcca.org.mx/>

La entrega del PREMIO MIXBAAL será durante la ceremonia de inauguración de la XXVII Escuela Nacional de Optimización y Análisis Numérico.

Cualquier situación no prevista en esta convocatoria, será resuelta por la Comisión del PREMIO MIXBAAL.

Los documentos probatorios deberá enviarse a:

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Departamento de Matemáticas, Cubículos 226 ó 028
Dr. Pablo Barrera Sánchez
Circuito Exterior s/n
Colonia Copilco Universidad
04510 México, D.F.

Informes:

Tels: 5556224836, 5556224928

Correos: pablobarrera@ciencias.unam.mx, guilmerg@yahoo.com

Control Parcial de un Sistema Caótico de tres especies

O. Reséndiz Flores^{1*}, J. Viveros¹

¹Área Académica de Matemáticas y Física, UAEH

* Correo electrónico: oliresendizflores@gmail.com, jviveros@uaeh.edu.mx

Resumen

Se aplica la técnica de control parcial a un modelo ecológico para evitar la extinción de una especie, reproduciendo los resultados de [1]. Esta técnica se aplica a sistemas que exhiben caos transitorio cuando un parámetro alcanza un cierto valor crítico. El caos transitorio se debe a la presencia de una silla caótica en el espacio fase, la técnica de control parcial aprovecha esto para mantener las trayectorias del sistema dentro del régimen caótico.

Palabras clave: Caos transitorio; control parcial; silla caótica; algoritmo de esculpimiento.

1 Introducción

La técnica de control parcial se aplica a sistemas que tienen un comportamiento caótico transitorio. Esta conducta es consecuencia de la presencia de un conjunto caótico no atractor denominado silla caótica, actuando en el espacio fase. Las sillas caóticas son consecuencia de una crisis de frontera, las cuales resultan de la colisión de un atractor caótico con un punto fijo inestable, o con una órbita periódica inestable que coexiste con el atractor y que se encuentra sobre la frontera de la cuenca de atracción del atractor, dando lugar a una infinidad de puntos homoclínicos transversos. Estos últimos forman parte de la silla caótica, cuyo surgimiento ocasiona la destrucción del atractor caótico y marca el comienzo del denominado caos transitorio.

Según el Teorema de Birkhoff-Smale, alrededor de los puntos homoclínicos transversos el sistema tiene un comportamiento similar al del mapa de la herradura de Smale, el cual es el paradigma de sistema caótico.

La estrategia de control parcial se basa en el hecho de que el sistema que se quiere contro-

lar satisface condiciones muy parecidas a las de Conley-Moser (cf. Condiciones C1 y C2 [4]).

Para sistemas como el de este trabajo (sistema de ODE no lineal, de primer orden) la característica típica de caos transitorio se expresa de la siguiente manera: existe un conjunto Q de condiciones iniciales que contiene a la silla caótica para el cual las trayectoria solución convergen hacia un estado estable o incluso divergen, no sin antes exhibir un comportamiento caótico (dependencia sensible en las condiciones iniciales) dentro de Q .

Toda vez que pueda garantizarse la existencia de un subconjunto Q_∞ de Q , denominado conjunto seguro, la técnica de control parcial mantendrá a las trayectorias del sistema dentro de Q y cerca de la silla caótica aún en la presencia de ruido.

El trabajo se divide en dos partes, primero se explica en que consiste la técnica de control parcial y segundo, se aplica la estrategia de control al modelo ecológico.

2 Fundamento Teórico

Sea $f : \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}^k$ continua, tal que la dinámica de un sistema queda descrita por

$$p_{n+1} = f(p_n), \quad (1)$$

por ejemplo, f puede ser un mapa de retorno.

Supongamos que en subconjunto Q contenido en el espacio fase de f , existe una silla caótica. La intuición dicta que casi todas las trayectorias que inician en Q eventualmente saldrán de este conjunto para converger a otro atractor, o diverger.

Para sistemas como el de este trabajo es común la presencia de perturbaciones, y por ello se incluirá un término de perturbación o ruido ξ_n en cada iteración de (1). Supondremos que las perturbaciones son acotadas, es decir $\|\xi_n\| \leq \xi_0$.

El objetivo es mantener la dinámica de (1) dentro de Q , y para ello será necesario aplicar un control u_n . El sistema resultante es el siguiente

$$\begin{aligned} q_{n+1} &= f(p_n) + \xi_n, \\ p_{n+1} &= q_{n+1} + u_n. \end{aligned} \quad (2)$$

El reto de esta técnica de control es el de mantener las trayectorias dentro de Q con controles tales que $\|u_n\| \leq u_0$, y $u_0 < \xi_0$ (controles más pequeños que el ruido).

En [5] se desarrolla la técnica que logra lo anterior, en particular se establece la base de lo que posteriormente se denominó *conjunto seguro* (Definición 1). Los conjuntos seguros con un conjunto de condiciones iniciales, para las cuales la estrategia de control garantiza que las órbitas de (2) puedan mantenerse dentro de la región en donde la dinámica es caótica. Para ello el mapa debe cumplir las condiciones C1 y C2, tipo Conley-Moser, que no escribimos aquí por falta de espacio.

La construcción del conjunto seguro Q_∞ se lleva a cabo con el denominado Algoritmo de Esculpimiento, que se explica en la siguiente sección. Cabe mencionar que la técnica de control no determina el lugar exacto en Q en donde estarán las órbitas de (2) y por ello a esta estrategia de control se le conoce como *Control Parcial*.

2.1. Algoritmo de esculpimiento

Considere el sistema (2) con $\|\xi_n\| \leq \xi_0$ y suponga que presenta comportamiento caótico transitorio en una región Q cerrada y acotada del espacio fase, dentro de la cual se desea mantener las órbitas, de modo que $\|u_n\| \leq u_0$, con $u_0 \leq \xi_0$.

Definición 1 ([3]) Decimos que $S \subset Q$ es seguro si para cada $q \in S$, la distancia de $f(q) + \xi$ a S es a lo más u_0 para todo $\|\xi\| \leq \xi_0$.

Entonces S es seguro si para toda condición inicial en $p_0 \in S$ y perturbación ξ , siempre es posible encontrar un control u tal que $f(q) + \xi + u \in S$ con $\|u\| \leq u_0$. Esta es la principal característica de los conjuntos seguros de homeomorfismos f que satisfacen condiciones tipo Conley-Moser.

Se definirá el operador de esculpimiento, cuyo propósito es desechar recursivamente todos aquellos puntos p para los cuales no existe un control u con $\|u\| \leq u_0$, tal que $f(p) + \xi + u \in S$.

Definición 2 Sea C un conjunto cerrado y acotado, decimos que p en C es un punto malo para C , si existe $\|\xi\| \leq \xi_0$ tal que la distancia de $f(p) + \xi$ a C es más grande que u_0 .

Definición 3 Sea $\Psi : P(\mathbb{R}^k) \rightarrow P(\mathbb{R}^k)$,

$$\Psi(S) := \{p \in S : p \text{ no es malo para } S\}.$$

Ψ se llama operador de esculpimiento.

Para encontrar un conjunto seguro en Q procederemos de la siguiente manera, sea $S_0 = Q$ y

$$S_n := \Psi(S_{n-1}) \quad \forall n \geq 1$$

Entonces S_n contiene a los puntos de S_{n-1} para los cuales es posible regresar a S_{n-1} en presencia de una perturbación y bajo la acción de un control.

Resulta que si S compacto, entonces $\Psi(S)$ es compacto. Existe la posibilidad de que algún S_n sea vacío, en tal caso el conjunto seguro también

será vacío. De lo contrario, si todo S_n es no vacío y al ser cada S_n compacto se sigue que

$$S_\infty := \bigcap_{n \in \mathbb{N}} S_n$$

es no vacío. Note que $S_0 \supset S_1 \supset \dots \supset S_n \supset \dots$. Puede demostrarse que S_∞ es seguro y además es el conjunto más grande que satisface la definición. El cálculo de S_∞ no es una tarea fácil y por ello daremos una condición suficiente para decir cuándo un conjunto es seguro.

Sea A un conjunto cualquiera y $A + d$ el conjunto de puntos que distan de A a lo más d , similarmente $A - c$ es el conjunto de puntos en A que distan del exterior de A al menos c .

Puede demostrarse que S es seguro si $f(S)$ está contenido en $(S + u_0) - \xi_0$.

Dado lo anterior convenimos en redefinir al conjunto de puntos que no son malos para S_n , de la siguiente manera:

$$S_{n+1} = \{p \in S_n : f(p) \in (S_n + u_0) - \xi_0\}$$

Así, el problema se reduce a calcular los conjuntos $(S_n + u_0) - \xi_0$. Al proceso de encontrar el conjunto S_∞ se le conoce como *Algoritmo de Esculpimiento*.

2.2. Implementación numérica del algoritmo de esculpimiento

Una vez elegido Q es necesario calcular la imagen de Q bajo (2), para ello se tomarán puntos de Q sobre una malla suficientemente fina para garantizar que la distancia entre cualesquiera dos puntos vecinos sea menor que u_0 . Cabe decir que en nuestro caso Q es un intervalo el cual se particionó de manera uniforme. Al conjunto de puntos sobre la malla lo llamaremos Q_0 .

Haciendo $S_0 = Q_0$, los siguientes S_n serán subconjuntos de Q_0 , S_n convergerá a un S^* , es decir $S_n = S^*$ para todo $n \geq n_0$, en tal caso convendremos en que $S_\infty = S^*$.

Sea $[[p]]$ el punto de Q_0 más cercano a p . El siguiente proceso se aplica iterativamente como

se explica en el siguiente párrafo. Para un subconjunto A de Q_0 se calculan todos los puntos que están a distancia a lo más u_0 de A , es decir, se calcula $A + u_0$. Después se obtienen todos los puntos de $A + u_0$ que estén a distancia al menos ξ_0 del exterior de $A + u_0$, el resultado es el conjunto $(A + u_0) - \xi_0$. Luego, para cada punto p en A se determina $[[f(p)]]$ y se verifica si $[[f(p)]]$ pertenece a $(A + u_0) - \xi_0$, si no, entonces diremos que p es malo para A .

Para obtener S_k primero se calcula $(A + u_0) - \xi_0$ con $A = S_0$. Para cada $p \in S_0$, si p es malo, se desecha y no pertenecerá a S_1 . Una vez obtenido S_1 , se calcula nuevamente $(A + u_0) - \xi_0$ con $A = S_1$ y se produce S_2 quitando todos aquellos elementos de S_1 que resultan ser malos para S_1 . Se hace esto un número finito de veces hasta que $S_n = S^*$ para todo $n \geq n_0$.

3 Modelo ecológico

El modelo ecológico consiste de un sistema de tres ecuaciones diferenciales no lineales que describen la dinámica entre tres especies que componen una cadena alimenticia: recurso R , presa o consumidor C y predadores P . La especie consumidor se alimenta de la especie recurso, y la especie depredador se alimenta de la especie consumidor pero no de la especie recurso.

El modelo de Duarte *et al* consiste en el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales no lineales:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dt} &= R \left(1 - \frac{R}{K} \right) - \frac{x_c y_c C R}{R + R_0} \\ \frac{dC}{dt} &= x_c C \left(\frac{y_c R}{R + R_0} - 1 \right) - \psi(P) \frac{y_p C}{C + C_0} \\ \frac{dP}{dt} &= \psi(P) \frac{y_p C}{C + C_0} - x_p P. \end{aligned} \quad (3)$$

En donde

$$\psi(P) = x_p(1 - \sigma)P + x_i \sigma P^2.$$

Cuando $\sigma = 0$ se obtiene el modelo de McCann y Yodzis,

$$\begin{aligned}
\frac{dR}{dt} &= R \left(1 - \frac{R}{K} \right) - \frac{x_c y_c C R}{R + R_0} \\
\frac{dC}{dt} &= x_c C \left(\frac{y_c R}{R + R_0} - 1 \right) - \frac{x_p y_p C P}{C + C_0} \\
\frac{dP}{dt} &= x_p P \left(\frac{y_p C}{C + C_0} - 1 \right).
\end{aligned} \quad (4)$$

La extensión de Duarte *et al* del modelo de McCann y Yodzis agrega un parámetro σ que representa la fracción de la población de predadores que cooperan para cazar, mientras que el resto $(1 - \sigma)$ cazan individualmente (sistema (3)).

De acuerdo con [2], estableceremos $x_c = 0.4$, $y_c = 2.009$, $x_p = x_i = 0.08$, $y_p = 2.876$, $R_0 = 0.16129$ y $C_0 = 0.5$.

Cuando $\sigma = 0$ y $K = 0.99$ existen dos atractores en el espacio fase de (4), uno de ellos es un atractor caótico y el otro es un ciclo límite (Figura 1).

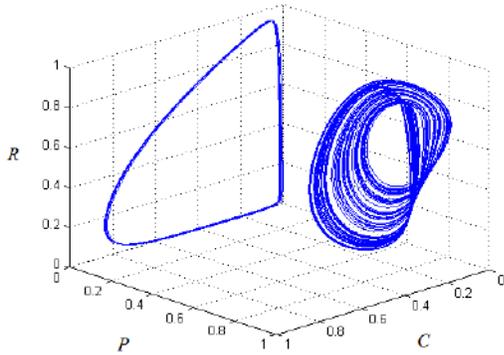
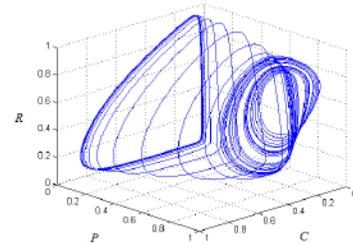


Figura 1: Trayectorias sobre el atractor caótico y ciclo límite de (4), con $K = 0.99$.

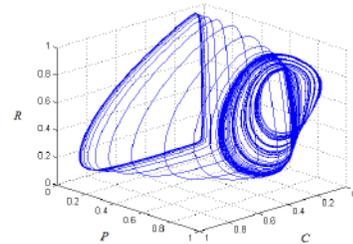
Se usó la función *lyapunov* de MATLAB para calcular los exponentes de Lyapunov del sistema (4). Para la trayectoria con condición inicial $(0.85687, 0.14404, 0.87407)$ de la Figura 1, calculamos hasta $t = 30000$, los exponentes de Lyapunov son 0.1088 , -0.0503 y -0.4340 . Notemos que el primer exponente de Lyapunov es positivo, una característica de sistemas que presentan comportamiento caótico. La existencia del ciclo límite se puede evidenciar haciendo un análisis del comportamiento de las trayectorias sobre el

plano $P = 0$, pues este es positivamente invariante bajo los sistema (3) y (4).

Hasta el momento se ha estudiado el sistema (4) cuando $\sigma = 0$ y $K = 0.99$. A partir de este punto consideraremos dos rutas y las hemos de abordar simultáneamente. La primera ruta está dirigida a reproducir los resultados de [1] con el sistema (3) y parámetros $\sigma = 0.07 > 0$ y $K = 0.99$, el cual denominaremos MYD. Si en este sistema $\sigma > \sigma_c = 0.04166$ ocurre una crisis de frontera, entonces se puede observar comportamiento caótico transitorio en el espacio fase (ver figura 2a). En la segunda ruta se abordará el sistema (4) donde $\sigma = 0$, luego fijaremos $K = 1$, y lo denominaremos MY. Este sistema exhibe caos transitorio, y la crisis de frontera ocurre cuando $K_c \approx 0.99904$ (ver figura 2b). En ambos escenarios, después de la crisis de frontera el atractor caótico es destruido y el ciclo límite se vuelve el único atractor en el espacio fase. Como el ciclo límite se sitúa en el plano $(R, C, 0)$, para casi todas las condiciones iniciales la población de predadores disminuye hasta ser cero, es decir, se extingue.



(a) Trayectoria MYD.



(b) Trayectoria de MY.

Figura 2: Caos transitorio en MYD y MY.

El objetivo es evitar la extinción de los depredadores aplicando la estrategia descrita ante-

riormente, en virtud del comportamiento caótico transitorio.

La técnica de control parcial toma en cuenta perturbaciones externas, las cuales ocurren con frecuencia en la dinámica de una cadena alimenticia, por ejemplo, la caza furtiva. También puede pensarse en las perturbaciones como errores del esquema numérico. Al controlar sistemas que describen situaciones reales es de vital importancia intervenir lo menos posible, una de las ventajas del control parcial es precisamente que la magnitud promedio del control es menor que la magnitud promedio de la perturbación.

4 Estrategia de control para el modelo ecológico

Para aplicar el algoritmo de esculpimiento necesitamos definir un mapa f y una región Q dentro del espacio fase en donde se desea mantener la dinámica. Aprovechando las propiedades específicas del sistema ecológico, se definirá un mapa unodimensional de la siguiente manera. Se calculan los mínimos locales t_n de $P(t)$, y se generan puntos

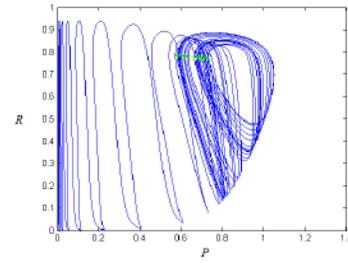
$$(R_n, C_n, P_n) = (R(t_n), C(t_n), P(t_n)).$$

Cuando $P(t)$ alcanza un mínimo, es visible que los correspondientes valores de $R(t)$ y $C(t)$ son casi constantes, pues los puntos (P_n, R_n) y (P_n, C_n) forman una recta en los planos PC y PR cuyas pendientes son muy pequeñas (figura 3), esto nos permite restringirnos a controlar únicamente a la variable P .

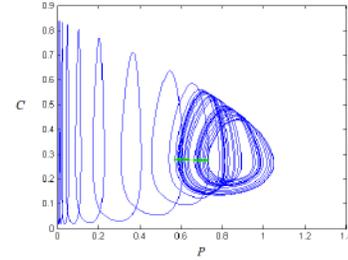
El mapa f se define como $f(P_n) = P_{n+1}$ para ambos sistemas. Al calcular los mínimos locales de una condición inicial se generan una cantidad no muy grande de puntos P_n , por ello se decidió calcular los P_n para mil condiciones iniciales, que se tomaron del cubo

$$\Omega = [0.14, 0.89] \times [0.12, 0.54] \times [0.57, 1.05].$$

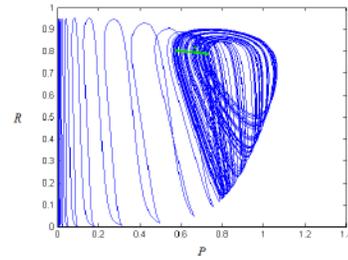
En cada intervalo $[a, b]$ que conforma Ω , a corresponde a la media de los mínimos de $R(t)$, $C(t)$, $P(t)$ respectivamente, y b es la media de los máximos



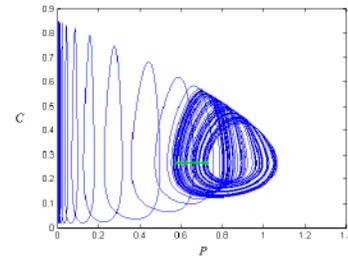
(a) Puntos (P_n, R_n) en el plano PR para MYD.



(b) Puntos (P_n, C_n) en el plano PC para MYD.



(c) Puntos (P_n, R_n) en el plano PR para MY.



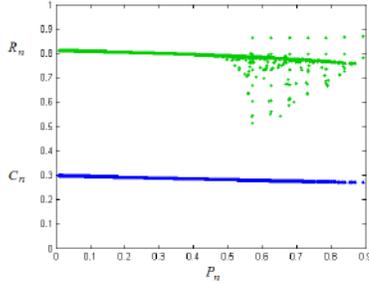
(d) Puntos (P_n, C_n) en el plano PC para MY.

Figura 3: Puntos (P_n, R_n) y (P_n, C_n) .

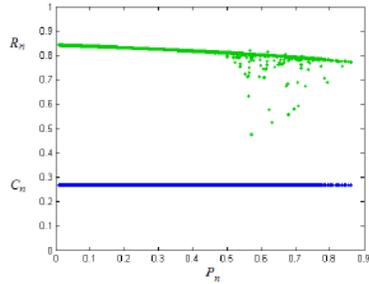
de $R(t)$, $C(t)$, $P(t)$, respectivamente, de 17 condiciones iniciales cuyas trayectorias permanecían sobre el atractor hasta antes de la crisis de frontera.

Se estimaron los mínimos relativos de $P(t)$ para cada una de las mil condiciones iniciales, y se obtuvo la Figura 4, en donde es posible observar que los valores C_n son casi constantes (puntos en azul); sin embargo, este no fue el caso

de los valores R_n (puntos en verde). Esto último no se reporta en [1], nosotros sí lo resaltamos porque para aquellos puntos que se salen de la línea recta que gobierna el comportamiento de los mínimos, la técnica de control hace más esfuerzo por mantener la dinámica dentro de la región.



(a) Puntos (P_n, C_n) y (P_n, R_n) para MYD.



(b) Puntos (P_n, C_n) y (P_n, R_n) para MY.

Figura 4: En las subfiguras (4a) y (4b) se muestran en azul los puntos (P_n, C_n) y en verde los puntos (P_n, R_n) , para MYD y MY, respectivamente.

Considerando las asignaciones

$$\bar{f}_{MYD} : P_n \mapsto P_{n+1} \quad \text{y} \quad \bar{f}_{MY} : P_n \mapsto P_{n+1}$$

para los sistemas MYD y MY, que se ilustran en la Figura 5, se puede observar que f forma una curva bien definida para ambos casos. Para calcular los conjuntos seguros se necesita conocer $\bar{f}_{MYD}(p)$ y $\bar{f}_{MY}(p)$ para cualquier p en la región Q , por esta razón se consideró un ajuste polinomial para las parejas ordenadas (p_n, p_{n+1}) .

En la Figura 5 se aprecia que cada f posee dos puntos fijos, p_{MYD}^* y p_{MY}^* denotan a los puntos fijos de menor magnitud del sistema MYD y MY, respectivamente. Si $p < p^*$ entonces las órbitas bajo el mapa f_{MYD} (y f_{MY}) tienden a cero, por ello únicamente nos fijaremos en valores

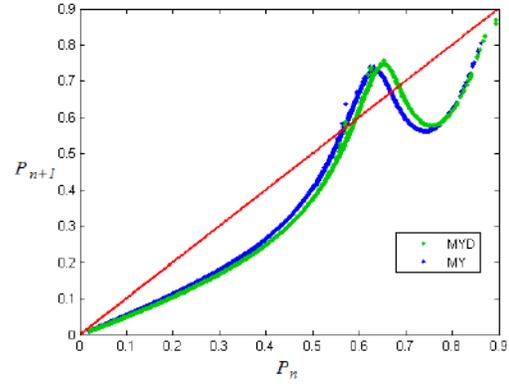


Figura 5: En verde los 9,437 pts. (P_n, P_{n+1}) para MYD. En azul los puntos para MY (total 15,838 pts.). En rojo la recta identidad.

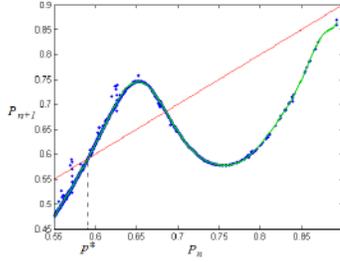
por encima de p^* como se ilustra en la Figura 6. Se eligió un ajuste polinomial de grado 13 para el sistema MYD y de grado 14 para el sistema MY. Se aplicará el algoritmo de esculpimiento sobre f_{MYD} y f_{MY} .

En nuestro caso la región Q es un subintervalo cerrado y acotado. Dado que todas las condiciones iniciales $p_0 < p^*$ tienden a cero, estas se excluirán de la región Q . Luego, $P(t)$ no tiene mínimos locales mayores que 0.84, por lo tanto tomaremos $Q = [p^*, 0.84]$ para ambos casos. El siguiente paso es calcular los conjuntos seguros.

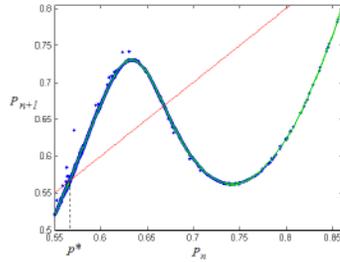
Tomaremos $\xi_0 = 0.0114$ y $u_0 = 0.0076$ como en [1]. Las figuras 7 muestran las iteraciones hacia el conjunto seguro para cada sistema. En rojo se aprecia el conjunto seguro final Q_∞ .

Ahora se aplica la técnica de control parcial. A continuación, se describe el algoritmo para MYD, para aplicarlo a MY únicamente se deben sustituir los valores que son exclusivos para ese sistema.

Sea $X_0 = (R_0, C_0, P_0)$, en donde $P_0 \in Q_\infty$. $R_0 = m_R P_0 + b_R$, y similarmente $C_0 = m_C P_0 + b_C$ donde m_R y b_R son la pendiente y término constante del ajuste polinomial de grado uno de los puntos (P_n, R_n) de la figura 4 (análogamente se obtienen m_C y b_C con los puntos (P_n, C_n)). Se resuelve el sistema de ecuaciones (3) con la condición inicial X_0 . Cuando $P(t)$ alcanza un mínimo local P_n , entonces se aplica una perturbación ξ_n aleatoria con $|\xi_n| \leq \xi_0$.

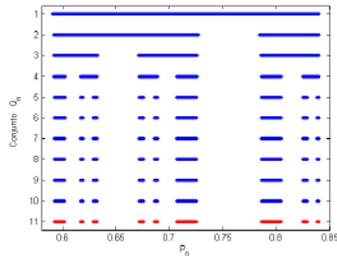


(a) Función f_{MYD} , donde $p_{MY}^* = 0.56607$

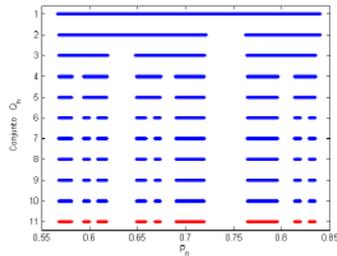


(b) Función f_{MY} , donde $p_{MY}^* = 0.56607$.

Figura 6: Ajustes polinomiales usando la función *polyfit* de MATLAB.



(a) Iteraciones al conjunto seguro final Q_∞ (en rojo) para MYD.



(b) Iteraciones al conjunto seguro final Q_∞ (en rojo) para MY.

Figura 7: Conjuntos seguros.

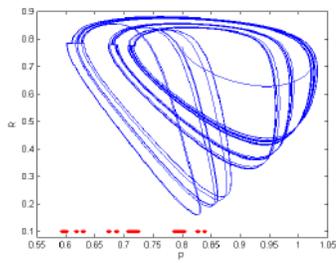
Si $P_n + \xi_n$ no pertenece al conjunto seguro, se debe encontrar u_n que por definición de conjunto seguro existe y satisface $|u_n| \leq u_0$, tal que $P_{n+1} = P_n + \xi_n + u_n \in Q_\infty$. Usando el conjunto de parejas ordenadas (P_n, R_n) y (P_n, C_n) , se aproximará nuevamente la recta definida por el conjunto de mínimos en los planos PC y PR mediante un ajuste polinomial de grado 1, obteniéndose nuevamente constantes m_R, b_R, m_C y b_C . Se calcula nuevamente la solución numérica del sistema MYD con la condición inicial $(P_{n+1} m_R + b_R, P_{n+1} m_C + b_C, P_{n+1})$.

Por el contrario, si $P_n + \xi_n \in Q_\infty$ tomaremos $u_n = 0$ y nuevamente se integrará numéricamente el sistema con condición inicial $(P_{n+1} m_R + b_R, P_{n+1} m_C + b_C, P_{n+1})$, donde $P_{n+1} = P_n + \xi_n$. El proceso se itera nuevamente las veces que sean necesarias. La elección de u_n puede hacerse de distintas maneras, nosotros elegimos el u_n de menor magnitud que hace posible $p_{n+1} \in Q_\infty$.

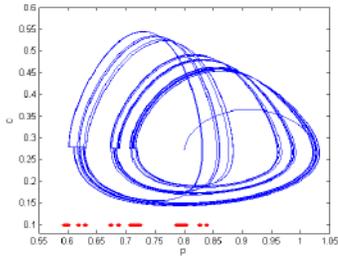
Las figuras 8 y 9 muestran los resultados de la técnica de control sobre el sistema MYD y MY respectivamente.

Note que se logró mantener a las trayectorias del sistema tres dimensional dentro de una región, evitando la extinción de los depredadores con un control mínimo (i.e. $|u_n| \leq u_0 < \xi_0$).

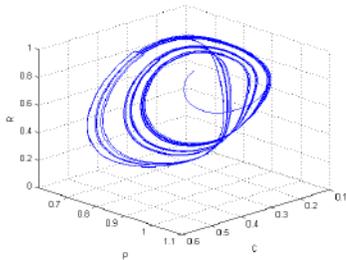
La figura 10 muestra la magnitud de los controles y perturbaciones vs n . Obsevamos que, en teoría, $|u_n| \leq u_0$, pero la subfigura (a) muestra una instancia de lo contrario. Hay un u_n (de 50) que rebasa la cota de control u_0 . Este detalle requiere de un análisis más profundo. Es posible que sea consecuencia de una acumulación de errores numéricos. Sin embargo, la media de las magnitudes de los controles sigue siendo considerablemente menor que la media de las magnitudes de las perturbaciones.



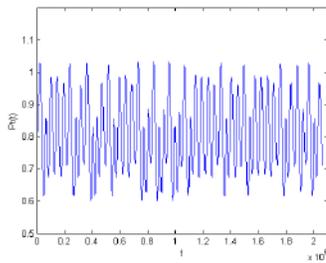
(a) Plano PR .



(b) Plano PC .



(c) Trayectoria controlada.

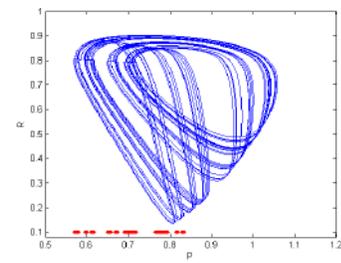


(d) Serie $P(t)$ controlada.

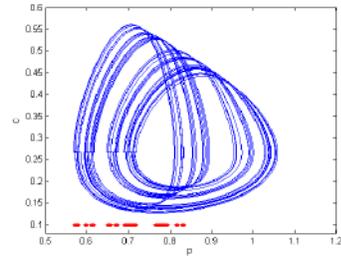
Figura 8: Trayectoria caontrolada para MYD con condición inicial $(0.77081, 0.27187, 0.8)$.

5 Conclusiones

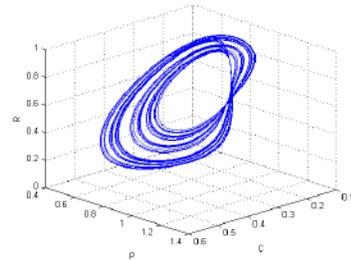
Se corroboró el hecho contraintuitivo de evitar la extinción de $P(t)$ aplicando un control u_n más pequeño que la perturbación ξ_n , logrando reubicar a P dentro del conjunto seguro y así mantener la dinámica dentro de la región de interés. Es importante notar que el efecto de la



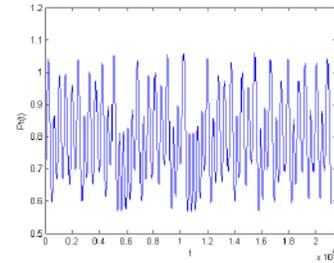
(a) Plano PR .



(b) Plano PC .



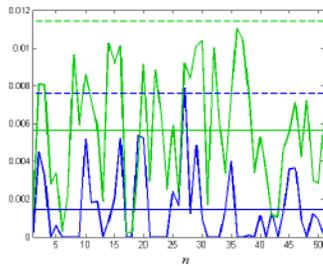
(c) Trayectoria controlada.



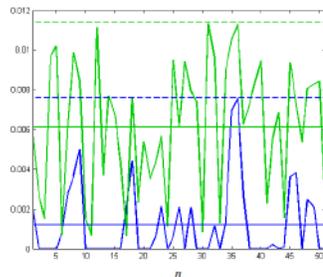
(d) Serie $P(t)$ controlada.

Figura 9: Trayectoria controlada para MY con condición inicial $(0.79413, 0.26652, 0.7)$.

técnica de control no recae únicamente sobre la variable P . Reubicar a $P(t)$ dentro del conjunto seguro también requiere desplazar a $R(t)$ y a $C(t)$, ya que la nueva condición inicial se encuentra sobre los segmentos de recta de la figura 4. Por último, para contrastar con lo anterior, después de realizar numerosas simulaciones, hemos observado que la técnica de control parcial



(a) Sistema MYD



(b) Sistema MY

Figura 10: n vs u_n (azul), n vs ξ_n (verde). Las líneas punteadas verde y azul son las cotas ξ_0 y u_0 respectivamente. La línea continua verde representa la media de las magnitudes de las perturbaciones, y la azul la media de las magnitudes de los controles.

es robusta, es decir que aún cuando la condición inicial (R_0, C_0, P_0) no corresponde a un conjunto seguro, la estrategia de control parcial logra todavía mantener al sistema dentro del régimen transitorio.

Referencias

- [1] R. Capens, J. Sabuco, and M. A. F. Sanjun. When less is more: Partial control to avoid extinction of predators in an ecological model. *Ecological Complexity*, 19, 2014.
- [2] K. McCann and P. Yodzis. Bifurcation structure of a three-species food chain model. *Theoretical Population Biology*, 48:93–125, 1995.
- [3] J. Sabuco, S. Zambrano, M. A. F. Sanjuán, and J. A. Yorke. Finding safety in partially controllable chaotic systems. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat*, 17:4274–4280, 2012.

- [4] S. Zambrano and M. A. F. Sanjuán. Exploring partial control of chaotic systems. *Phys. Rev E*, 79, 2009.
- [5] S. Zambrano, M. A. F. Sanjuán, and J. A. Yorke. Partial control of chaotic systems. *Phys. Rev. E*, 77, 2008.

Simulación de lluvia extrema utilizando herramientas GIS e Iber en Jalpa de Méndez, Tabasco

A. Zapata Hernández¹, E. Munguía Balvanera¹,
R. Esther Hernández Jiménez¹, G. Lizbeth López Broca²
J. Alavez-Ramírez^{3*}

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, UJAT

²CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional

³División Académica de Ciencias Básicas, UJAT

*Autor por correspondencia: justino.alavez@ujat.mx

Resumen

El propósito de este trabajo es la simulación de lluvias intensas en la zona de planicie costera susceptible a inundaciones en Tabasco en la cabecera municipal de Jalpa de Méndez. Para realizar la investigación se utilizó un Modelo Digital de Elevaciones amplio y se extrajo la zona que contenía al poblado, se utilizaron herramientas de QGIS para determinar la zona de inundación y se eligieron dos registros de lluvias reales para simularlas en Iber. Se pensó que si se simulaban las lluvias se podrían comparar los resultados con las zonas de inundación y la experiencia de la población. Se comprobó que la lluvia se acumuló en lugares donde anteriormente corría el agua en antiguos ríos antes que se cubrieran con construcciones. Para otras simulaciones se debe pensar en modelar zonas de antiguos causes y proponer canales, para que el agua fluya, preferentemente por donde antes era un río.

Palabras clave: Simulación lluvia; Iber; mapas inundación; GRASS; planicie costera.

1 Introducción

Las inundaciones fluviales son procesos naturales y se generan por periodos de tiempo, en ocasiones prolongados y en otras de intensa lluvia, y que son la causa de afectaciones en poblaciones. Sin embargo, la lluvia trae como beneficio la formación de las llanuras en los valles de los ríos, contribuye a formar tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura, a la distribución de sedimento para formar costas o enriquecer el suelo. Por estas razones no se piensa en la lluvia como un desastre, más bien como un bien que no se a sabido manejar

en las ciudades, [11].

El análisis de una lluvia o una tormenta depende de muchos aspectos, la lluvia es muy variable y diversa. Oficialmente se clasifica la intensidad de la lluvia según la cantidad registrada en una hora, de tal modo que se pueda clasificar como lo hacen en España: lluvias débiles, moderadas, fuertes, muy fuertes, torrenciales. En México se clasifican como se muestra en la tabla 1, [3]. Sin embargo, en una hora pueden suceder varios acontecimientos relacionados con la precipitación; sobre todo en territorio de planicie costera sujeta a nortes y huracanes. La limitación de esta investigación es precisamente no alcanzar

a simular la lluvia por minutos. El análisis solo se modelará por hora de lluvia, y si lo amerita la investigación en horas prolongándose a días.

Tabla 1: Clasificación de la lluvia según la precipitación por cada hora.

Lluvia intensa a extraordinaria	> 75 mm
Lluvia fuerte a muy fuerte	De 25 a 75 mm
Lluvia	< 25 mm

Las imágenes generadas mediante un sistema de información geográfica (SIG) en un raster son muy ilustrativas cuando el tema es de inundaciones. Las zonas de inundación, aunado a las simulaciones de lluvias que sucedieron en una población son fáciles de mostrar en imágenes o raster. Con base en la topografía se pueden registrar los acumulamientos donde se amontona el agua, estos hacinamientos pueden desempeñar un papel importante para la toma de decisiones en la construcción de infraestructura y determinar el impacto en los escurrimientos o en el diseño de políticas apropiadas. Políticas que pueden ayudar en la gobernanza para la mitigación del riesgo hidrológico, [12].

En la actualidad la población de Tabasco no tiene los suficientes instrumentos para prever una inundación y lograr participar en la generación de políticas de prevención, dado la gran gama de criterios que hay, aún cuando la población en Tabasco está sometida a inundaciones a lo largo de su territorio. No existe la suficiente información para que la población tome decisiones antes, durante y después de una inundación. La falta de información por parte de la población dificulta una buena coordinación con las instituciones de protección civil, siendo estas últimas quienes tienen que tomar unilateralmente las decisiones, marginando las propuestas que la población pudiera aportar, [12].

La inundación puede suceder por desbordamiento de un río, por tormentas puntuales, o por ambos casos. Puede ser en una gran extensión del territorio o sólo en una parte muy puntual del territorio. Pero también pueden suceder lluvias intermitentes que pudieran durar días, acumulándose la lluvia, ésta se retiene por saturarse

el desagüe. Es decir, hay una gran complejidad para la determinación de la prevención del riesgo, pero no obstante, ello debe hacerse con la mayor claridad, para que, en forma didáctica se le muestre e instruya a la población. Una población consiente puede aportar a la toma de decisiones y llevar a cabo una sana gobernanza, [12].

Así, no es sólo en que llueva en forma intensa o extraordinaria; por ejemplo 80 mm en una hora; importa en la forma que se precipitó la lluvia en dicha hora, si llovió esa cantidad en 10 minutos o en los 60 minutos; como suele suceder en Tabasco con lluvias torrenciales, que pueden suceder lluvias intensas en periodos de tiempo cortos. Por ello, también es importante saber si los 80 mm se precipitaron de forma regular o de forma muy irregular. Pero también, cómo fue la lluvia antes de la hora mencionada y después de la hora mencionada. Inclusive, hay que considerar los días anteriores y posteriores a la lluvia. Por ello, en este documento se decide trabajar con lluvia real extraída de un registro, por el momento, por hora de lluvia como es reportada por [4], pero la metodología se podría modificar con facilidad en periodos de minutos.

Por ello se piensa que es necesario presentar simulaciones de lluvias que sucedieron y que la población evalúe las consecuencias de dichas lluvias. Lluvias que fueron notorias por ser tormentas o notorias por ser prolongadas en el tiempo.

Este documento es solo un aporte en cuanto a la metodología de la simulación de la lluvia y un ejemplo de la utilización de los registros de lluvia de estaciones cercanas en donde se tomaron los datos. Como muestra de lo que aconteció o llegara a acontecer si la lluvia se hubiera precipitado en la población de Jalpa de Méndez. Lo ideal es que el monitoreo de la lluvia existiera en cada población, o generar una red de pluviómetros suficientes para determinar la lluvia en forma puntual y continua.

Por ello, el objetivo de este documento es simular lluvia registrada en pluviómetros cerca de la población de Jalpa de Méndez, Tabasco para comparar los acumulamientos de lluvia con

zonas de inundación según la topografía del terreno.

1.1. Modelos deterministas y paramétricos de inundación

A nivel mundial los desastres se han incrementado, al aumentar la población, e invadir los valles de los ríos o zonas bajas, aumenta su riesgo de inundación. Las inundaciones son consideradas entre los desastres más dañinos ocasionados por el agua. Medir el riesgo de una inundación es difícil pues involucra una gran cantidad de variables. Existen metodologías de análisis de riesgo para determinar la inundación de una zona, principalmente en zonas urbanas.

[5], agrupa en dos conjuntos el análisis de riesgo por inundación, determinista o cuantitativos y paramétricos o cualitativos. El modelo determinista usa modelación numérica para simular la inundación bajo diferentes escenarios, con base en dichos escenarios se asignan costos al tirante ocasionado por la inundación; esto se logra valorando la infraestructura de la zona urbana. El modelo determinista se puede apoyar, también, con los avances que hay en SIG y las grandes bases de datos sobre la población generadas por el [6].

Los modelos paramétricos o cualitativos buscan simplificar la complejidad del fenómeno de inundación mediante los índices *Flood Vulnerability Index* (FVI). Sin embargo, este debate margina la urgente necesidad de incorporar a la población en la toma de decisiones, por lo que en este documento se intenta, mediante software libre y con información disponible del INEGI crear imágenes que sean entendibles para la población en general y lograr incorporarla a la toma de decisiones.

2 Metodología

En la Figura 1 muestra el diagrama de las acciones para obtener la simulación de la lluvia. En los rectángulos está la operación efectuada y

los números indican en los siguientes párrafos la descripción de la acción efectuada.

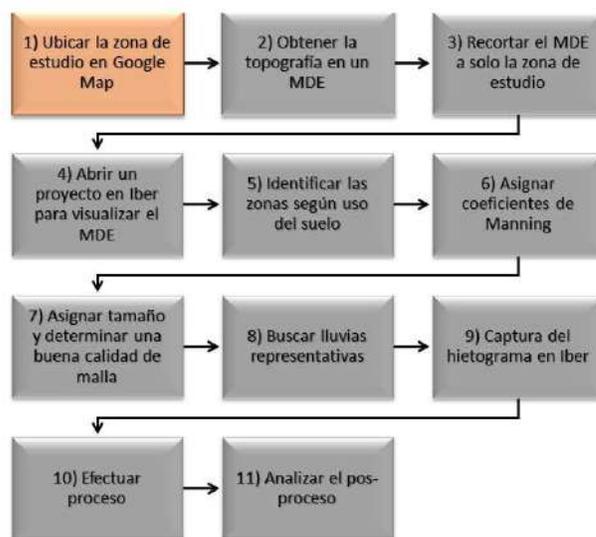


Figura 1: Diagrama de flujo de acciones.

1) Ubicar la zona de estudio en un servidor de aplicaciones de mapas, y de preferencia que esté disponible en la web. También que ofrezca imágenes de mapas desplazables, así como fotografías por satélite e incluso las rutas de acceso a la zona de estudio. Mediante este mapa se puede obtener el acceso a la zona de estudio y la orografía. También se puede ubicar las estaciones meteorológicas mediante las coordenadas. Las estaciones están disponibles en la página de la [3]. Es importante que las estaciones meteorológicas escogidas no sean lejanas ni con cambios en la orografía. En la Figura 2 se muestra la zona de estudio, del mapa de la República Mexicana se marca en rojo el estado de Tabasco, posteriormente el municipio de Jalpa de Méndez y, dentro de él la cabecera municipal, tema de estudio de este documento. En la nota al pie de la Figura 2, se indican los AGEBS obtenidos de la base de datos del [6], así como la información de las principales calles. Estas calles son obtenidas en un SIG vectorial proporcionado por INEGI. Se agregaron los nombres de las principales calles y los lugares importantes para ubicar al observador.

2) Obtener la topografía de la zona de estudio, tanto con una visión amplia, como la zona en

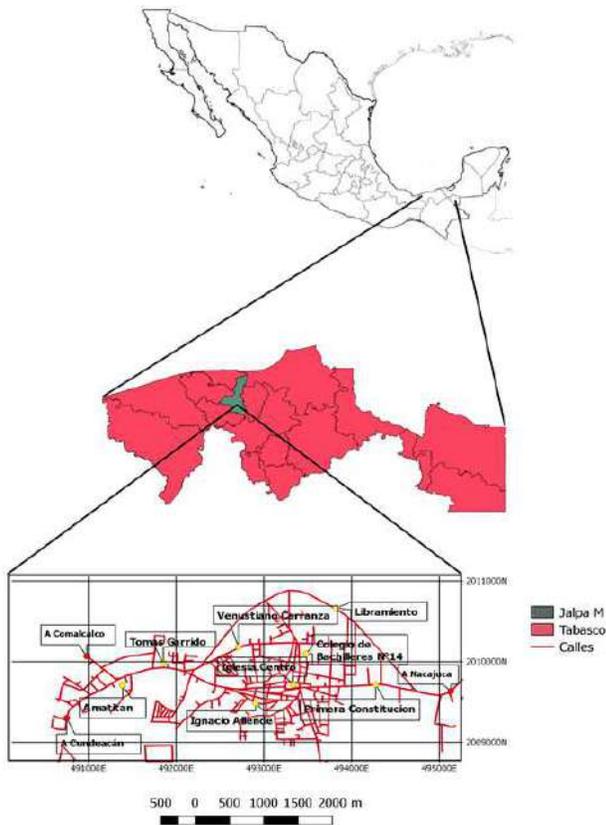


Figura 2: Ubicación J. Mdez indicando sus calles principales, obtenidas de los AGEBS: 0203, 0129, 0218 y 0114.

sí. La visión amplia es con la finalidad de determinar los antiguos escurrimientos. En el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), se puede apreciar los antiguos escurrimientos que en el raster se hacen notar. Los causas más antiguos se visualizan más borrosos (ver Figura 3). Según INEGI se presenta el cubrimiento cartográfico E15 y la zona A89. Como se puede apreciar las elevaciones oscilan entre 14.6 metros a 0.736 metros que puede ser el fondo parcial de un cuerpo de agua o similar, [8].

3) Se recorta la zona de estudio, este recorte es mediante un polígono. El polígono puede ser regular o irregular, según convenga, pero si debe ser más amplio que la zona urbana. En el acercamiento de la figura 3 (ver recuadro y figura 4) se hacen notar los antiguos escurrimientos que atraviesan la ciudad. Por lo general, es esos antiguos escurrimientos se encauza el agua cuando hay exceso de precipitación (ver Figura 4).

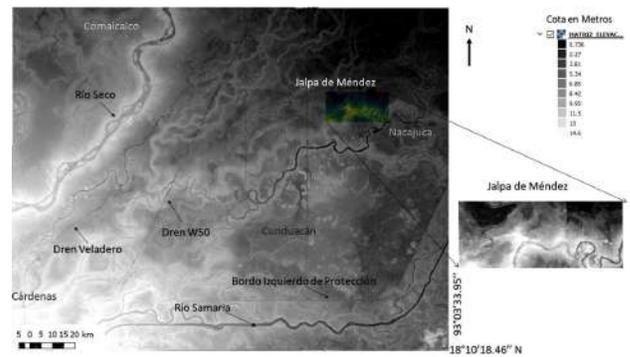


Figura 3: Cubrimiento cartográfico E15, zona A89 según INEGI.

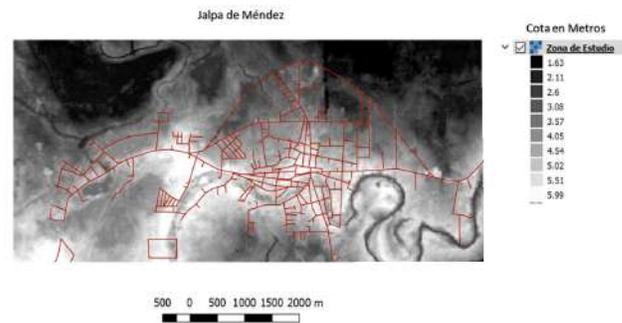


Figura 4: MDE de la zona de estudio.

4) Abrir un proyecto en Grass, [1, 9, 10], para determinar las zonas de inundación y acumulación del flujo se utiliza Grass. Estos rasters serán útiles para verificar las zonas de inundación por lluvia y confirmar niveles de tirantes generados por la precipitación (ver Figura 5). Igualmente, abrir un proyecto en Iber, [2], para realizar el pre-proceso de los escurrimientos debidos a la lluvia.

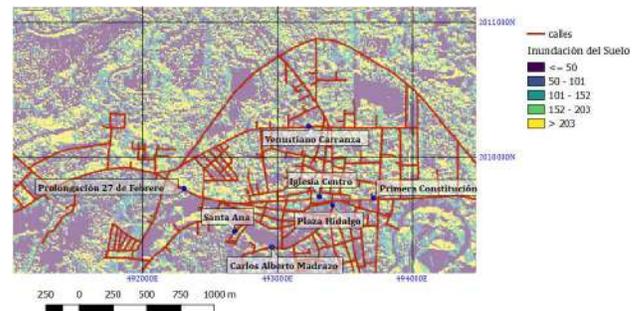


Figura 5: Zonas de inundación obtenidas de Grass.

5) Identificar en la zona de estudio según el uso del suelo en sub-zonas o zonas más pequeñas,

como superficies limitadas para asignar parámetros como son, el tamaño de la malla y los coeficientes de Manning; valores indispensables para efectuar la simulación de escurrimientos en Iber (ver Figura 6).

6) Para asignar los coeficientes de rugosidad o de Manning, existen tablas donde se indican los rangos de dichos coeficientes. El analista debe establecer un criterio para aplicar dichos factores. Se pueden delimitar zonas de interés que se deseen con una malla más fina, el analista propone los valores según criterio y experiencia. Iber revisa la eficiencia de la malla, como se muestra en la figura 7.

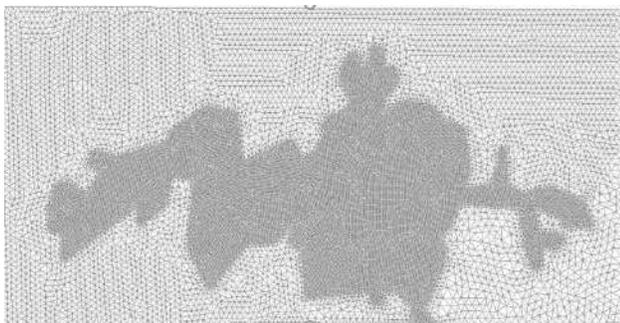


Figura 6: Zona de estudio. Coeficientes de Manning: pradera=0.065, árboles=0.15 y hormigón=0.018. Tamaño de la malla: ciudad=15, pradera=45 y árboles=60.

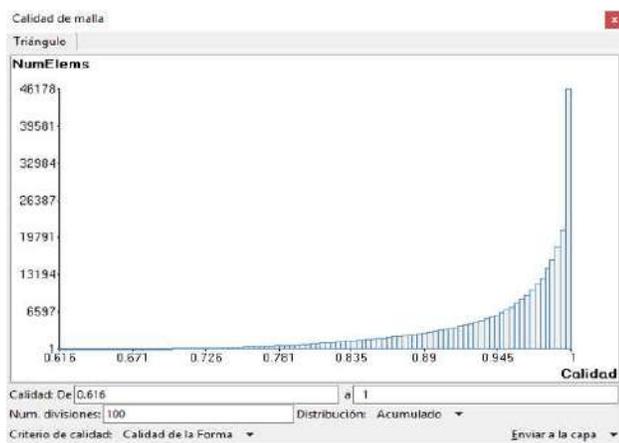


Figura 7: Gráfica de la optimización del mallado.

7) En este paso se utiliza el proyecto del software Iber para hacer la simulación de lluvia. En el software se asignan superficies Nurbs a cada

zona delimitada con anterioridad en el paso 5), cada superficie Nurbs tiene asignado un coeficiente de Manning y un tamaño de malla (ver Figura 6). La optimización de la malla es importante para obtener buenos resultados y reducir el tiempo de cómputo. Iber realiza el mallado, pero el usuario debe establecer el tamaño de la malla. El tamaño es más fino donde interese una precisión mayor y más amplia donde se requiera información global. La combinación de diferentes tamaños de malla debe tener un cierto óptimo, en la Figura 7, después de 6 pruebas, se muestra la gráfica de optimización según lo indica el manual de Iber.

8) Para asignar la lluvia, CONAGUA efectúa un informe en forma de tabla en donde está reportada la precipitación de las estaciones pluviométricas de México, dicho reporte informa de la lluvia por cada hora y por día iniciando desde las 8 AM. También se pueden encontrar para los estados de Chiapas y Tabasco en el portal Juchimán, [7]. La lluvia está representada por diferentes tiempos, desde 10 minutos hasta una hora. Pero el hietograma se aplica en Iber por hora. Por ello, la base de datos debe estar por hora de precipitación. Para elegir la lluvia se revisaron las estaciones cercanas a la zona de estudio, la Figura 8 muestra la ubicación de dichas estaciones, algunas de ellas no tienen una información confiable, por ello se tomaron la estación 64 (estación Oxiacaque) y 49 (estación Samaria). Estas estaciones son las cercanas a la zona de estudio y que forma parte de la planicie costera de Tabasco. Para esta zona no cambia la orografía, y por lo tanto se caracterizan las lluvias en forma similar. Las estaciones El Mango, La Posta y San Cipriano se descartaron porque se detectó información no confiable.

En la Figura 9 se muestra el histograma de la estación 49, en dicho histograma se eliminaron las horas sin lluvia. Las flechas indican donde se realiza un análisis puntual de la precipitación (ver Figura 9). El periodo de tiempo del análisis es del día 16 de marzo del 2016 a las 9:30 al día 30 de agosto del 2017 a las 10:00. La lluvia 1 fue estudiada por la cantidad de precipitación

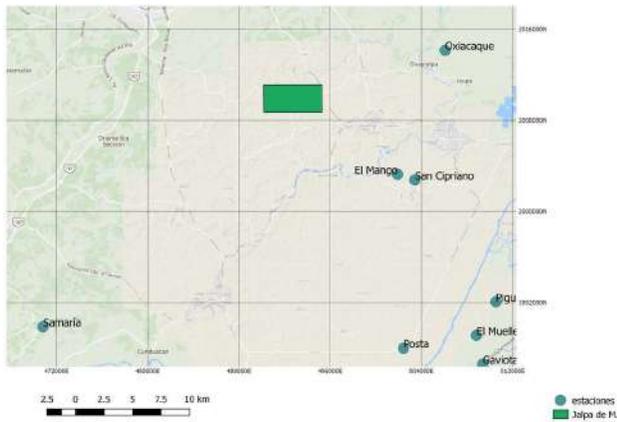


Figura 8: Ubicación de las estaciones pluviométricas. Oxiacaque es la estación número 64 y Samaria la estación número 49.

continua, sin embargo, la precipitación no fue suficiente para llegar a acumular exceso de agua (en 40 horas se acumuló 53.7 mm). La lluvia 3 se desechó porque, aunque tenía una precipitación alta como la lluvia 2, no la supera en precipitación (123.8 mm en 32 horas). La lluvia 4 es de 45.4 mm en 25 horas, por tener baja precipitación tampoco se tomó en cuenta. Por ello se utilizó para la simulación la lluvia 2 con precipitación de 131 mm en 5 horas; la cual se considera como tormenta (ver figura 10).

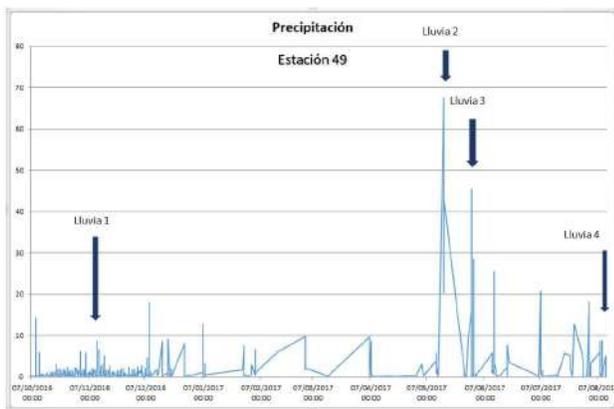


Figura 9: Hietograma donde se eliminaron las horas sin lluvia. Se indica con flecha donde se analizó la precipitación con detalle (estación 49).

Se simuló otra tormenta registrada en la estación 64. Para esta estación se consideraron 4 intervalos de tiempo de lluvia (ver Figura 11), eligiendo con el mismo método la tormenta. Se

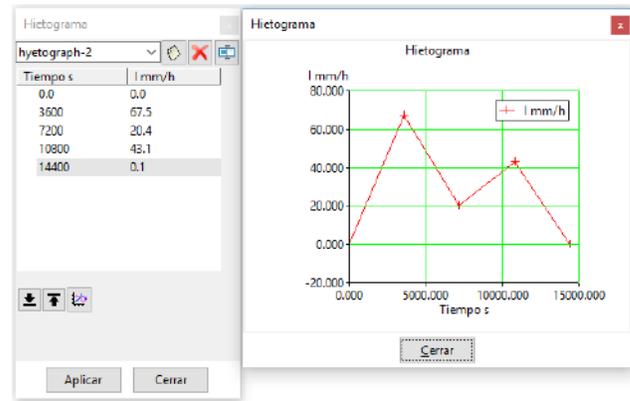


Figura 10: Tabla ingresada en Iber para la simulación de lluvia. Hietograma de la lluvia 2 de la estación 49, según la Figura 9.

eligió la lluvia 2 y se desecharon la lluvia 1 porque el total de la precipitación fue de 14.3 mm, la lluvia 3 presenta un pico de 26.1 mm en una hora, pero la lluvia anterior y posterior fue de precipitación baja. La lluvia 4 tiene una precipitación de 47.6 mm. Aunque en el diagrama se aprecia lluvia constante, en realidad la precipitación fue baja antes y después del pico. Por ello, se elige la lluvia 2 con una precipitación de 48.1 mm en 9 horas de lluvia permanente con precipitación variable (ver Figura 12).

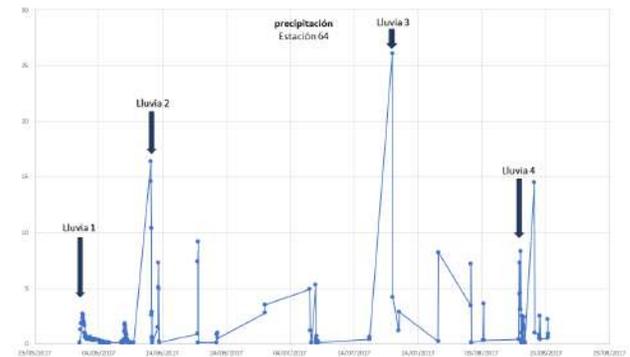


Figura 11: Precipitación del 16 de marzo 2016 a las 18:50 al 11 de agosto de 2017 a las 22:50. Los reportes de ausencia de lluvia no están considerados. Hietograma donde se eliminaron las horas sin lluvia, se indica con flecha donde se analizó la precipitación con detalle (estación 64).

9) En Iber se captura el hietograma ingresando al menú principal en Datos, Procesos hidrológicos, Asignación de hietogramas. Allí se

Un caso similar sucede con la estación 64, ver figuras 15 y 16. Los acumulamientos son parecidos aún cuando la lluvia varía en tiempo y cantidad entre las estaciones, pero los tirantes de la inundación son menores en este registro de lluvia, como se puede apreciar en la escala de tirantes o calados, fijos en la cota mayor (2.1 m) para comparar las imágenes. Para la lluvia de la estación 64, como es menor, los escurrimientos a los 2 días se notan con muy bajo nivel, y a los 3 días la ciudad prácticamente no está inundada.

4 Conclusiones

Los aportes de este documento es corroborar cómo las zonas inundables tuvieron antecedentes geológicos o geomorfológicos como se mostró en la Figura 3, en donde la ciudad se asentó en un antiguo río (ver Figura 4). Producto de esos pasados asentamientos es que los acumulamientos de agua se hacen notar según la Figura 5, en donde las primeras casas se colocaron a la margen del antiguo río, como se muestra en la imagen de inundación obtenida en Grass. También se hace notar la gran variabilidad de hietogramas que se pueden obtener para diversos periodos de tiempo y diversas intensidades de precipitación, por ello, se deben analizar periodos representativos de tiempo y precipitación a simular. De las imágenes se aprecia cómo la calle Prolongación 27 de Febrero, Plaza Hidalgo, Calle Carlos Alberto Madrazo y parte del Periférico son las más propensas a la inundación.

Como áreas de oportunidad, para obtener información, podrían colocarse uno o más pluviómetros que ofrecieran información pronta sobre la lluvia. Como se aprecia en las figuras anteriores, donde se representan las simulaciones, la precipitación es difícil de que escurra cuando el terreno tiene poca pendiente. Se recomendaría construir canales en la ciudad en tiempo de secas, con vegetación en las márgenes y siguiendo los antiguos causes; así, en caso de intensas lluvias estos canales retirarán el agua con prontitud.

Las actividades futuras serían dar a conocer

los resultados obtenidos a las autoridades y a la población con la finalidad de tomar conciencia de los efectos de las lluvias y el posible decremento del riesgo por inundación.

Referencias

- [1] L. Arge, J.S. Chase, P. Halpin, L. Toma, J.S. Vitter, D. Urban, and R. Wickremesinghe. Efficient flow computation on massive grid terrain datasets. *GeoInformatica*, 7(4):283–313, 2003.
- [2] E. Bladé, L. Cea, G. Corestein, E. Escolano, J. Puertas, M.E. Vázquez-Cendón, J. Dolz, and A. Coll. Iber: Herramienta de simulación numérica de flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1):1–10, 2014.
- [3] CONAGUA. Estaciones meteorológicas automáticas, 2017. URL smn.cna.gob.mx/es/emas.
- [4] CONAGUA. Reporte del clima en México. Technical Report 5, CONAGUA, Mayo 2017. URL smn.cna.gob.mx/.
- [5] R.E. Hernández-Uribe, H. Barrios-Piña, and A.I. Ramírez. Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VIII(3):5–25, 2017.
- [6] INEGI. Inventario nacional de viviendas 2016. URL www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/.
- [7] G.L. López Broca, E. De la Cruz Burelo, and E. Munguía Balvanera. Portal juchimán, 2017. URL <http://juchiman.ujat.mx/index.html>.
- [8] K. Menke, Smith Jr. R., and L. Pirelli. *Mastering QGIS*. Packt Publishing, 2014.

- [9] H. Mitasova and M. Neteler. Grass as open source free software gis: Accomplishments and perspectives. *Transactions In GIS*, 8: 145–154, 2004.
- [10] M. Neteler and H. Mitasova. *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. Kluwer Academic Publishers, second edition, 2004.
- [11] M.A. Salas Salinas and M. Jiménez Espinosa. Inundaciones. Technical report, CENAPRED, 2014.
- [12] UNISDR. Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. Technical report, UNISDR, 2015.

Próximos eventos

ESCUELA NACIONAL
DE OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS NUMÉRICO

ENOAN

XXVII ♦ 2018

del 27 al 31 de Agosto

Taller de Análisis y Simulación de Sistemas Continuos en la Biología y la Física

Cursos, Conferencias y Presentación de trabajos
Cómputo científico ♦ Análisis numérico ♦ Optimización ♦ Modelación y simulación
Algoritmos ♦ Aplicaciones

SEDE
Universidad Autónoma de Aguascalientes, Edificio de Estudios Avanzados
Avenida Universidad 940, Ciudad Universitaria, Aguascalientes, Ags. C.P. 20131

ORGANIZAN
Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones, A.C.
y Universidad Autónoma de Aguascalientes

INFORMES: www.smcca.org.mx/enoan2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CONACYT

SOCIEDAD
MATEMÁTICA
MEXICANA

SMCCA

El Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas y la Facultad de Sistemas de la Universidad Autónoma de Coahuila

organizan el

Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones

VII CSMIO 2018

17, 18 y 19 de Octubre
Saltillo, Coahuila



El CSMIO es el evento principal de la SMIO. Brinda la oportunidad de escuchar excelentes charlas magistrales y de que los colegas del área divulguen sus trabajos.



CONFERENCIAS PLENARIAS

- Laureano Escudero, U. Rey Juan Carlos, ES.
- Gilberto Calvillo, UNAM, MX.
- José Luis González, ITESM, MX.
- Cipriano Santos, Gurobi Opt. Inc, USA.



MINICURSOS

- Monique Guignard, U. of Pennsylvania, USA
- Victor Zavala, U. of Wisconsin, USA.

PRESENTACION DE TRABAJOS

Metodologías:

- Optimización Discreta
- Programación matemática
- Metaheurísticas
- Programación multiobjetivo
- Programación estocástica
- Simulación

Problemas clásicos:

- Programación de la producción
- Administración de la cadena de suministro
- Transporte y ruteo
- Ubicación de instalaciones
- Logística

Aplicaciones a:

- Agricultura
- Recursos naturales
- Finanzas
- Educación
- Energía
- Servicios públicos



Mayores informes: www.turing.cima.uadec.mx/csmio2018

¿QUIERES PUBLICAR "ARTÍCULOS", "INFORMACIÓN SOBRE EVENTOS" O "NOTICIAS" EN EL BOLETÍN?

La **Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones**, A. C. (SMCCA), convoca a toda la comunidad interesada en el área de la Computación Científica y sus Aplicaciones, a presentar noticias, información sobre eventos, artículos de divulgación e investigación de alta calidad en el área, así como reportes de trabajos de tesis de nivel licenciatura y posgrado en Matemáticas Aplicadas.

Requisitos para las colaboraciones en el Boletín

I.- Artículos de Divulgación e Investigación

- a) Los artículos que se envíen para ser publicados deberán ser inéditos y no haber sido ni ser sometidos simultáneamente a la consideración en otras publicaciones.
- b) Los artículos deben presentarse en el formato de la plantilla LaTeX disponible en www.smcca.org.mx
- c) No deberán exceder de ocho páginas, tamaño carta incluyendo texto, tablas y gráficos.

II.- Información sobre eventos

- a) Los eventos cuya información quiera ser publicada para promocionarlos, deberán estar relacionados con el área de las Matemáticas Aplicadas y la Computación Científica.
- b) La información debe enviarse en un archivo de imagen: PDF, JPG, PNG.
- c) La información no deberá exceder a una cuartilla.
- d) Enviar la información con al menos 6 meses de anticipación a la fecha en que se llevaría a cabo.

III.- Noticias

- a) Las noticias a ser publicadas en el Boletín deben ser noticias relevantes de actividades de la SMCCA, Socios, Comunidad Científica interesada en las Matemáticas y Computación Aplicada
- b) La información de las noticias debe enviarse en un archivo de imagen: PDF, JPG, PNG.
- c) La información no deberá exceder a una cuartilla.

El material de colaboración: noticias, información eventos, artículos deberán ser dirigidos a la Dra. Irma Delia García Calvillo al correo electrónico de la SMCCA smcca@smcca.org.mx

Todos los artículos son sometidos a evaluación por especialistas de instituciones nacionales e internacionales y su publicación estará sujeta a la disponibilidad de espacio en cada número. Las demás colaboraciones se someterán a corrección de estilo y su publicación estará sujeta a la disponibilidad de espacio en cada número. Sólo se aceptará el material enviado que satisfaga todos los requisitos aquí señalados.

El envío de cualquier colaboración al Boletín implica no sólo la aceptación de lo establecido en este documento, sino también la autorización al Comité Editorial del Boletín de la SMCCA para incluirlo en su página electrónica, reimpresiones, colecciones y en cualquier otro medio que permita lograr una mayor y mejor difusión.



Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones

Consejo Directivo de la Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones 2013-2018

Dra. Rina Betzabeth Ojeda Castañeda.	Presidenta
Dr. Francisco Javier Domínguez Mota.	Vicepresidente
Dra. Irma Delia García Calvillo.	Secretaria
Dr. Justino Alavez Ramírez.	Tesorero
Dr. Pedro Flores Pérez.	Vocal
Dr. Pablo Barrera Sánchez.	Vocal

La Sociedad Mexicana de Computación Científica y sus Aplicaciones fue fundada el 16 de Mayo de 2013, para realizar actividades de investigación científica o tecnológica inscritas en el RENIECyT (Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas), prestadas únicamente a los socios y asociados. Es una Asociación sin fines de lucro. Entre sus tareas fundamentales destacan: Conjuntar acciones e intereses comunes en los investigadores, profesores y estudiantes interesados en la Computación Científica y sus Aplicaciones, con el fin de fomentar la investigación de calidad, promover la actualización y el perfeccionamiento para el desarrollo científico, tecnológico y social; promover la creación, organización, acumulación y difusión de conocimientos referidos a la Computación Científica y sus Aplicaciones; promover la formación e interacción de redes y grupos de trabajo orientados hacia el desarrollo disciplinar, interdisciplinar y temático de la investigación; fomentar el desarrollo de la investigación sobre la Computación Científica y sus Aplicaciones en la República Mexicana; contribuir al mejoramiento de la enseñanza de la Computación Científica y sus Aplicaciones en la República Mexicana; promover y organizar toda clase de encuentros y eventos académicos orientados a la comunicación y discusión entre investigadores y profesores, así como también a la difusión del conocimiento hacia sectores interesados en la integración de la Computación Científica y sus Aplicaciones en los problemas de su sector.

Correo electrónico: smcca@smcca.org.mx
<http://www.smcca.org.mx>

