

# Coloquio de Investigación Multidisciplinaria



VOLÚMEN 8 Núm.1 OCTUBRE 2020

Revista Periódica



JOURNAL CIM-REVISTA DIGITAL

ISSN: 2007 - 8102

DIFUSIÓN VÍA RED DE CÓMPUTO  
<https://www.cim-tecnm.com/articulos>



EDUCACIÓN  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA  
JOURNAL CIM**

**Science, Technology and Educational Research**

**VOLUMEN 8, NÚMERO 1, OCTUBRE 2020**

**ISSN: 2007-8102**

© D.R. Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba  
Av. Oriente 9 No. 852  
C.P. 94320  
Orizaba, Veracruz México  
<http://www.cim-tecnm.com/journal-cim-open-access>  
<http://www.itorizaba.edu.mx>

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, Vol. 8, Núm. 1, octubre 2020, es una publicación anual, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba, Avenida Universidad No. 1200, 5to. Piso, Colonia Xoco, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, Tel. 5536002500 Ext. 65064, [d\\_vinculacion05@tecnm.mx](mailto:d_vinculacion05@tecnm.mx), Editores Responsables M.C. Gabriela Cabrera Zepeda y Dr. Ignacio López Martínez. Reserva de derecho al Uso Exclusivo NO. 04 - 2013 - 093010380600 – 203, ISSN 2007-8102, ambos son otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsables de la última actualización de este número M.C. Gabriela Cabrera Zepeda y Dr. Ignacio López Martínez, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba, Oriente 9, No. 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba Veracruz, México, C.P. 94320, Tel. 012727257056. Fecha de término de la última actualización, 19 de Octubre del 2020.

Su objetivo principal es difundir resultados de proyectos de investigación de personal adscrito a diversas instituciones nacionales y extranjeras.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto encargado, salvo que sea citada la fuente de origen.



**Revista Indexada en LATINDEX**

## SISTEMAS COMPUTACIONALES

SC01	<b>Detección y ubicación de drones empleando SDR (Software Defined Radio)</b> <i>Rogelio Jaimes Rico y Saul Lazcano Salas.</i>	1875
SC02	<b>Reconociendo patrones de la deserción en el contexto educativo universitario aplicando visualización de datos</b> <i>Argelia B. Urbina Nájera, Acela Tejeda Gil, Leilani de la Cruz Toledo, Isabel Pimentel Hernández y Kevin Diaz Guarneros.</i>	1882
SC03	<b>NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL USANDO DEEP LEARNING</b> <i>Michael Reyes, Hernán de la Garza Gutiérrez, Rafael Sandoval Rodríguez, Arturo Legarda Sáenz y Marisela Ivette Caldera Franco.</i>	1893
SC04	<b>Análisis y diseño de una herramienta de software para la lectoescritura en niños con autismo</b> <i>Lizbeth Mercedes López Bautista, Mariela Lizeth Martínez Hernández y Braulio Bautista López.</i>	1903
SC05	<b>Abstracción y Evaluación de la Intención de los Individuos en las Organizaciones de Acuerdo a la Teoría de la Agencia</b> <i>Jorge Armando Alcántara Godínez y Leticia Dávila Nicanor.</i>	1911
SC06	<b>Comparación de los métodos PCA y LDA para selección de características</b> <i>J. E. Pat Cetina, L.J. Peniche Ruiz, M. I. Jiménez Ochoa, D. F. Villafaña Gamboa, K.A. López Puerto y G. Navarro Rodríguez.</i>	1919
SC07	<b>DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA OPERACIÓN Y MONITOREO DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE RIEGO</b> <i>Víctor César Olguín Zárate, Omar Gómez Carrasco, Edaly Castañeda Méndez, Cristian Alonso Palma Sifuentes y Edmundo Blanco Peña.</i>	1927
SC08	<b>Novel Contextual Computing Application for attendance control on University campus through Beacons</b> <i>Joaquín Guillén-Rodríguez, Jesús Felipe Pérez-Sandoval, Jaime Alfredo Mariano-Torres, Adriana Becerril-Rodríguez y Hernán Peraza-Vázquez.</i>	1936
SC09	<b>Sistema de Información Geográfica para la Detección de propagación de plagas en cultivos de aguacate</b> <i>Julieta Santander-Castillo, Mariela J. Alonso-Calpeño y Raúl Alanis-Teutle.</i>	1945
SC10	<b>El Algoritmo de Optimización del Dragón de Komodo (KDOA): Un algoritmo bio-inspirado novedoso</b> <i>Abigail María Díaz Guerrero, Ana Beatriz Morales Cepeda y Hernán Peraza Vázquez.</i>	1953
SC11	<b>Seguridad aplicada en las Redes Sociales mediante extracción de datos</b> <i>Eric Onofre Ruiz, Benny Yael Ramírez Herrerías, Jorge Martínez Santiago, Ricardo Castro Valdivia y Arturo Escobar García.</i>	1962
SC12	<b>Método Experimental para Capacitación Laboral mediante una Aplicación Multimedia</b> <i>Eduardo César Contreras Delgado, Rodolfo Morales García, Ivonne Damayanti Contreras González, Raquel Alejandra Vásquez Torres y Kouani Mildred López López.</i>	1970
SC13	<b>Conteo de modelos usando forma normal para lógica bivalente y trivalente</b> <i>Rafael Sánchez Maldonado, Pedro Bello López, Meliza Contreras González y Miguel Rodríguez Hernández.</i>	1978
SC14	<b>Reconstrucción de objetos 3d a partir de nubes de puntos rgbd</b>	1986

- Noé Vásquez Godínez, Heriberto Casarrubias Vargas y Carlos Omar González Morán.*  
SC15 **Revisión Sistemática de la Literatura sobre Concern-Oriented Software Engineering** **1993**  
*Aline Montserrat Hernández-Fajardo, Karen Cortes-Verdín y Ulises Juárez-Martínez.*
- SC16 **Algoritmo de predicción para radiación ultravioleta: caso Nogales, Sonora, México.** **2005**  
*Sigifredo García Alva, Julio Enrique Arreola Valle, Guillermina Muñoz Zamora, Jesús Raúl Cruz Rentería y Zindi Sánchez Hernández.*
- SC17 **Sitio web para red de EMA's de IES en el Estado de Sonora, México** **2013**  
*Sigifredo García Alva, José Jesús Miranda Mirasol, Guillermina Muñoz Zamora, Jesús Raúl Cruz Rentería y Omar Velarde Anaya.*
- SC18 **Predicción de Robo con Redes Neuronales Recurrentes LSTM** **2021**  
*José Ulises Teyechea Peralta, C. E. Rose Gómez, M. T. Serna Encinas y R. A. Galaz Bustamante.*
- SC19 **Recuperación de indicadores alométricos de publicaciones científicas utilizando minería de datos** **2029**  
*Mario Armando Martínez Barajas, José Román Herrera Morales, María Andrade Aréchiga, Jorge Rafael Gutiérrez Pulido y Sara Sandoval Carrillo.*
- SC20 **Estrategias de movilidad vehicular inteligente en la ZMVM con miras a una Ciudad Inteligente** **2037**  
*Erick Daniel Pérez Mata, Héctor Rafael Orozco Aguirre y Saul Lazcano Salas.*
- SC21 **PREDIAPP Plataforma tecnológica para la prevención y control de diabetes por medio de Inteligencia Artificial** **2045**  
*Eva María Landa Huerta, María Reina Zarate Nava, Aldair Ruíz Nepomuceno, Elimar Leza Caballero y Adrián de Jesús Montalvo Trejo.*
- SC22 **Simulación computacional de la corrosión de metales con autómatas celulares** **2053**  
*Heriberto Casarrubias-Vargas, Noé Vásquez Godínez, Héctor Herrera-Hernández, José Guadalupe Miranda-Hernández y Carlos Omar González-Morán.*
- SC23 **Sistema experto basado en reglas para la generación de horarios académicos del Tecnológico de Teziutlán** **2061**  
*Marco Antonio Aguilar Cortés, José Luis Gutiérrez García, Heriberto Hernández Rodríguez, Jacobo Robles Calderón y Miguel Aguilar Cortés.*
- SC24 **Detección automatizada de emociones a través del rostro, una revisión del estado del arte** **2069**  
*Quetzalli Abigail Pinzón Montes, Saul Lazcano Salas, Héctor Rafael Orozco Aguirre y Maricela Quintana López.*
- SC25 **PREDICCIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS EN CULTIVOS ACUICOLAS POR MEDIO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES** **2077**  
*J. R. Navarro Ruiz, N. García-Díaz, J. A. Verduzco, J. García Virgen, A. C. Ruiz Tadeo.*

# Simulación computacional de la corrosión en metales con autómatas celulares

H. Casarrubias Vargas<sup>1\*</sup>, N. Vásquez Godínez<sup>1</sup>, H. Herrera Hernández<sup>1</sup>,  
J. G. Miranda Hernández<sup>1</sup>, C. O. González Morán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Valle de México,  
Boulevard Universitario S/N Valle Escondido, Río San Javier, 54500 Cd López Mateos, México

[\\*hcasarrubiasv@uaemex.mx](mailto:hcasarrubiasv@uaemex.mx)

**Área de participación:** *Sistemas Computacionales*

## Resumen

El presente trabajo describe las reglas de evolución para un autómata celular probabilista que replica morfológicamente el fenómeno de la corrosión por picaduras en metales. Se describen dos tipos de representación de grid para integrar información cristalográfica de los materiales y generar el desgaste de material de corrosión para picaduras de tipo estrecho, amplias y profundas, elípticas e influenciadas por la estructura del material. Los experimentos realizados muestran resultados coherentes con lo descrito en la literatura.

**Palabras clave:** *Corrosión, Autómatas Celulares, Simulación, Metales.*

## Abstract

*The present work describes the rules of evolution for a probabilistic cellular automaton that morphologically replicates the phenomenon of pitting corrosion in metals. Two types of grid representation are described to integrate crystallographic information of materials and generate corrosion material wear for narrow, wide and deep, elliptical, and material structure influenced pits. The experimental results are consistent with the reported in the literature.*

**Key words:** *Corrosion, Cellular Automata, Simulation, Metals.*

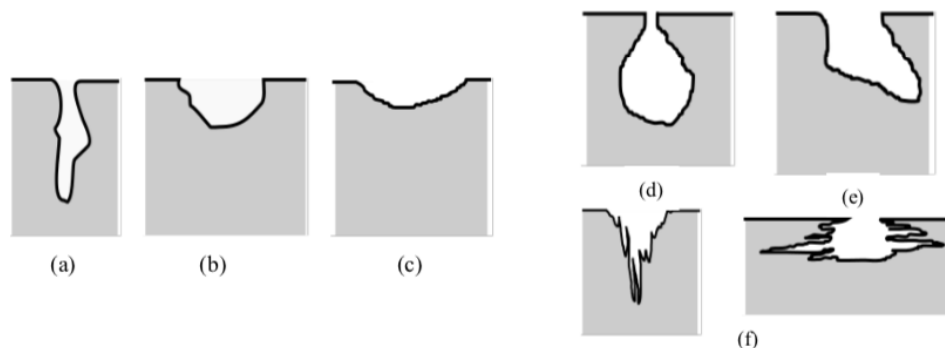
## Introducción

La corrosión de materiales o piezas metálicas es un fenómeno químico siempre presente causado por el medio ambiente que le rodea como el calor, agua, oxígeno, dando como resultado la oxidación y degradación del material; es un fenómeno que siempre esta presente en los metales. El fenómeno de la corrosión de metales tiene un impacto económico significativo, estimaciones realizadas para México determinan pérdidas debido a la corrosión de materiales de entre un 3% y 4% del PIB [1]. Por otro lado, la mayoría de las estructuras de edificios, fabricas y viviendas dependen de partes metálicas en donde los efectos de la corrosión se hacen presentes generando riesgos potenciales de seguridad para las personas que usan las instalaciones.

El fenómeno de la corrosión se clasifica, de acuerdo con [2], por la morfología de su ataque, por el medio en el que se desarrolla o el mecanismo de la corrosión. Este trabajo se enfoca en la morfología o apariencia del metal corroído particularmente en la corrosión por picaduras. La corrosión por picaduras se presenta cuando son afectadas áreas puntuales o específicas del metal y ocurren cuando la superficie del metal se expone libremente y la superficie no es químicamente homogénea, existen imperfecciones en el recubrimiento de los metales que originan potenciales electroquímicos distintos debido a una diferencia de concentración de oxígeno.

La picadura por corrosión es conocida por crear agujeros en los materiales metálicos los cuales ocasionan fallas en su funcionamiento, así mismo pueden adoptar distintas formas y densidades dependiente del medio ambiente y las condiciones químicas en las que se encuentre el metal [3].

Los agujeros debidos a la picadura son frecuentemente más profundos que los otros tipos de corrosión. Existen inhibidores que pueden ser aplicados en la superficie para prevenir el inicio de la corrosión, pero una vez que la picadura se ha iniciado los inhibidores en la mayoría de los casos son inútiles en retrasar su crecimiento [4]. La corrosión por picadura de acuerdo con [3] puede adoptar las formas y densidades descritas en la Figura 1.



**Figura 1. Distintas morfologías de la picadura por corrosión: a)Estrecha y profunda, b)Elíptica, c)Ancha y poco profunda, d) Bajo la superficie e)undercutting, f)influenciadas por la orientación de la microestructura. Imágenes tomadas de [3].**

La corrosión por picadura se manifiesta en tres etapas, iniciación o aparición, crecimiento y repasivación o muerte de la picadura que se alcanza cuando se satura el medio alrededor de la picadura o se alcanza un equilibrio del potencial electroquímico. La iniciación de la picadura se modela de forma probabilística, en [5] describen un modelo que permite simular la aparición de picaduras en función del tiempo. El crecimiento de la picadura se ha modelado usando enfoques mecanicistas considerando los fenómenos electroquímicos [6], y también se han usado modelos basados en autómatas celulares [7]; los tipos de morfología que se replican son la morfología de tipo b) elíptica, c) ancho y profundo, d) bajo la superficie o cavidades y tipo e) undercutting. Replicar la morfología es importante debido a que la forma del desgaste del material modifica la capacidad de carga y esfuerzos que puede soportar el material.

## Metodología

El enfoque propuesto en este trabajo de investigación usa un autómata celular, AC, basado en el modelo descrito por Wang et. al en [8] que establece las reglas de evolución del AC y contempla el proceso de corrosión como un modelo probabilístico de difusión, el enfoque propuesto en este trabajo a diferencia del realizado por Wang se enfoca en simular la morfología de las picaduras.

El modelo para simular el fenómeno de corrosión y replicar las morfologías típicas de picaduras se restringe a un espacio 2D; debido a que el interés es simular la morfología transversal o perfil de las picaduras. El espacio de estados se limita a un grid de tamaño 400x200 y cada celda mantiene un posible estado: Metal, Corrosión, Libre, Pasiva. En el proceso de simulación las celdas pueden cambiar su estado de acuerdo con las reglas probabilísticas y su entorno. Las celdas metálicas o tipo M son susceptibles a la corrosión y su posición no cambia durante la simulación. Las celdas pasivas o tipo P corresponden a la película protectora del metal, se encuentran en la superficie del material y no cambian de posición, sin embargo, de forma aleatoria puede cambiar de estado a celda Libre, para permitir el inicio de la corrosión por picadura; también puede verse afectada por celdas tipo corrosión para simular el fenómeno de degradación de la película protectora. Las celdas con un estado de corrosión o tipo C, a diferencia del trabajo en [8] se generan cuando se inicia una picadura de forma aleatoria, en nuestro trabajo se inicializa de forma aleatoria en la superficie del metal, estas

celdas se mueven en el grid y pueden generar nuevas celdas de corrosión que permiten emular la degradación del metal mediante pérdida de celdas tipo M, P, transformándolas en celdas tipo L o C. Las celdas tipo L simulan espacio vacío o también se pueden interpretar por el medio en el que se encuentra inmerso el metal.

La simulación se realiza en dos tipos de grids para recuperar la morfología de los distintos tipos de picadura; un tipo de grid homogéneo en donde se simula sin información de la microestructura del material y también se simula contemplando la microestructura del metal, un grid con orientaciones cristalográficas heterogéneas.

### Reglas de transformación del AC grid homogéneo

Para la evolución de una celda o sitio  $(i,j)$  en el grid del AC, se consideran los cuatro vecinos, en las direcciones horizontales y verticales. Cada celda tiene un estado posible: Metal (M), Corrosión (C), Pasiva (P), Libre (L) ver Figura 2. Inicialmente las celdas en el borde del grid son de tipo P y todas las celdas interiores del grid son de tipo M. En el primer paso de la evolución del AC se elige aleatoriamente una celda del borde superior del grid y se transforma del estado P al estado C, para simular el inicio de una picadura.

Si una celda  $(i,j)$  se encuentra en estado C se revisa si en sus vecinos adyacentes existe una celda de tipo M para moverse hacia ella, en caso de haber mas de una se decide con una probabilidad  $p$  a cual moverse; cada una de las casillas adyacentes tiene una probabilidad distinta de propagación  $p_i$ . La celda  $(i,j)$  cambia del estado C al estado L y la celda vecina elegida cambia del estado M al estado C.

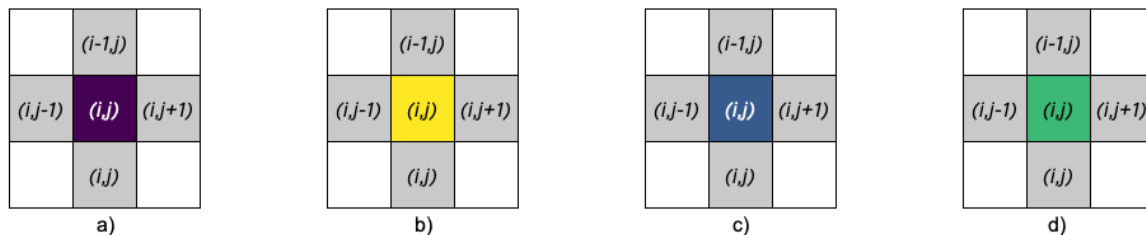


Figura 2. Estados posibles de las celdas y sus vecinos adyacentes. a) Metal (M), b) Corrosión (C), c) Libre (L), d) Pasiva (P).

Si una celda se encuentra en el estado P y es elegida por una celda de tipo C para propagarse la celda cambia de P a L. Con esta regla se permite simular el deterioro de la protección del material una vez que se ha iniciado el proceso de corrosión.

Para el grid homogéneo las probabilidades de propagación de una celda en estado C hacia los vecinos se mantienen fijas para todas las celdas del grid.

### Reglas de transformación del AC grid heterogéneo

Para simular orientaciones cristalográficas distintas se aplica un particionamiento sobre el grid usando el diagrama de Voronoi inducido por puntos semilla generados aleatoriamente sobre el grid, de esta forma a cada región de Voronoi le corresponde una orientación cristalográfica en particular. Para fines de la simulación contemplamos distintas densidades de puntos semilla para explorar el impacto de las densidades en el crecimiento de las picaduras. Para la simulación se consideran únicamente los tres planos cristalográficos [001], [101], [111].

De esta forma, para cada celda  $(i,j)$  en el grid del AC se determina primero a que región de Voronoi pertenece y en función de la región se determina las probabilidades de propagación de las celdas

de corrosión a las celdas tipo M y P. En la figura se muestran las regiones de Voronoi construidas con 800, 1200, 1600 puntos para un grid de dimensiones 400x200.

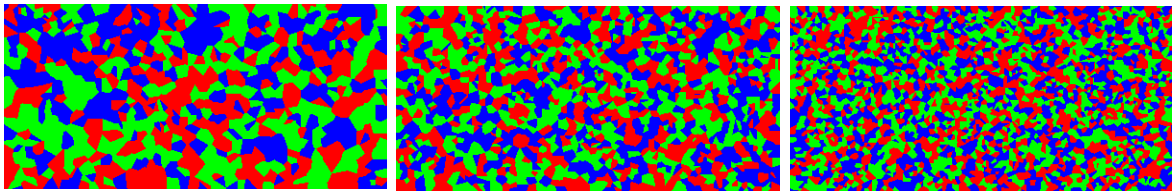


Figura 3. Regiones de Voronoi que simulan las direcciones cristalográficas en los planos [101] rojo, [001] verde, [111] azul.

El algoritmo de evolución del AC se basa en las reglas descritas en las secciones previas y siguiendo los pasos descritos a continuación:

1. Inicializar el grid
  - 1.1 Establecer todas las celdas interiores del grid como celdas tipo M
  - 1.2 Establecer todas las celdas en el borde del grid como celdas tipo P
2. Elegir la celda central en el borde superior como celda tipo C para el caso del grid homogéneo; en el caso del grid heterogéneo elegir aleatoriamente una celda en el borde superior con coordenada x entre 100 y 300
3. Para cada celda de tipo C en el grid, de acuerdo con las probabilidades de propagación a los vecinos, determinar aleatoriamente la celda vecina a propagarse:
  - 3.1 Si la celda vecina ha sido seleccionada por otra celda tipo C, la celda a evolucionar no cambia
  - 3.2 Si la celda seleccionada es de tipo C, no cambia el estado de las celdas
  - 3.3 Si la celda vecina es de tipo M o P y no ha sido seleccionada, entonces cambia a estado tipo C
- 4 ir al paso 3

## Resultados y discusión

En los experimentos realizados y para fines de comparación se analiza la etapa de crecimiento de la corrosión de una sola picadura, estableciendo la posición inicial en la parte superior a la mitad del grid para los experimentos de grid homogéneo, y se establece la posición inicial de la picadura de manera aleatoria en la parte superior del grid entre la columna 100 y la columna 300 para elegir de forma aleatoria la distribución cristalográfica inicial del medio físico.

### Resultado del AC en grid homogéneo y evolucionando todas las celdas de corrosión

Los resultados de los experimentos realizados para el grid homogéneo se muestran en la Figura 4. Se consideran tres conjuntos de probabilidades de propagación de una celda en estado de corrosión  $(i,j)$  para obtener las morfologías de corrosión dando a lugar a tres simulaciones distintas.



Para la primera simulación se definen las probabilidades de propagación de una celda tipo C a los vecinos de la siguiente forma:

1. probabilidad de propagar la corrosión a la celda izquierda  $(i,j-1)$ : 0.33
2. probabilidad de propagar la corrosión a la celda derecha  $(i,j+1)$ : 0.33
3. probabilidad de propagar la corrosión a la celda superior  $(i-1,j)$ : 0.1
4. probabilidad de propagar la corrosión a la celda inferior  $(i+1,j)$ : 0.33

En la segunda simulación se definen las probabilidades de propagación de una celda tipo C a los vecinos de la siguiente forma:

1. probabilidad de propagar la corrosión a la celda izquierda  $(i,j-1)$ : 0.45
2. probabilidad de propagar la corrosión a la celda derecha  $(i,j+1)$ : 0.45
3. probabilidad de propagar la corrosión a la celda superior  $(i-1,j)$ : 0.0
4. probabilidad de propagar la corrosión a la celda inferior  $(i+1,j)$ : 0.1

En la tercera simulación se definen las probabilidades de propagación de una celda tipo C a los vecinos de la siguiente forma:

1. probabilidad de propagar la corrosión a la celda izquierda  $(i,j-1)$ : 0.45
2. probabilidad de propagar la corrosión a la celda derecha  $(i,j+1)$ : 0.45
3. probabilidad de propagar la corrosión a la celda superior  $(i-1,j)$ : 0.0
4. probabilidad de propagar la corrosión a la celda inferior  $(i+1,j)$ : 0.1

La evolución del sistema para los tres experimentos se muestra en los renglones de la figura 4 para los tiempos 0, 50, 100; primer renglón experimento 1, segundo renglón experimento 2 y finalmente en el tercer renglón el experimento 3.

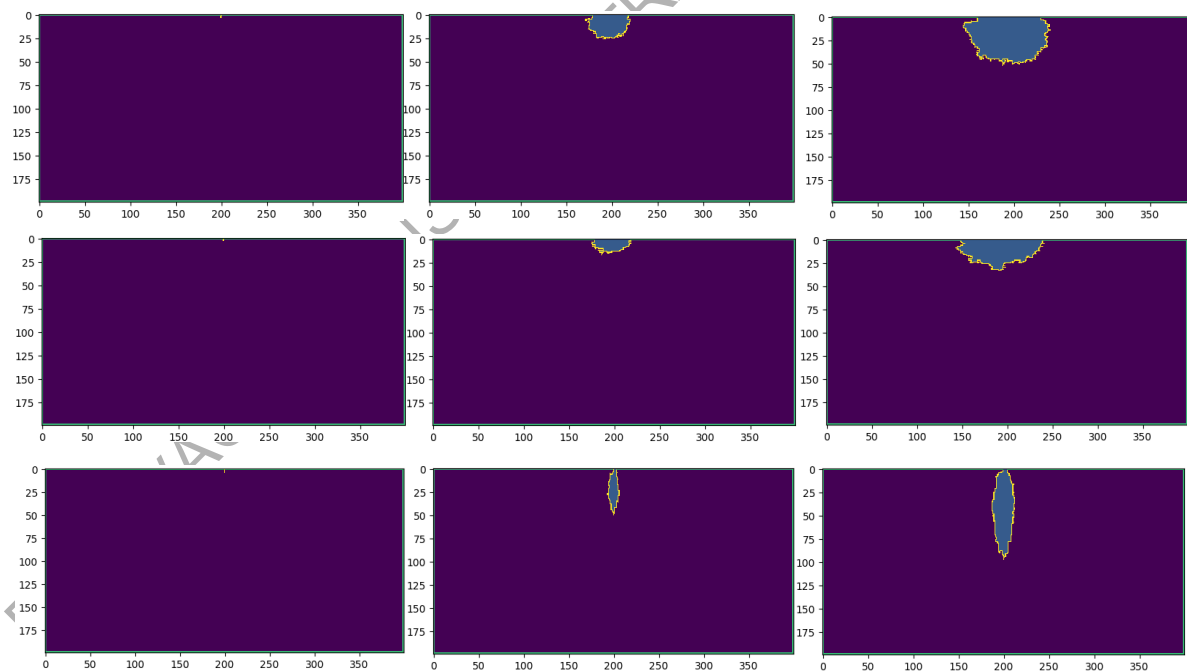


Figura 4. Morfologías de picadura obtenidas sobre grid homogéneo, columna 1 al tiempo 0, columna 2 al tiempo 50 y columna 3 al tiempo 100.

## Resultado del AC en grid heterogéneo

Los experimentos realizados para el grid homogéneo se realizan evolucionando las celdas de corrosión de manera probabilística de acuerdo con la orientación cristalográfica preferencial establecida por las regiones de Voronoi usando 800, 1600 y 3200 puntos semilla ver Figura 3.

A diferencia del grid homogéneo en donde todas las celdas de corrosión se propagan en direcciones probabilísticas, en el grid heterogéneo no se evolucionan todas las celdas de corrosión en una iteración del AC; a cada celda de corrosión se les asigna una probabilidad de propagarse dependiendo de la región cristalográfica en donde se encuentre.

Se contemplan tres orientaciones preferenciales y se asigna a cada una la probabilidad de 0,1, 0,2, 0,3 de difusión de la corrosión. Lo cual permite que la velocidad de corrosión sea distinta dependiendo de la región en que se encuentre. Si una celda de corrosión es elegida para propagarse se elige probabilísticamente en que dirección hacerlo, al igual que en el caso del grid homogéneo, para fines de comparación se toman las mismas probabilidades para los vecinos.

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran los resultados de la simulación para los tres experimentos realizados con las mismas probabilidades dadas en el caso de grid homogéneo, se muestran los resultados de la simulación para los tiempos 100, 300 y 1000.

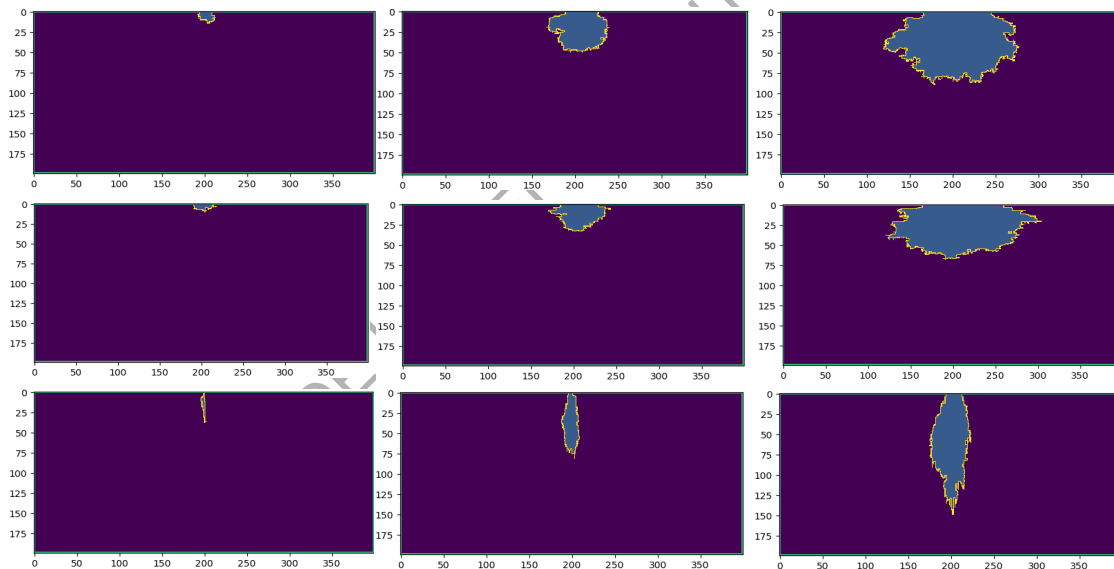


Figura 5. Simulación de corrosión usando orientación cristalográfica preferencial con 800 puntos semilla para generar la región de Voronoi.

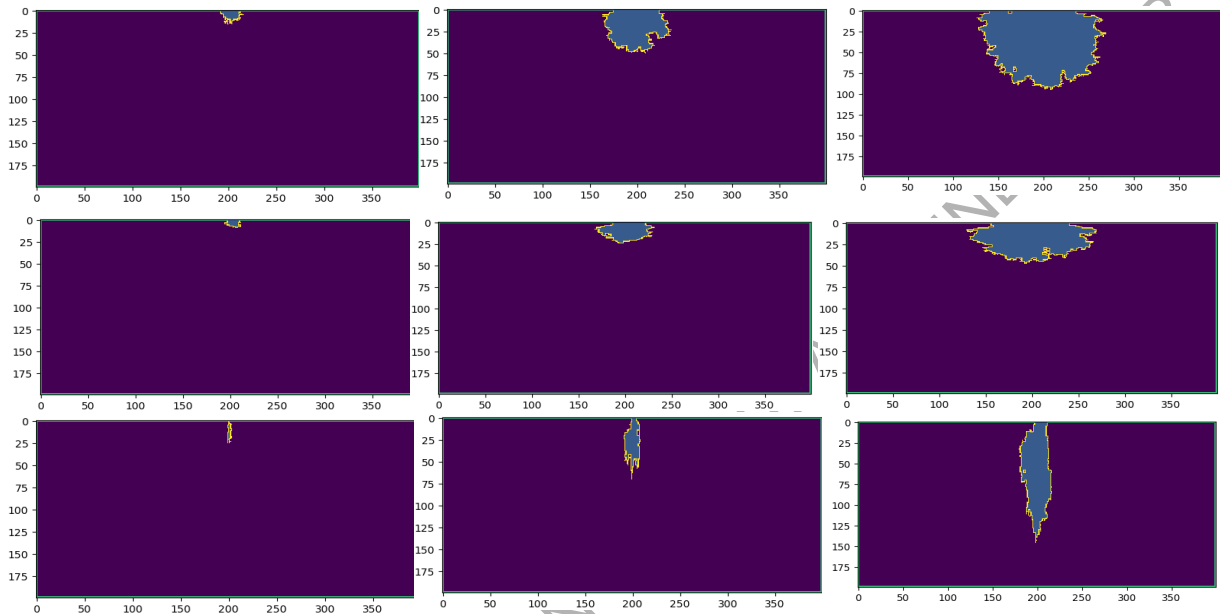
## Trabajo a futuro

El modelo planteado de evolución de la corrosión en metales recupera la morfología del fenómeno de corrosión sin embargo requiere de una calibración de la velocidad de corrosión, para lo cual es necesario considerar el modelo de potencial y por otro lado generalizar el modelo al caso 3D.

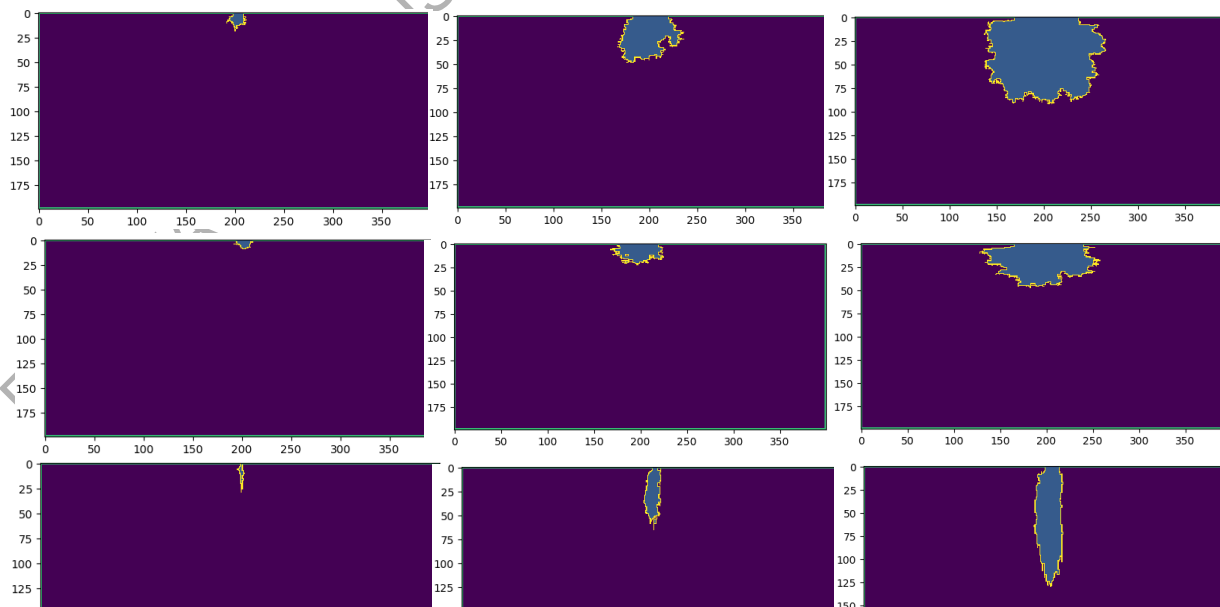
## Conclusiones

La evolución del autómatas celulares describe la morfología de las picaduras debidas a la corrosión de metales para los casos descritos en la literatura, se calibraron los valores de probabilidad de forma

experimental y muestra el potencial de describir la cinética del fenómeno a partir de un sistema emergente que se puede expandir para integrar el enfoque electroquímico y considerar calibrar la velocidad de corrosión con experimentos reales. Se observa en la simulación el comportamiento debido al tamaño de grano de los elementos que conforman el metal y replica lo descrito en la literatura. A diferencia de los trabajos con autómatas celulares encontrados en la literatura la propagación de la corrosión se hace por difusión probabilística y no por un random walking, lo cual permite controlar la propagación de la corrosión en las direcciones de los planos cristalográficos en medios heterogéneos y en medios homogéneos.



**Figura 6. Simulación de corrosión usando orientación cristalográfica preferencial con 1600 puntos semilla para generar la región de Voronoi.**



**Figura 7. Simulación de corrosión usando orientación cristalográfica preferencial con 3200 puntos semilla para generar la región de Voronoi.**

## Referencias

- [1] Customair. (22 de Agosto de 2020). *Customair*. Obtenido de Customair: <https://customair.mx/blog/GCtTGTzc2w-la-corrosion-un-problema-que-puede-causar-perdidas-millonarias-a-los-paises>
- [2] R. García, "Inhibidores de corrosión en medios ácidos a partir de extractos naturales," *Tesis Doctoral*, pp. 24-27, 2014.
- [3] M. Ibrahim, S. Fonna and R. Ridaparti, "Pitting corrosion as a mixed system: coupled deterministic-probabilistic simulation of pit growth". IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 352 012018
- [4] N. Asrar, B. MacKay, Ø. Birketveit, M. Stipanicev, J. Jackson and A. Jenkins, "Corrosion - The longest war," *Oilfield Review*, vol. 28, no. 2, pp. 36-51, 2016.
- [5] J. Velázquez, J. Van Der Weide, E. Hernández and H. Herrera, "Statistical modelling of pitting corrosion: Extrapolation of the maximum pit depth-growth", *International Journal of Electrochemical Science*, pp. 4129-4143, 2014.
- [6] J.C. Walton, G. Cragnolino and S. K. Kalandros, "A numerical model of crevice corrosion for passive and active metals", *Corrosion Science*, Volume 38, Issue 1, pp. 1-18, 1996.
- [7] D. Di Caprio D, J. Stafiej, G. Luciano and L. Arurault, "3D cellular automata simulations of intra and intergranular corrosion". *Corrosion Science, Elsevier*, Vol. 112, pp. 438-450, 2016.
- [8] Y. Wang, and Y. Zheng, "Simulation of Damage Evolution and Study of Multi-Fatigue Source Fracture of Steel Wire in Bridge Cables under the Action of Pre-Corrosion and Fatigue". *CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences*, Vol 120(2), pp. 375-419, 2019.

RENOVACIÓN DE ISSN EN TRÁMITE