

# 81 *Ciencia Nicolaita*



ISSN 2007-7068

diciembre de 2020

Revista Científica  
de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



**Revista Científica  
de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

**Editor:** Dr. Agustín Jaime Castro Montoya

**Nº 81**

**Diciembre de 2020**

## **CONTENIDO**

**Presentación** 5

---

***Una guerra por las fechas: fiesta para los insurgentes o celebraciones  
para el imperio (1821-1822)***

José María Navarro Méndez

Universidad Autónoma de Sinaloa

7

***Simulación de la temperatura en la Tierra Caliente del Estado de Michoacán,  
utilizando el modelo meteorológico de Mesoescala WRF***

Alain Mbikayi T.<sup>1</sup>, Christian Morales O.<sup>2</sup>, Erasmo Cadenas C.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica; <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas.

UMSNH

27

***Diseño de una arquitectura de Red Neuronal Convolucional  
para la clasificación de objetos***

Moisés García Villanueva y Leonardo Romero Muñoz

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UMSNH

46

---

***Modelo de histéresis de proximidad  $L^2P$  modificado***

C. Pérez Rojas<sup>1</sup>, R. Cortés González<sup>2</sup>, S. García Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, UMSNH, <sup>2</sup>Enel Green Power México

62

---

***Factores influyentes en la resistencia al deslizamiento  
en pavimentos flexibles: una revisión literaria***

Flor de María Yanira Zevallos Calle y Sócrates Pedro Muñoz Pérez

Universidad Señor de Sipán. Chiclayo, Perú

83

---

***Miscelánea***

Instructivo para autores

Directorios e información legal de *Ciencia Nicolaita*

100

---

# Presentación

La presencia del virus SARS-CoV-2 en el mundo ha cumplido más de un año y la enfermedad COVID-19 ha tocado múltiples estructuras y se ha expandido hasta alcanzar el grado de pandemia. Desde cualquiera de los puntos de vista que tratemos de ver este problema de salud, podemos ver los impactos, algunos catastróficos, que está generando en casi todos los países. De manera directa ha impactado en los sistemas de salud y en la economía de las naciones, y al mismo tiempo ha generado cambios en los hábitos de consumo y en las prácticas socioculturales. En el ámbito de la educación, la pandemia ha incidido en la concepción del modelo educativo y en todas las tareas académicas: docencia, investigación y difusión de la cultura; pero en el área de la investigación científica, la emergencia sanitaria ha abierto áreas de oportunidad y se han desarrollado nuevos campos de estudio

Por ello nos da gusto presentar la edición número 81 de *Ciencia Nicolaita*, que ofrece cinco artículos de sumo interés. Destacan dos cuya autoría pertenece a investigadores no nicolaitas: uno del Dr. José María Navarro Méndez, de la Universidad Autónoma de Sinaloa, que aborda la construcción de lo que se ha dado en llamar el calendario cívico. En la conformación de los estados nacionales, se identifican hechos reales o ficticios que dan cohesión al pueblo alrededor de los “mitos fundacionales”. En este caso el doctor Navarro Méndez da seguimiento a las fiestas y celebraciones en torno a la insurgencia mexicana (entre 1821 y 1822) en lo que se identifica con la expresión “guerra de fechas” o “guerra por las fechas”.

El otro artículo, de la autoría de Flor de María Zeballos Calle y Sócrates Pedro Muñoz Reyes, de la Universidad Señor de Sipán, de Chiclayo, Perú. Su texto contiene una revisión literaria sobre la identificación de los factores que influyen en

la resistencia al deslizamiento de pavimentos flexibles, que entre otros aspectos aborda el de cómo influye el agua de lluvia en los niveles de fricción de los neumáticos.

Por su parte, los investigadores nicolaitas aportan tres textos sobre los siguientes temas: a partir de una “ola de calor” que se presentó en la zona de Tierra Caliente de Michoacán, Alain Mbikayi, Christian Morales y Erasmo Cadenas hacen una simulación con un software que toma en cuenta la topografía y características del terreno, en la predicción numérica del clima.

Moisés García Villanueva y Leonardo Romero Muñoz, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, hacen el diseño de un dispositivo capaz de identificar cuerpos sólidos (mesas, escaleras, sillas, entre otros) y su distribución en un espacio determinado, como herramienta para la visión de robots, seguridad, conducción autónoma y video vigilancia inteligente, entre otras aplicaciones.

También de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, debemos mencionar el trabajo de los doctores Pérez Rojas, Cortés González y García Martínez relativo a la histéresis de diversos ferromagnetos, en los estudios eléctricos de maquinaria que se mueve o funciona con ese tipo de energía.

Como hemos apuntado, la pandemia ha provocado condiciones adversas a los deseos y necesidades del hombre y de las sociedades; pero también ha planteado retos que han puesto a prueba nuestra capacidad de adaptación, particularmente a la comunidad científica. La revista *Ciencia Nicolaita* es una plataforma para la difusión de los resultados de investigación que se realiza en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y en otras instituciones; nos complace enormemente constatar que sus páginas se ponen a disposición del público interesado en esta fascinante actividad.

***Dr. Marco Antonio Landavazo Arias***

***Coordinador de la Investigación Científica, UMSNH***

# Una guerra por las fechas: fiesta para los insurgentes o celebraciones para el imperio (1821-1822)

*José María Navarro Méndez*

Universidad Autónoma de Sinaloa

## Resumen

La guerra de la Independencia en la Nueva España y la formación del Estado soberano mexicano, son un amplio campo para los historiadores. En el presente artículo abordamos las conmemoraciones que emanaron a partir del acto de independencia. La institucionalización de las festividades cívicas suscitó pugnas político-ideológicas entre los líderes y voceros de las incipientes facciones políticas del país. Estos conflictos confluyeron en lo que denominamos: Guerra de Fechas, concepto con que observaremos cómo dos de los tres poderes de la nueva nación, asumían la ritualidad festiva para encausar los sentimientos y las emociones de los ciudadanos con la finalidad de marcar los hitos celebrativos.

**Palabras clave:** Agustín de Iturbide, Imperio Mexicano, Guerra de Fechas, festividades cívicas, ritualidad.

## Abstract

### ***The War for the Dates: Party for the Insurgents or celebrations for the Empire (1821- 1822)***

The war of Independence in New Spain and the formation of the Mexican sovereign state are still a broad field for historians. Here we address the commemorations that emanated from the act of independence, the institutionalization of civic festivities provoked political-ideological struggles between the leaders and spokesmen of the incipient political factions of the country these conflicts converged in what we call War of Dates, concept with which we will observe how two of the three powers of the new Nation, assumed the festive ritual to prosecute the feelings and emotions of citizens in order to mark the celebratory milestones.

**Keywords:** Agustín de Iturbide, Imperio Mexicano, Guerra de Fechas, festividades cívicas, ritualidad.

## Introducción

Las fiestas son un elemento de análisis y de representación de la sociedad. Se trata de un componente clave para la observación histórica, ya que refieren a los procesos que implican la comprensión de los sentidos. La fiesta renueva, de manera profunda, el mundo; da paso a un tiempo especial, vinculado con el principio original y lo sagrado. Debemos asumir que las celebraciones o las fiestas se dan en el sentido del sacrificio y la ruptura del orden y esto ayuda a la explicación para que la masa comprenda la modificación de las estructuras, como los cambios políticos, ya que las barreras sociales se rompen y dan paso a la demostración de las pasiones:

En la fiesta lo sacro se entre mezcla con lo profano, las misas, procesiones y rituales son acompañados por ferias, bailes, comidas, bebidas, juegos y palenques [...]. Muchas fiestas nacen de cotidiano: los ciclos agrícolas, los ritos religiosos, las victorias políticas y militares, o del paso de una etapa de la vida a otra [...]. La fiesta sea cual sea su origen y motivación, irrumpe en el curso de la vida cotidiana y crea [otros espacios que] [...] reafirman el orden social; alteran normas y valores, renovándolos y propiciando transformaciones culturales (Florescano y Santana, 2016, Tomo I: 11- 16).

Estudiar las fiestas de orden político o público ayuda a entender y vislumbrar las estructuras y las representaciones que hace la política; explica los elementos de las

festividades y los símbolos que emanan de sí misma; afirman la cohesión que existía entre los símbolos del poder y la representación de las jerarquías sociales. Maurizio Ridolfi (2004) sintetizó hace algunos años en su trabajo *Las fiestas nacionales*, que las festividades que surgen en el siglo XIX, es decir, con los procesos de configuración del Estado-Nación, comienzan a establecer un proceso político basado en la representación del rito y mito y dan sentido a la identidad colectiva.

La formación de la identidad se ve interiorizada en la muestra de las celebraciones, la fiesta o el rito celebrativo desempeñan una instrucción que se aprueba entre los sujetos que forma la comunicación entre los “gobernantes y los gobernados”, diría Ridolfi (2004) que “se trata de una transmisión de símbolos o de normas, las cuales tienen el neto interés en evidenciar la legitimidad política de los procesos y los hechos”.

Se trata de “legitimar no sólo y no tanto el poder en sí, sino más bien la idea y la encarnación del principio de la soberanía popular” (Ridolfi, 2004: 62). Este principio dirige la construcción del entramado de los hechos. Iturbide y sus allegados, al igual que los futuros opositores a la monarquía mexicana, saben y en todo momento manifiestan de forma festiva el cambio político. Esto a lo largo de los primeros meses de vida independiente de México, marcarán una “Guerra de Fechas”, ya que celebrar tal o cual día es meritorio de amplias discusiones y fuertes encontronazos entre los idearios para construir un calendario civil. De lo anterior nos planteamos la siguiente interrogante sobre la cual versa el presente análisis: ¿Cómo la Guerra de Fechas marcó el devenir político del Imperio Mexicano?

Las amplias discusiones historiográficas que se tienen sobre el Imperio Mexicano y la independencia, a partir de la firma de los Tratados de Córdoba, sin lugar a duda poseen un gran barrido documental y son estos aportes nuestro punto de partida. Los historiadores que se ocupan de este periodo han historiado las razones del fracaso político del Imperio y han explicado el nacimiento de la República. Se han señalado como principales motivos de conflicto la distinta interpretación de la soberanía, las rivalidades entre los poderes Ejecutivo y Legislativo y las malas finanzas que tuvo que adoptar el gobierno monárquico mexicano. Estos son algunos de los temas de mayor interés por la comunidad académica. Es clara la necesidad de entablar una discusión sobre la dimensión celebrativa del Imperio, ya que es necesaria, pues si bien hay trabajos acerca de esta temática, algunos no



profundizan y otros son aproximaciones muy amplias y no centran su atención en la presente discusión.<sup>1</sup>

Es por eso que la representación festiva y su legislación son nuestro interés de estudio, ya que el hecho de formalizar las celebraciones como parte del mito fundacional del país forman un bastión de análisis al que el lector puede acudir para entender las realidades y los mitos entorno a la historia mexicana. De allí la necesidad de su estudio y el presente trabajo intenta dar una respuesta a esta interrogante.

## **La Independencia Trigarante**

La revolución de la trigarancia enarboló el compromiso que adquirieron los hombres que, convencidos por el discurso de Iturbide, se movilizaron ante el contexto que imperaba en la vieja España (Guzmán Pérez, 2014: 134). En 1820 los liberales Rafael de Riego y Antonio Quiroga, en Cabezas de San Juan, abanderaron la defensa de la Constitución Gaditana, obligando a Fernando VII a juramentarla el 7 de marzo de 1820. Este hecho provocó que se convocaran a la elección de Cortes, para un nuevo inicio conocido como el Trienio Liberal. Los cambios políticos afectaron profundamente los reinos americanos, en especial el virreinato de la Nueva España, el cual tuvo conocimiento de lo ocurrido hasta fines de abril. En mayo de ese mismo año, el virrey Juan Ruiz de Apodaca, con temores encontrados, tuvo que declarar el restablecimiento de los mandatos constitucionales, los cuales ya habían sido jurados por el monarca.

El restablecimiento de la *Constitución Política de la Monarquía Española* ayudó, en gran medida, a la independencia de la Nueva España. Moisés Guzmán Pérez (2014) ha afirmado que:

un autor anónimo escribió en aquella época unos apuntes en los que dio a conocer los factores de orden externos que habían influido, de manera decisiva, en el movimiento por la Independencia de México; entre ellos mencionaba el restablecimiento de la Constitución liberal en España, la instauración de la libertad de imprenta, que desató a la opinión pública, a favor de la independencia, y los derechos de las Cortes que abolían la

---

<sup>1</sup> Robertson Spence, 2012; Arenal Fenochio, 2002; Anna, 1991; Vega, 1987; Ocampo, 1969; Ávila, 2002; Frasquet, 2010.

Inquisición y afectaban a los fueros y privilegios del clero (Guzmán Pérez, 2014: 136).<sup>2</sup>

Estos acontecimientos, sumados a los claros factores de orden interno que se estaban dando en el virreinato novohispano, ayudaron a fecundar la opinión política para la campaña del Ejército Trigarante. La empresa que Iturbide encabezó se fue manifestando desde el 14 de noviembre de 1820 y tras haber tomado el control de la Comandancia del Distrito del Sur, en los territorios del actual estado de Guerrero, el comandante aseveraba que se encontraba en el umbral de hechos muy importantes. Al mando de 1800 hombre de aquella comandancia y 550 leales soldados del Regimiento de Celaya, Agustín de Iturbide se puso en marcha (Robertson Spence, 2012: 104).

El 24 febrero de 1821 se proclamó el Plan de Iguala (Frasquet, 2010: 145), la trigarancia tomaba forma y al conglomerado militar se sumaron, no sólo Vicente Guerrero y sus leales guerrilleros, sino los hombres de la Tierra Caliente. Moisés Guzmán (2014), ha señalado que, desde Oaxaca, pasando por lo que es el actual estado de Guerrero, las dos tierras calientes en Michoacán, hasta Colima, la incorporación de soldados dirigidos por Juan Álvarez, Gordiano Guzmán, Pedro Ascencio Alquisiras e Isidro Montes de Oca, se anexaron al Ejército de las Tres Garantías. La revolución de los militares había comenzado y como ha mencionado Moisés Guzmán (2014), “paradójicamente no comenzó a través de las armas, sino a través de acuerdos y consensos”.

La idílica campaña trigarante triunfó de forma avasalladora y las tropas del Jefe se presentaban como los hijos pródigos del naciente país. Iturbide y la revolución que los militares impulsaron, ayudó a la “salvación” de la Nueva España.<sup>3</sup> Las negociaciones que emanaron de la promulgación del Plan de Iguala generaron un programa político que se adaptó al reino y esto trajo consigo las aspiraciones relativas a la conservación de los derechos de propiedad y la retención de los puestos públicos (Arenal Fenocho, 2002, pp. 537-542). Estas ideas agradaron no sólo a los militares, sino también a los terratenientes, funcionarios públicos y, por supuesto, al clero alto y bajo; “el Plan de Iguala tenía algo para todos” ha afirmado Robertson Spence (2012).

---

<sup>2</sup> “Muchos acontecimientos del año de 1821”, Centro de Estudios de Historia de México Carso (CEHM), México, Fondo I- 2, 3/38, folios 1- 4. Nota: El investigador michoacano, Moisés Guzmán, ha denotado el documento en algunas de sus obras. Ejemplo de ello es su trabajo sobre la revolución de los militares.

<sup>3</sup> López Cancelada, 2008.

La revolución de los militares tuvo un idílico triunfo con pocos enfrentamientos armados y mucha habilidad política por parte de los negociadores de Iturbide y de él mismo (Moreno Gutiérrez, 2016: 231). Es innegable que el empuje de la trigarancia no fuera reconocido y mucho menos celebrado por cada una de las urbes que fueron tomando bajo su mando. Dos de los actos de mayor resonancia fueron: la toma de Puebla de Los Ángeles y la de Valladolid de Michoacán, siendo puntos de inflexión respecto a la ruptura política con respecto a la metrópoli.

La situación de no retorno fueron las negociaciones con Juan O'Donjú y, claro, la marcha sobre la futura capital del Imperio. Fue en septiembre de 1821 cuando Agustín de Iturbide y su ejército se presentaron como el hijo prodigo de la nación. Su estancia, las atenciones y el propio desfile que encabezó, son objeto de las prácticas legitimadoras de los nuevos órdenes políticos. La ciudad se teatralizó mostrando la ruptura con el virreinato y exhibiendo a los nuevos actores políticos que ostentaban la nueva visión que se pretendía construir: el Imperio Mexicano. En la ciudad de México se mostró la aceptación de la Independencia y se celebró vivamente esta nueva forma de gobierno. Fue así como el 27 de septiembre de 1821, las tropas de Iturbide y él, como cabeza del Ejército Trigarante Mexicano, capituló la ciudad. Ese día la urbe recibió a casi 16 000 hombres de armas, mal vestidos y descalzos. En las puertas de la ciudad Agustín recordaba la gallardía y bizarrees de las tropas: “en el término que los miráis consiguieron la empresa sublime que será la admiración de los siglos [...], ya que; la patria eternamente recordará, que sus valientes hijos pelearon desnudos por hacer la independencia y feliz, pues los mexicanos gloriosos celebraban a pulmón abierto la gloria alcanzada”.<sup>4</sup>

Al día siguiente, el 28 de septiembre, se firmó el Acta de Independencia del Imperio Mexicano. Fue a la primera hora de aquella mañana cuando los miembros seleccionados por Iturbide para integrar la Junta Soberana Gubernativa se reunieron en el otrora Palacio Virreinal. Fueron 38 individuos los que componían aquella junta. Hay que señalar que los antiguos insurgentes no figuraron en este primer órgano de gobierno, pero sí estuvieron personajes cercanos al liberalismo revolucionario como lo ha denotado Ivana Frasquet (2010). Al unísono y bajo la misma suerte, en el imperio se instaló la Regencia del Imperio, la cual estaba compuesta por cinco miembros entre los cuales estaban: Agustín de Iturbide, presidente de ésta; Juan O'Donjú, Manuel de la Bárcena, José Isidro Yáñez y

---

<sup>4</sup> Hemeroteca Nacional Digital de México (HNDM), *Gaceta del Gobierno de México*, Núm. 129, T. XII, del 25 de septiembre 1821, pp. 1003- 1004.

Manuel Velázquez de León, con la finalidad de compensar los poderes (De la Torre Villar, 2010: 132).

Firmada el acta de independencia, los individuos pasaron a catedral donde José Fonte, arzobispo de México y las autoridades civiles y eclesiásticas los aguardaban. La Gaceta Imperial de México expuso que la Junta Soberana Gubernativa “legítimamente instalada, preservará y sostendrá inviolablemente la dicha y la esperanza vistos en los tres principios y heredados de la paz [que] verán [sobre] la religión, la unión y la libertad”.<sup>5</sup> Antes de hablar sobre las actividades de orden festivo que realizó la Junta Soberana, es menester mencionar la adversa situación de Juan O'Donojú, quien enfermó de una afectación pulmonar que contrajo en la costa veracruzana. O'Donojú murió el 8 de octubre tras largos y agobiantes días (González- Polo, 2006: 33-44). Fue la Gaceta Imperial en su edición del 11 de octubre en donde quedó plasmado que “en aquellos alegres días en el que el Imperio celebraba por su independencia, [recordaba] que en la vida no hay felicidad completa, pues el día de risas es anuncio de penas”.<sup>6</sup>

Así, la muerte del General fomentó en la sociedad y en el gobierno, la influencia para difundir las manifestaciones de los rituales de la memoria y generar el culto a los caídos. En esta primera manifestación, la sociedad que estaba al pendiente de la salud del Teniente General Juan O'Donojú comenzó a difundir sus hazañas en la Gaceta en la que se recuperaron algunas ideas que imperaban en aquellos momentos, ya que en las calles capitalinas la gente se preguntaba por el estado de su salud, pero cuando sonó la noticia de su fallecimiento, el dolor se apoderó de todos. Para levantar los ánimos de aquella pérdida, las personas contaban las hazañas más heroicas de su vida y otros el bien que le hizo al Imperio Mexicano.<sup>7</sup>

Pocas horas después se embalsamó el cadáver y vistió con el uniforme de Teniente General y todas las insignias militares que le corresponden por sus empleos y de las órdenes que era individuo, siendo el manto que se le puso, el de la de Carlos III. En la sala principal de su habitación, en que se colocó en una cama correspondiente rodeada de luces, se erigieron tres altares en los que se celebraron todas las misas posibles en la mañana de los días 9 y 10. Por la tarde del primero ocurrieron las comunidades a cantar reposo y estuvo franca la entrada para el público, sin que se advirtiera desorden alguno. Dispuesta por la regencia la etiqueta del ceremonial del entierro...:

---

<sup>5</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 4, T. I, del 6 de octubre de 1821, p. 21.

<sup>6</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 6, T. I, del 11 de octubre de 1821, p. 35.

<sup>7</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 6, T. I, del 11 de octubre de 1821, p. 37.

salió de la casa mortuoria, llevando por delante una partida pequeña de tropa para abrir paso por estar las calles del tránsito llenas de gente, ansiosas de ver el cadáver: seguían los pobres del hospicio, luego los del divinísimo y los trinitarios: después el acompañamiento de individuos de todas las órdenes religiosas; y el Ilustrísimo y Venerable Cabildo Eclesiástico que hizo los oficios: a continuación seguía el cadáver: detrás y a los cuatro extremos del féretro, caballeros de la orden y coroneles en además de cargarlo: cuatro lacayos conducían la tapa: comenzaba el duelo del Tribunal del Protomedicato, la Imperial Universidad con los bedeles enlutados y los doctores con las insignias respectivas: el Excelentísimo Ayuntamiento Constitucional abrió sus mazas también enlutadas, y se incorporó en su seno lo restante de su comitiva, que fue tan grande como lucida, presidiéndola la Regencia del Imperio: cerraron el acompañamiento dos compañías de granaderos con armas a la funerala, y dos escuadrones de caballería, el coche del Generalísimo con su respectiva escolta.<sup>8</sup>

De este modo se precisa una forma particular de conmemoración donde la prefiguración de la relación entre las fiestas civiles y las litúrgicas religiosas marcan un ritual de memoria (Ridolfi, 2009: 76). Si bien podríamos afirmar que este pasaje luctuoso es un simple protocolo que se emite bajo el duelo, no podemos rechazar la intención de la ritualidad que se ejemplifica, pues esta politización de la liturgia luctuosa es parte de la política legitimadora cuyo fundamento refleja la celebración de los “grandes hombres” que se adelantaron. La memoria de O'Donojú “[...] siempre será venerada en el Imperio [...]”,<sup>9</sup> representa la afirmación del discurso, parte esencial del proyecto nacional-patriótico (Ridolfi, 2009: 76).

La muerte de los héroes no podía dentar la marcha histórica y la Junta Soberana a lo largo de los primeros meses de sesiones se dedicó al reconocimiento masivo de la independencia de México, donde, en sesión del 3 de octubre de 1821, decretó la necesidad de extender la Acta de Independencias y de esa forma precisaron que el 27 de octubre de aquel año, fuese el día para el juramento y la solemne proclamación de la Independencia del Imperio.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 6, T. I, del 11 de octubre de 1821, pp. 37- 38; Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCDMX), Actas, Vol. 141A., Año 1821, Actas de Cabildo: Sesión Ordinaria, F. 739- v.740. Nota: Con respecto a la referencia que se discute en la sesión ordinaria en las salas del Cabildo, es la que se publicó en la Gaceta.

<sup>9</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 6, T. I, del 11 de octubre de 1821, p. 39.

<sup>10</sup> *Diario de las Sesiones de la Soberana Junta Provisional Gubernativa del Imperio Mexicano, Instalada según prevista el Plan de Iguala y Tratados de la Villa de Córdoba*, 3 de octubre de 1821, pp. 21- 25. Nota: En sesión del

El 27 de octubre, día que había sido decretado por la Junta Soberana, en la ciudad de México se llevó a cabo el acto que protagonizó de nueva cuenta Agustín de Iturbide y sus generales allegados. Ese 27 de octubre la ciudad y sus ciudadanos, en un bullicioso movimiento, se prepararon para recibir “los sagrados vínculos con los que van a sellar la mayor lucidez y decoro digno de tan fastuoso momento”,<sup>11</sup> con ayuda de todos los vecinos se preparó la iluminación, las calles se barrieron y los adornos hicieron relucir la ciudad de México. De nueva cuenta la teatralización de la urbe envolvió a sus habitantes para que fueran parte del acontecimiento político.

La Gaceta del Imperio llegó a afirmar que, en días anteriores a la función, no observaron otra cosa que no fuesen los preparativos:

Resonaba en todas partes el golpe de martillo; los talleres de los artesanos estaban poblados de manos útiles á quienes faltaba tiempo para sus laboriosas operaciones: las calles presentaban la idea de una ciudad que se estaba formando: no se veía más que andamios para pintar las fachadas de las casas, gente en solicitud de trabajadores, haciendo ofertas generosas para conseguirlos; en una palabra la rapidez del giro mercantil fue la prueba decisiva de que cada cual con el adorno de su persona pretenda concurrir al placer común.<sup>12</sup>

La jura estuvo rodeada de esplendor y lucidez. El escenario fue un gran quiosco que se expuso en la Plaza Mayor en donde se encontraba la estatua ecuestre de Carlos IV,<sup>13</sup> la cual se ocultó. El templete fue decorado con pinturas y se leyeron poemas de carácter nacionalista. El claro rompimiento con el pasado se externó y se manifestó ante los ojos de los capitalinos, así como de las autoridades civiles y eclesiásticas. Esta mera acción que, envuelta en una trama de simbolismo, sirvió para encauzar emociones y guiar el conocimiento social en ese espacio simbólico cargado de colores y arte sublime, aunque de manera momentánea, sometió el pensamiento y la memoria colectiva, generando una identidad propia: se plasmaba la idea del Imperio Mexicano.

El centro del [templete] lo formaba el pedestal de la estatua que quedó cubierta con 16 grandes y primorosos lienzos..., la estatua lo quedó también

---

5 de octubre de 1821, se dictó la necesidad de imprimir el bando solemne que Decretara la declaratoria de la independencia, para también comunicarle a la Regencia y poner en circulación los ocho puntos del acto.

<sup>11</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 15, T. I, del 27 de octubre de 1821, p. 104.

<sup>12</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 16, T. I, del 30 de octubre de 1821, pp. 109- 110.

<sup>13</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 16, T. I, del 30 de octubre de 1821, p. 110.

con el remate del templete que dividió en dos cuerpos asemejaban a un cono, en cuyo extremo se miraba sobre un Nopal parada un Águila, la que simboliza la libertad de la Nación. Los lienzos que cubrían el pedestal representaban, el primero la elevación de la América Septentrional al rango de nación independiente y libre, y ser igual a las demás que los son. En él se ve elevado un trono magnífico con cintal en frente, en el cual se hallan colocados el cetro y una corona imperial: la América representada con todos sus símbolos y vestida de manto soberano sube por las grandes conducidas por su digno hijo GRANDE ITURBIDE.<sup>14</sup>

Como hemos observado, los primeros meses de vida independiente propició las celebraciones de índole política y aunque las discusiones en torno a la soberanía aún no eran un punto importante en la agenda para los agentes políticos, lo que sí percibimos es que, activamente, tanto Iturbide como eclesiásticos, políticos y militares, estaban en campaña festiva con la intención de consolidar el cambio político. Parafraseando a Maurizio Ridolfi (2009), los rituales públicos que confluyen en los espacios, como lo es la capital de un Estado, deben suscitar emociones y pasiones con el objetivo de cohesionar el espíritu y la moral de la comunidad. La construcción de estos “sentimientos” se fijan bajo el entendido de ir expresando la identidad nacional, por lo que el Estado, sus instituciones y las organizaciones eclesiásticas, se ocuparon de reivindicar la voluntad de la clase dirigente o “un nuevo inicio” (Ridolfi, 2009: 63- 71). Por ello pusimos especial atención a determinados días, ya que en lo sucesivo e instalados los diputados constituyentes, se comenzó a hacer énfasis en las fechas que habrían de celebrarse.

## **El Congreso vs la Regencia: Qué fiestas legislar o cuáles olvidar**

El Congreso Constituyente del Imperio Mexicano, establecido el 24 de febrero de 1822, celebró su creación y a la par al menos 100 miembros constituyentes se perfilaron ceremoniosamente al presbítero y ahí en la Catedral Metropolitana juraba<sup>15</sup> colocaron su mano en las Sagradas Escrituras y cada diputado solemnemente protestó sostener la independencia, proteger la religión católica romana y elaborar la constitución de acuerdo con las bases de los Tratados de

---

<sup>14</sup> HNDM, *Gaceta del Gobierno Imperial de México*, Núm. 16, T. I, del 30 de octubre de 1821, pp. 110- 111. Nota: Las mayúsculas son de la edición original y los números son de nosotros.

<sup>15</sup> AHCDMX, Actas, Vol. 142A., Año 1822, Actas de Cabildo: Sesión Ordinaria, F. 110- 112. La sesión de cabildo, del día 23 de febrero de 1822, refiere a la disposición y acomodo de los diputados e invitados, para la misa.

Córdoba y el Plan de Iguala. Así mismo juraron mantener separados los poderes de gobierno. La actitud de Iturbide era la del “libertador de la Nación, como tenía que haber actuado el Héroe de Iguala”, recuerda Stephen Austin (Robertson Spence, 2012: 240). A la par de esto la Junta Soberana Gubernativa se estaba disolviendo, su último presidente, José María Fagoaga pidió, antes de cerrar sesión, que se reconociera como día festivo el 27 de octubre por ser el día de la jura de la independencia (Frasquet, 2010: 149).

La primera tarea de los congresistas fue una sesión larga y decisiva. Alfredo Ávila (2002) ha estudiado a la Corte Imperial y ha considerado que encausó el rumbo que tomarían las relaciones entre Iturbide y los diputados. Robertson, por su parte, ha sacado a la luz que el primer rose entre los diputados y Agustín de Iturbide fue debido a la ocupación de la silla principal del recinto donde se estaban llevando a cabo las sesiones. “El congreso pronto eligió a su presidente y a dos secretarios. De acuerdo con José María Bocanegra, diputado por Zacatecas, cuando el presidente de la regencia entró al salón, tomó el asiento más prominente. Esto provocó una protesta a la que Iturbide replicó diciendo que a él se le había asignado el lugar más alto en las sesiones de la junta” (Robertson Spence, 2012: 240). Y es que el enfrentamiento de las fuerzas políticas se ponía en juego, pues se buscaba legitimar su actuar. Iturbide recordaba a los diputados que, gracias a él, la nación se había formado y cohesionado y el congreso de representación nacional se había establecido. El conflicto entre las autoridades ejecutivas y legislativas fue una la recurrente en la historia de México, que “en la mayoría de los casos, los organismos constituyentes están conformados de ante mano en los planes políticos que les dieron origen” (Ávila, 1998-1999: 29-60). Esto fue lo que ocurrió con el Congreso constituyente de 1822, ya que la Junta Provisional Gubernativa dio origen al poder legislativo, la sombra de el Plan de Iguala y los Tratados de Córdoba, se cernían fuertemente en la corte constituyente e Iturbide lo manifestaba (Ávila, 2002: 215).

En general, el problema fue que cada uno de los actores, es decir, Iturbide y los diputados, quisieron legitimar su actuación dejando la idea y los argumentos en donde cada uno hacía uso de la soberanía nacional. El reconocimiento que el Congreso Constituyente le dio a Iturbide fue trascendental, pues los diputados reconocieron que su origen estaba en el Plan de Iguala. En esta sesión los diputados formalizaron la existencia del imperio sujetándose a aprobar la legitimidad del Congreso y los diputados dijeron que sí. El segundo asunto que atendieron fue si la soberanía reside esencialmente en la nación, a lo cual respondieron de la misma forma, además aceptaron que la religión católica romana era la religión oficial



de la nación. Así que, de manera unánime, los diputados aprobaron que la nación tomaría el modelo político de monarquía moderada constitucional y que en lo sucesivo el país sería nombrado Imperio Mexicano. Atendieron también los llamamientos del trono a la Casa de Borbón, según lo establecido en los Tratados de Córdoba del 24 de agosto de 1821, a lo cual los diputados votaron de forma unánime.<sup>16</sup>

Ante las posteriores negativas de la corona española de mostrarse de acuerdo con la independencia del Imperio Mexicano, se hizo evidente la falta de reconocimiento por parte de las potencias europeas, más allá de los márgenes del continente americano y en específico de la América Hispana. Alfredo Ávila muestra que sobre Iturbide ya pesaba la idea de ser la cabeza de la monarquía mexicana y es que Joaquín Fernández de Lizardi argüía la idea de que “mejor sería tener un monarca mexicano a ver sometido al imperio bajo una dinastía extranjera”,<sup>17</sup> y es que, sin mencionar el nombre de Iturbide, la sociedad mexicana ya pensaba en Agustín I, pues el apoyo popular lo convertía en el mejor candidato (Ávila, 2002: 227).

Las distintas interpretaciones de la independencia hacían que los cuerpos políticos de la nación entraran en un enfrentamiento abierto, mientras Iturbide y sus partidarios pretendían que el calendario civil fuera pensado a partir de los sucesos del Plan de Iguala ya que la oposición a él buscaba legitimar el legado de los viejos insurgentes. Esto se puede observar en la configuración de las fiestas nacionales. Maurizio Ridolfi (2009) ha establecido que el estudio de determinadas fechas genera un bullicioso elemento de análisis. El interrogarse sobre la composición de los calendarios civiles ayuda a definir y a entender el cómo y por qué determinados eventos y personajes históricos (según cada realidad), forman parte de la legitimidad del pasado.

Mistificado la sustancia de las efectivas jerarquías sociales, con la finalidad de legitimar los equilibrios de poder, el rito garantiza formas diversas de consenso: efemérides, momentáneo, duradero, según los casos. Éste, sin embargo, está dotado de un propio, variable, lenguaje de símbolos y significados que hacen más compleja la interpretación de sus efectos (Ridolfi, 2009: 65).

Una situación particular se suscitó en los primeros encuentros de los debates constituyentes de las Cortes mexicanas, pues la elección de la fecha de la

---

<sup>16</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1980, *Instalación del Congreso*, 24 de febrero de 1822, México, Imprenta de Alejandro Valdés, 1822, p. 8.

<sup>17</sup> Fernández de Lizardi. 1822.

Independencia abría fuertes heridas a los hombres que alcanzaron el hito. Es esencial especificar que las disputas festivas que se dieron en el Congreso y entre éste y Agustín de Iturbide, se apoyaban, dice la investigadora Garrido Asperó (2006), por un lado “en las distintas concepciones del orden político y relación de poderes en que debía sustentarse el Imperio Mexicano y, por otro, estrechamente relacionado con aquél, en las también distintas interpretaciones que, de la guerra de independencia, de los personajes y acontecimientos que fundaron el nuevo Estado”, (Garrido Asperó, 2006: 132). En pocas palabras nos referimos al claro embate entre los dos poderes: el Legislativo y el Ejecutivo.

En este contexto, la selección del universo festivo del Imperio, facultad que era competencia del legislativo, se convirtió en un importante tema en disputa. Los diputados desafectos a Agustín de Iturbide, los que habían participado en la insurgencia y los partidarios de la república, intentaron premiar el mérito de los insurgentes y decretar días de festividad nacional las fechas que recordaban la insurgencia, así reconocían que el origen y el futuro del nuevo Estado independiente tenía sus antecedentes en 1810 y no, como Iturbide pretendía, en 1821, en el grito de Dolores y no en el Plan de Iguala (Garrido Asperó, 2006: 132).

Esta discusión política enfatizaba lo que ha llamado Ridolfi: “Guerra de Fechas”, concepto que marca la composición de los calendarios civiles. Este conflicto político, propiamente interno, define qué eventos y figuras del pasado se deben legitimar como objeto de conmemoración (Ridolfi, 2009: 65). Es evidente el claro conflicto que Iturbide y los diputados tenía entre manos, ya que revela el padecimiento de la doble soberanía que Luis Villoro (2010) y Alfredo Ávila (2002) han marcado en distintas ocasiones (Villoro, 2010: 203; Ávila, 2002: 226).

Pues bien, la legislación de las fiestas que nos atañe refiere estrechamente una pugna de poder que se relaciona con las diversas formas de entender la Independencia. Antes del establecimiento del Congreso Constituyente, en sesión del 24 de febrero de 1822, la Junta Soberana Gubernativa mandó a José María Fagoaga a proponer los días festivos para el Imperio, en la sesión del 28 de febrero en el Congreso Constituyente los días propuestos fueron; 24 de febrero, 2 de marzo y 27 de septiembre. La idea era que, para el primer día, se celebrase el Plan de Iguala y la instalación del Soberano Congreso Constituyente; para la segunda fecha se buscaba festejar la jura que dio el Ejército de las Tres Garantías al Plan de Iguala; y la tercera ocasión alegórica, serviría para recordar la entrada de los Trigarantes a

la capital.<sup>18</sup> Si bien este primer intento de seleccionar fechas no terminó componiendo una idea general, sí vislumbró los primeros escollos de la pugna.

Habiéndose llamado la atención por muchos señores diputados, acerca del día en que se firmaron los tratados de Córdoba, del en que se dio el grito primero de la libertad nacional en Dolores, y hechos importantes y tiernas memorias de los señores Hidalgo, Allende, Aldama, Abasolo, y Morelos, recordando el [señor] *Argandar* que el primer grito giró sobre religión, independencia, unión y monarquía, aunque muy luego todo se confundió y entró el desorden horroroso por no haber correspondido la opinión general y quedó sacrificado en los cadahalsos el mérito de los primeros caudillos, se acordó como mejor que una comisión compuesta de los señores *Andrade, Herrera, Argandar, Paz y Robles*, proyectaran cuanto fuera oportuno.<sup>19</sup>

En los escollos que mencionamos reflejan el tipo de consenso que se pretendía tener: un mito fundador basado en el Plan de Iguala, que, bajo la unión de los militares, capitularon la capital virreinal, un movimiento incruento que logró instalar un Congreso Soberano en la tierra de las delicias. Este mito fundador pretendía apoderarse de la memoria colectiva instituyendo las fechas que mencionamos y afirmando el carácter monárquico del Estado (Ridolfi, 2009: 65), todo esto, siempre en el entendido de que el mérito de la independencia es parte de la adhesión militar, cuyo objeto es hacer sentir al ejército su relación con el imperio y recordarle que su deber es hacia ellos y siempre con sensibilidad (Mathiez, 2013: 88).

De hecho, la elección de los héroes a quienes se iba a celebrar se discutió acaloradamente, pues la memoria de los primeros insurgentes seguía aun presente. Se ha mencionado que, en esta primera discusión en torno a las fechas civiles se debatió bajo un tono conciliador entre los esfuerzos de Iturbide y de los viejos caudillos (Garrido Asperó, 2006: 132), considerando por igual la labor de O'Donojú y de Mina.<sup>20</sup> Y se propuso también que el 28 de agosto fuera reverenciado como fecha alegórica para el Imperio por ser santo de Agustín.<sup>21</sup>

---

<sup>18</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 22.

<sup>19</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 22. Nota: Las cursivas en los nombres de los legisladores son propias del documento.

<sup>20</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 23.

<sup>21</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 23.

Creemos que el problema en estas primeras discusiones va más allá del intento de dar un sentido conciliador, pues para los diputados que no eran afines al proyecto Imperial Mexicano, consideraban igual los esfuerzos de los insurgentes que combatió Iturbide con el hito que él había alcanzado. El diputado Francisco Argandar, quien fue firmante de la Constitución de Apatzingán (Garrido Asperó, 2006: 140),<sup>22</sup> consideraba que las bases elementales de aquella Carta Magna eran, a su entender, iguales a los del Plan de Iguala.<sup>23</sup> Estas discusiones evidenciaron las heridas que aún no sanaban, pues como se ha afirmado: “[...] las fiestas y los héroes comenzaron a ser motivo de diferencias en el interior del Congreso y entre éste y Agustín de Iturbide” (Garrido Asperó, 2006: 140).

Después en sesión del 1 de marzo y bajo una apresurada deliberación de la comisión encargada de redactar y seleccionar las fechas nacionales, acordaron establecer las que, a su parecer, eran las más urgentes, pues se tenía previsto que el día 2 de marzo se celebrara la primera fiesta legalmente instalada. Así, los legisladores encargados dieron su resolución: “serán los días 24 de febrero, 2 de marzo, 16 y [27] de septiembre de festividades nacionales”.<sup>24</sup> La bizarría de los legisladores introdujeron claros elementos de discordia, “perturbadores”, en términos de Alamán o por lo menos así lo vieron los diputados iturbidistas (Alamán, 1899, Tomo V: 484.).

La memoria comenzó a ser motivo de discordia. En sus escritos Iturbide redactaría que el “tiempo demostró la certeza de mis predicciones. Hidalgo y los que le sucedieron, siguiendo su ejemplo, desolaron el país, destruyeron las fortunas y radicaron el odio entre europeos y americanos”. Afirmaba también que a “aquellos hombres que se les intentaba dar honras fúnebres” y días festivos, él les volvería a dar guerra. La clara comparación entre Agustín e Hidalgo le resultaba horrorosa, ya que para Iturbide la forma de conseguir la independencia distaba en mucho del “sacrificio de millares de víctimas, de la desorganización en el ejército, [...] haciendo peor la condición de los americanos, [...] y lejos de conseguir la independencia, aumentaron los obstáculos que a ella se oponían”.<sup>25</sup> La opinión de Iturbide es una afirmación de su idea de Estado, pues el uso político del pasado inmediato, tenía que reflejar el proceso de unión. Las fiestas pues, al ser una parte constitutiva de la

---

<sup>22</sup> *Decreto Constitucional para la Libertad de la América Mexicana*.

<sup>23</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 22.

<sup>24</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 27. Nota: La cursiva es parte del texto original, hay un error de imprenta, la original marca 16 y 17 de septiembre.

<sup>25</sup> Iturbide, 2014.

comunicación del poder (Ridolfi, 2009: 65- 67), les correspondía establecer la idea imperante del trigarantismo y no la desunión, que bajo la perspectiva de él arrojaban los primeros caudillos.

Los legisladores intentaban a todas luces hacer presente la arenga de Dolores como fiesta nacional, lo cual implicaba el claro reconocimiento del cura Hidalgo como héroe de la patria, evidenciando así la necesidad de una ceremonia especial que inmortalizara su recuerdo. Aunado a estos embates, la comisión de diputados que se encargó de los premios militares que encabezaban los diputados Múzquiz, Serna y Ercharte, Carvajal, Sánchez del Villar y Espinoza de los Monteros, precisaron la necesidad de establecer un dictamen “imparcial” que buscara esclarecer a qué individuos debería otorgárseles méritos. De nueva cuenta se buscaba premiar a Hidalgo, Morelos, Allende y Abasolo.<sup>26</sup> La comisión y el mismo Congreso Constituyente aprobaron la iniciativa, considerando que sin el principio del grito en Dolores no hubiera existido el Plan de Iguala.

Derivada de las afirmaciones de los legisladores, Fernández de Lizardi opinaría que sin los esfuerzos de aquellos hombres “no se tendría un Congreso Constituyente”. Dicha opinión generó una contestación pública, llevada a cabo por el coronel Parres quien replicaría los escritos del Pensador Mexicano: “hablando del mérito de Hidalgo, Allende y demás jefes de la insurrección, nuestra patria les debe lo poco que causados los males a la patria contribuyeron a formar la idea de la independencia”, esto quedaría asentado en los escritos de Lucas Alamán, como parte de los escándalos públicos que se dieron alrededor de la formación del calendario patrio. (Alamán, 1899, Tomo V: 388.).

Lo cierto es que, en esta Guerra de Fechas, la creación del panteón cívico y el calendario patrio; los victoriosos fueron los diputados de la oposición, por varios factores. Jaime del Arenal Fenochio resalta el más evidente: la imposición del Congreso, afianzándose la soberanía “con el despotismo de la misma”. Ellos se reservaban para sí el ejercicio del poder legislativo en toda extensión, siendo “representativo, soberano y constituyente, por lo tanto, un poder supremo” (Arenal Fenochio, 2004: 82).

En cualquier caso los legisladores del primer Congreso Constituyente y el presidente de la Regencia Imperial Agustín de Iturbide, es decir todos los sujetos políticos, buscaban desplegar los símbolos y héroes que representaran y que dieran

---

<sup>26</sup> *Actas constitucionales mexicanas (1821- 1824)*, Tomo II, Vol. I, *Acta del congreso*, I, 28 de febrero de 1822, p. 33.

la soberanía a la nación. Intentaban imprimir una fe cívica donde las pasiones se difundieran por los aires patrióticos. Cada uno de los actores políticos, buscaban inspirar y honrar las instituciones políticas y, claro, enaltecer la forma de gobierno del Estado imperial mexicano, el recuerdo pues de los grandes acontecimientos que da lugar a estas acaloradas discusiones, en el fondo constituye un culto a la Independencia. El problema inherente es a quién le hacen el culto (Mathiez, 2013: 51- 68). Para los iturbidistas no hay duda alguna la consolidación del hito mexicano es para ellos, pero el testimonio de los primeros combatientes y de los primeros esfuerzos dieron, a su manera, forma a la historia o, por lo menos, bajo el contexto del Imperio Mexicano.

## **Conclusiones**

Este estudio nos ha permitido mostrar el desarrollo de una historia sobre los actos que acarrear las celebraciones. Nos encaminamos a entender el porqué y el para qué de las mismas. Pensamos que hemos podido exponer nuestro objeto de estudio en relación con su tiempo, su espacio y las circunstancias que originaron cada acto analizado a lo largo del trabajo. Pero ¿qué podemos decir de la fiesta bajo el primer gobierno independiente de México? Es necesario decirlo todo, o por lo menos lo que las fuentes nos permitan para demostrar que los actos celebrativos durante el gobierno que encabezó Agustín de Iturbide estuvieron encaminados por la necesidad de fortalecer el proyecto independentista.

Es inequívoco creer que Iturbide y los hombres del Imperio veían en la fiesta un recurso efímero, el cual no se tomaban con total seriedad, ya que las expresiones sensibles, el embellecimiento de las calles y de los balcones y el arrojo social que atrajeron las fiestas demuestra lo contrario. La fiesta cívica, la fiesta política y todas las conmemoraciones de este orden, son parte fundamental de aquello que se intentaba impregnar en la memoria histórica, la cual ritualiza el poder de los individuos que lideraron la nación.

Además, si bien nuestro tema no resulta del todo novedoso, creemos que el enfoque que posee nos brindó las herramientas necesarias para atender cada fiesta y evento festivo, en particular lo que denominamos: “Guerra de Fechas”, bajo la lupa de lo político, entendiendo que cada uno de esos actos giraban en la búsqueda de la legitimidad, no en el sentido de la forma de gobierno, sino en el de brindar la legítima ruptura con el viejo régimen. También hemos podido observar desde otra perspectiva el conflicto que mantuvo Iturbide con los miembros del poder legislativo,

la batalla por el calendario cívico y esto nos brinda un panorama mucho más amplio sobre la confrontación y los encontronazos entre los poderes del legislativo y del ejecutivo. Como se ha observado este conflicto tomó de forma importante la mentalidad de los líderes del congreso. La conmemoración de las hazañas de los primeros insurgentes se consideraba importante en la retórica ilustrativa para el pueblo y es significativo que Iturbide y sus huestes lo repudiaran.

Sin duda se piensa que el Imperio Mexicano fue un periodo sombrío y que, a partir de la abdicación del adalid de Iguala, el Estado-Nación comenzó una ruta luminosa, claro que con sus descabres, pero es innegable que la documentación presentada muestra que los actores involucrados en el gobierno imperial buscaron levantar el país de manera continua. Si bien las ideas de las fiestas se pueden poner bajo la lógica del “pan y circo”, resulta inequívoco creer que estas no tuvieran un sentido legitimador sobre el nuevo régimen instaurado.

Sin embargo, aún quedan muchas aristas por resolver sobre la historia del primer Imperio Mexicano. Los aportes historiográficos e históricos deben ahondar más en los procesos políticos, sociales, económicos, militares y otras líneas de estudio. Los semblantes de las líneas anteriores deben resonar entre la comunidad para revelar más en la construcción política del México decimonónico entorno a este periodo. El Imperio Mexicano y Agustín de Iturbide necesitan enfoques y lecturas que ayuden a comprender la historia de los inicios de la vida independiente del Estado-Nación para conseguir elevar en la historia el legado y la memoria colectiva de esos actores históricos.

## **Referencias**

### **Archivo**

Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCDMX)  
Centro de Estudios de Historia de México Carso (CEHM)  
Hemeroteca Nacional Digital de México (HNDM).  
*Gaceta del Gobierno Imperial de México*, 1821- 1822.

### **Bibliografía**

*Acta de Independencia del Imperio Mexicano, pronunciada por su Junta Soberana Congregada en la Capital de él en 28 de septiembre de 1821.*  
*Actas Constitucionales Mexicanas* (1821- 1824). 1980. Tomo I. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Alamán, Lucas. 1899. *Disertaciones sobre la historia de Méjico*. México: Imprenta de Agüeros.
- Alfredo, Ávila. 2002. *En nombre de la Nación. Formación del gobierno representativo en México*. México: Taurus. Centro de Investigaciones y Docencia Económica.
- Anna, Timothy E. 1987. *La caída del gobierno español en la ciudad de México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Anna, Timothy E. 1991. *El Imperio de Iturbide*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA) y Alianza Editorial.
- Arenal Fenochio, Jaime del. 2002. *Un modo de ser libres: Independencia y constitución del México (1816- 1822)*. México: El Colegio de Michoacán.
- Arenal Fenochio, Jaime del. 2004. *Agustín de Iturbide*. México: Booket.
- Ávila, Alfredo. 1998- 1999. Las primeras elecciones del México Independiente: el debate en torno al gobierno representativo. *Política y cultura*, 11. pp. 29- 60.
- Ávila, Alfredo. 2001. *Para la libertad. Los republicanos en tiempos del imperio, 1821- 1823* (tesis doctoral). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Canal, Jordi y Moreno Luzón, Javier, (eds.). 2009. *Historia de la Política Contemporánea*. España: Centro de Estudios Políticos y Constitucionales.
- Castellanos, Francisco. 1982. *El Trueno. Gloria y martillo de don Agustín de Iturbide*, México: Diana.
- Fernández de Lizardi, José Joaquín. 1823. *El Unipersonal de Don Agustín de Iturbide, emperador que fue de México*.
- De la Torre Villar, Ernesto. 2010. *La Independencia de México*. México: Fondo de Cultura Económica. Mapfre.
- Del Arenal Fenochio, Jaime, "Iturbide, Apodaca y la Constitución de Cádiz: La crítica al constitucionalismo gaditano". En Terán, Marta y Serrano Ortega, José Antonio. 2002. *Las guerras de Independencia en la América española*. México: El Colegio de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp. 535- 546.
- Diario de las Sesiones de la Soberana Junta Provisional Gubernativa del Imperio Mexicano, Instalada según prevista el Plan de Iguala y Tratados de la Villa de Córdoba*. 1821. México: Imprenta de Alejandro Valdez.
- Florescano, Enrique y Santana Rocha, Bárbara (coordinadores). 2016. *La fiesta mexicana*. Tomo I. México: Fondo de Cultura Económica. Secretaria de Cultura.



- Frasquet, Ivana. 2007. La "otra" Independencia de México: el primer imperio mexicano. Claves para la reflexión histórica. *Revista Complutense de Historia Americana*. 33. 35- 54.
- Frasquet, Ivana. 2010. Las caras del águila. *Del liberalismo gaditano a la república federal mexicana 1820- 1824*. México: Universidad Veracruzana. Universitat Jaume I.
- Garrido Asperó, María José. 2006. *Fiestas cívicas históricas en la ciudad de México, 1765- 1823*. (Historia Política). México: Instituto José María Luis Mora.
- Gómez Pedraza, Manuel. 1831. *Manifiesto que Manuel Gómez Pedraza, ciudadano de la Republica de Méjico, dedica a sus compatriotas; o sea una reseña de su vida pública*. Estados Unidos de América: En la Imprenta de Benjamín Levy.
- González- Polo, Ignacio. 2006. Juan O'Donojú, un benemérito gobernante olvidado en la historia de México. *Boletín*. 1 y 2. XI. 33- 44.
- Guzmán Pérez, Moisés. 2014. El Movimiento Trigarante y el fin de la guerra en Nueva España (1821). *Anuario Colombiano de Historia, Social y de la Cultura*, 41.2. 131- 161.
- Hamnett, Brian R. 2010. *Raíces de la insurgencia en México. Historia regional, 1750- 1824*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Mathiez, Albert 2012. *Los orígenes de los cultos revolucionarios (1789- 1792)*. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Moreno Gutiérrez, Rodrigo. 2016. *La trigarancia. Fuerzas armadas en la consumación de la independencia. Nueva España, 1820- 1821*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Fundación Felipe Teixidor y Monserrat Alfau de Teixidor.
- Ocampo, Javier. 1969. *Las ideas de un día el pueblo de México ante la consumación de su independencia*. México: El Colegio de México.
- Ridolfi, Maurizio. 2004. Las fiestas nacionales. Religiones de la patria y rituales políticos en la Europa liberal del «Largo Siglo XIX». *Pasado y Memoria. Revista de historia Contemporánea*. 3. 135- 153.
- Ridolfi, Maurizio. 2009. "Fiestas y Conmemoraciones". En Jordi Canal y Javier Moreno Luzón, (eds.). *Historia de la Política Contemporánea*. España: Centro de Estudios Políticos y Constitucionales. pp. 59- 96.
- Robertson Spence, William. 2012. *Iturbide de México*. México: Fondo de Cultura Económica.

# **S**imulación de la temperatura en la Tierra Caliente del Estado de Michoacán, utilizando el modelo meteorológico de Mesoescala WRF

*Alain Mbikayi T.<sup>1</sup>, Christian Morales O.<sup>2</sup>, Erasmo Cadenas C.<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica; <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas. UMSNH

## **Resumen**

Se presentan los resultados del modelado de una ola de calor ocurrida en la zona de la Tierra Caliente en el Estado de Michoacán, en el mes de mayo del año 2018. La herramienta de modelado fue el software de plataforma libre denominado Weather Research and Forecasting (WRF), que es un modelo de predicción numérica del tiempo de mesoescala que, a diferencia de los modelos meteorológicos globales, toman en cuenta la topografía y las condiciones del terreno, para generar condiciones de simulación más apegadas a la realidad. Para reproducir el fenómeno meteorológico de la ola de calor, se simuló las temperaturas horarias del 28 de mayo al 03 de junio del año 2018, debido a que las mediciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), indican que en esas fechas ocurrió la ola de calor en algunas zonas del país, dentro de las cuales se

encontraba el estado de Michoacán. Los resultados arrojados por las simulaciones demuestran que, en algunos lugares de la Tierra Caliente, del Estado de Michoacán, las temperaturas en esas fechas superaron los 40°C, lo que permite establecer la utilidad del modelo generado, el cual se puede utilizar para futuras simulaciones y para distintas variables meteorológicas, además de que se puede integrar como una herramienta útil de prevención civil.

**Palabras clave:** Michoacán, Ola de calor, WRF.

## Abstract

This work presents the results of the simulation of a heatwave which took place in the region of Tierra Caliente in the State of Michoacán, in the month of May 2018. The modelling tool used was the open source software Weather Research and Forecasting (WRF), which is a mesoscale numerical weather research program, unlike global meteorological models, take in account topography and ground conditions, to generate better modelling conditions closer to reality. According to the reports of the Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), the heatwave event occurred from the 28th of May to the 3<sup>rd</sup> of June of 2018 in some regions of the country, including Michoacán. The results issued by the model show that in some areas of Tierra Caliente in the State of Michoacán temperatures rise above 40 °C, which allows establishing the usefulness of the generated model, that can be used for future modelling of various meteorological variables, also might be integrated like a useful tool for civil defence system for disaster prevention.

## Introducción

En la actualidad los efectos del cambio climático son cada día más evidentes y en muchos ámbitos afectan directamente el bienestar del ser humano en el planeta. De acuerdo al último Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se estima que las actividades humanas han causado un incremento en la temperatura global de aproximadamente 1.0 °C, con respecto a los niveles preindustriales, con una variación de 0.8°C a 1.2°C. Es probable que el calentamiento global incremente la temperatura promedio del planeta en 1.5°C entre los años 2030 y 2052, si continúa aumentando al ritmo actual. (IPCC, 2019).

En muchas regiones del mundo ya se está experimentando el cambio climático con eventos extremos tales como: un aumento de la temperatura media en la mayoría de las regiones terrestres y oceánicas, episodios de calor extremo en la mayoría de las regiones habitadas, precipitaciones intensas en varias regiones y la probabilidad de sequías y déficits de precipitación en algunas regiones.

La República Mexicana no está exenta de los efectos del cambio climático, éste se ha reflejado en la desertificación de muchas regiones del norte del país, que se están convirtiendo en terrenos estériles, lo que significa desecamiento de ríos, muerte de especies animales y vegetales e impacto en los mantos freáticos.

Otros ejemplos son: el aumento de la temperatura en la Ciudad de México (en los últimos años hubo un incremento de casi 4°C), el aumento de tormentas intensas ya sea en Motozintla, Chiapas o en Ciudad Juárez, Chihuahua, la aceleración de la pérdida de bosques y vegetación en nuestro país, junto con los incendios forestales, que se asocian también con el aumento de la temperatura. (SERMANAT, 2016).

En la actualidad la medición de temperaturas se realiza a través de una estación meteorológica, pero existen pocos sitios que garanticen una calidad en los datos adecuada, además en la mayoría de las veces, las mediciones son inconsistentes en cuanto a los periodos de medición. (Yip, 2016).

Existen, sin embargo, los datos del Research Data Archive (Reanalysis o reanálisis), los cuales proporcionan un registro de variables atmosféricas equiespaciadas, que son representativas de la circulación atmosférica global. Recientemente se ha creado una nueva generación de datos de reanálisis como: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA Interim Simmons, (2007), National Centres for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (NCEP-CFSR) Saha, (2010) y la NASA's Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications (NASA-MERRA) (Simmons, 2007, Rienecker, 2011, Mitch, 2010, y Skamarock, 2008).

Los modelos numéricos para la simulación del clima funcionan utilizando datos de reanálisis. En la actualidad existen varios modelos de mesoescala que se pueden utilizar de manera gratuita como: Weather Research and Forecast Model (WRF) Skamarock, (2008), fifth-generation Meso-scale Model (MM5) Grell, (1995), Regional Atmospheric Modelling System model (RAMS). Pielke, 1992.

Los métodos de simulación numérica de mesoescala, en comparación con los métodos estadísticos o de inteligencia artificial utilizados en la predicción, pueden

obtener valores de parámetros atmosféricos ubicados en cualquier región del planeta. Estos métodos están ganando popularidad en la evaluación de eventos meteorológicos, que realizan las comunidades científicas alrededor del mundo.

Como lo describe Zahra (2020), utilizan el modelo WRF para modelar con éxito una isla de calor urbana en Toronto, Canadá, con la finalidad de contar con futuras predicciones que ayuden a implementar estrategias de prevención, demostrando la utilidad del modelo en la práctica operativa. Otro enfoque de la utilización del modelo WRF lo da Le Roux (2019), que utiliza el modelo para el área de viñedos más grande de Nueva Zelanda, para predecir la temperatura en un área con una resolución de 1 km. Kaniz (2020), predicen las condiciones de una ola de calor y sus características termodinámicas en Bangladesh, en un dominio de 10 km, demostrando los beneficios sociales y económicos que puede traer un modelo de predicción de eventos meteorológicos de mesoescala. Además de la predicción de temperatura, el modelo WRF puede predecir diversas variables meteorológicas como la precipitación, la formación de nubes, etc.

Por lo anterior el presente trabajo tuvo como objetivo generar un modelo de mesoescala del Estado de Michoacán, que pronostique diversas variables meteorológicas en un horizonte de tiempo hasta de 48 horas, con la finalidad de aportar una herramienta de prevención contra eventos meteorológicos extremos.

Para ejemplificar el uso del modelo se tomó como referencia la ola de calor ocurrida en el año 2018, de la cual sólo tenemos como referencia las temperaturas publicadas por los diversos medios de información y el clima promedio de la región registrado en el Reporte del Clima en México CONAGUA, (2018). El modelo pudo reproducir en un rango aceptable la temperatura ocurrida en las fechas seleccionadas.

## **El Estado de Michoacán**

El estado de Michoacán de Ocampo se sitúa hacia la porción centro—oeste de la República Mexicana, entre las coordenadas 20° 23' 27" y 17° 53' 50" de la latitud norte y entre 100° 03' 32" y 103° 44' 49" de la longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limitado al norte con los estados de Jalisco y Guanajuato, al noroeste con el estado de Querétaro, al este con los estados de México y Guerrero, al oeste con el Océano Pacífico y los estados de Colima y Jalisco, al sur con el Océano Pacífico y el estado de Guerrero, Durán (2003). Michoacán se encuentra adyacente al Océano Pacífico, con el que tiene una extensión de costas de 208 km; la cercanía

del Golfo de México (420 km de Morelia, Michoacán) también ejerce una influencia en la humedad, aunque menor que la del Pacífico. Durante el verano, al desplazarse la zona subtropical de alta presión al Norte, los vientos alisios tienen mayor influencia y soplan en superficie con una dirección ENE, recogiendo humedad del Golfo de México. Los huracanes o ciclones tropicales que afectan al país, se presentan en verano y en otoño, desde la última decena de mayo a la primera quincena de octubre.

De acuerdo con el INEGI (2020), en el 54.5% del estado el clima es cálido subhúmedo, localizado en la planicie costera del Pacífico y Sierra Madre del Sur, el 29% templado subhúmedo en Eje Neovolcánico, 15% seco y semiseco, localizado en las partes bajas y medias de la depresión del Balsas y Tepalcatepec, 1% templado húmedo y el 0.5% cálido húmedo se presentan regiones altas de Eje Neovolcánico, Figura 1. La temperatura media anual es de 20°C, las temperaturas más bajas se presentan en el mes de enero, es alrededor de 8°C, la temperatura máxima promedio es de 31°C y se presenta en los meses de abril y mayo. Las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de 850 mm anuales. Los climas cálido y templado subhúmedo de Michoacán favorecen el cultivo de aguacate, siendo este estado, el principal productor a nivel nacional.



**Figura 1.** Los climas de Michoacán. Fuente: INEGI, escala: 1:1000000

## **La ola de calor del año 2018 en el Estado de Michoacán**

Las olas de calor se producen a causa de una masa de aire caliente proveniente de otro continente. Los criterios para establecer que una elevación de la temperatura se trata en realidad de una ola de calor son los siguientes:

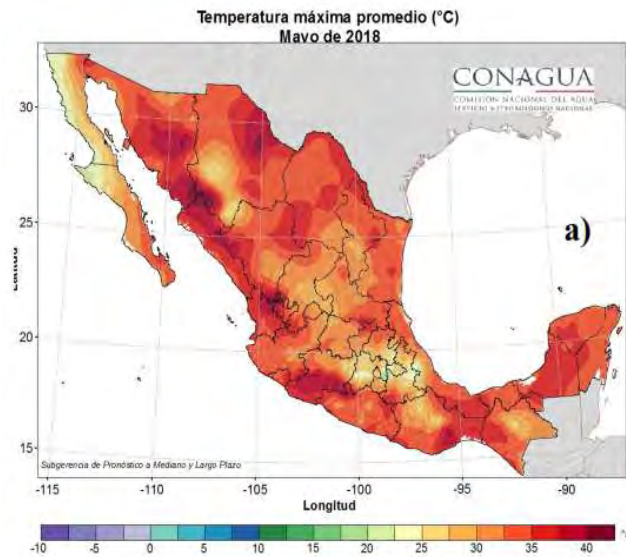
- Que las temperaturas en el lugar y época estudiados sean superiores a las habituales.
- Que éste aumento medio de la temperatura tenga una dimensión superior a uno o dos días.
- Que la extensión no se limite a una sola zona, sino que sea extensiva a un territorio.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) considera que una ola de calor es un evento meteorológico extremo unido al calentamiento pronunciado del aire en un área extensa. Este calor anómalo, por lo general dura de unos pocos días a algunas semanas. Este tipo de eventos extremos, se han incrementado en el contexto del cambio climático por el que atraviesa nuestro planeta. (OMM, 2020).

Las consecuencias de una ola de calor son básicamente las sequías y el difícil acceso al agua y todo lo que conlleva lo anterior.

Según la CONAGUA a nivel nacional el mes de mayo del 2018, se clasificó como el mes más cálido desde 1971 en los registros de temperatura media. Los promedios diarios de temperatura superaron el umbral de la media con dos desviaciones estándar adicionales, siendo más evidente en la última semana del mes, ver Figura 2.

En Michoacán, en el año 2018, a finales del mes de mayo, se emitió por parte de las autoridades de protección civil estatal, una declaratoria de emergencia extraordinaria para 34 municipios ubicados principalmente en la zona de la Tierra Caliente y Centro de la entidad.



**Figura 2.** Temperatura promedio en México, mayo del 2018 (CONAGUA, 2018).

Entre las demarcaciones afectadas por las altas temperaturas que alcanzaron los 45°C, se encuentran Tiquicheo, San Lucas, Huetamo, Parácuaro, Nocupétaro, Turicato, Churumuco, La Huacana, Ario de Rosales, Gabriel Zamora, Múgica, Tumbiscatío, Apatzingán, Buenavista, Tepalcatepec, Aguililla, Coalcomán, Chinicuila, Carácuaro, en la parte de la Sierra y Tierra Caliente. (El Universal, 2018).

De acuerdo con la CONAGUA la temperatura máxima promedio a nivel nacional en mayo del 2018 fue de 33°C, 1.7°C por arriba del valor promedio. Promedios de temperatura máxima mayores a 40.0°C se observaron en Sonora, Chihuahua, Sinaloa así como en los límites de Nayarit, Durango, Jalisco y Michoacán.

## **El modelo WRF para el Estado de Michoacán**

Los modelos de predicción numérica del tiempo son modelos matemáticos que se utilizan para predecir el estado futuro de la atmósfera, partiendo de su estado actual. Para generar un modelo de este tipo se requieren sistemas de cálculo potentes, por lo que la predicción acertada del clima por este medio está vinculada directamente al avance computacional.



Cuando se habla de simulaciones del clima o del pronóstico del clima, implica referirse necesariamente a los fenómenos atmosféricos que presentan dimensiones espaciales y temporales, por lo anterior, la comunidad científica dedicada al tema, ha establecido diferentes escalas que permiten delimitar el área estudiada. En esa clasificación se encuentran los modelos regionales y Meso-escalares conocidos como LAM (*Limited Area Model*), dentro de los cuales uno de los más utilizados es el modelo generado por la National Center for Atmospheric Research a través del proyecto denominado Weather Research Forecast (WRF [Weather Research and Forecasting Model], 2020).

Los modelos de predicción numérica del tiempo (PNT) usan modelos matemáticos de la atmósfera para predecir el tiempo, basados en las condiciones actuales del tiempo. Las bases teóricas de la predicción numérica del tiempo provienen de la dinámica atmosférica, la cual provee las ecuaciones que describen la evolución de la atmósfera.

Los modelos atmosféricos son creados a partir de las ecuaciones del movimiento, la ecuación de la conservación de la masa (ecuación de la continuidad), ecuación de la conservación de la energía (o simplemente ecuación termodinámica), ecuación de la conservación del vapor del agua y la ecuación del estado (Coiffier, 2011).

$$\frac{dV_3}{dt} = -2\Omega \times V_3 - \frac{1}{\rho} \nabla_3 p - \nabla_3 \Phi + F, \text{ Ecuación del momento (1)}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{R}{c_p} \frac{T}{p} \frac{dp}{dt} + \frac{Q}{c_p}, \text{ Ecuación de la termodinámica (2)}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla_3 \cdot V_3, \text{ Ecuación de la continuidad (3)}$$

$$\frac{dq}{dt} = M, \text{ Ecuación del vapor del agua (4)}$$

$$p = \rho RT, \text{ Ecuación del estado (5)}$$

El geopotencial  $\Phi$  es definido como el producto de la altura  $Z$  por la aceleración de la gravedad ( $g$ ), el cual combina solamente los efectos de la gravedad Newtoniana y de la fuerza centrífuga (asumiendo que la Tierra está aislado en el espacio y

haciendo caso omiso del efecto de los otros cuerpos en el sistema solar); es expresado en  $\text{J.kg}^{-1}$  en unidades del SI:

$$\Phi = g \times z - \frac{\Omega^2 r^2 \cos^2 \phi}{2} = gz, (6)$$

Donde  $\Omega$  es la velocidad angular de la rotación de la Tierra,  $r$  la distancia radial medida desde el centro de la Tierra y  $r \cos \phi$ , la distancia hasta el eje de rotación de la Tierra a una latitud  $\phi$ .

En las ecuaciones (1) y (3),  $V_3$  representa la velocidad del viento en sus tres dimensiones,  $\Omega$  el vector de la velocidad angular de la Tierra,  $\rho$  es la densidad del aire,  $p$  la presión,  $T$  la temperatura,  $q$  la humedad específica,  $R$  y  $C_p$  la constante del gas perfecto y el calor específico a presión constante del aire. El símbolo  $\nabla_3$  describe el operador gradiente y el símbolo  $\nabla_3 \cdot$  el operador divergente. El término  $-2\Omega \times V_3$  representa la aceleración de Coriolis y  $F, Q$  y  $M$  el momento, el calor y la humedad específica, respectivamente.

El modelo WRF que es un software de predicción numérica del tiempo de dominio público y libremente disponible y que puede ser utilizado tanto la investigación como para el trabajo operativo.

A diferencia de los modelos meteorológicos globales, los modelos de mesoescala toman en cuenta la topografía y las condiciones del terreno, aunque dependen directamente de los modelos globales, ya que en éstos se generan las condiciones iniciales o de fronteras necesarios para que el modelo mesoescalar funcione.

## **Weather Research and Forecasting (WRF)**

El modelo de mesoescala WRF es considerado un modelo de última generación, diseñado para ser aplicado tanto en pronósticos operativos del tiempo, como en investigación de fenómenos meteorológicos, permitiendo integrar a la comunidad científica y los centros de pronóstico de todo el mundo. Es un modelo de simulación de la atmósfera de área limitada, no hidrostático, sensible a las características del terreno y diseñado para predecir la circulación atmosférica a escala sinóptica, mesoescalar y regional. Resuelve a través de parametrizaciones en radiación, desarrollo de nubes, capa límite planetaria y otros esquemas físicos, procesos de la micro y mesoescala en la atmósfera a partir de datos globales que ofrecen los modelos de baja resolución. Como ya se mencionó, es un modelo no hidrostático, lo que le permite ser usado en la escala de unos pocos kilómetros, aunque también

permite correr bajo condiciones hidrostáticas. Actualmente es usado en diferentes regiones del mundo por ser un modelo robusto y de fácil acople a las diferentes condiciones de cada región, tales como topografía, vegetación, superficies de agua y uso del suelo. El WRF ha sido desarrollado en colaboración entre *The National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *The National Center for Atmospheric Research* (NCAR) y otras organizaciones. Guerrero, (2013).

Tiene dos núcleos dinámicos para la solución de las ecuaciones de pronóstico: el Non-hydrostatic Mesoscale Model (WRF-NMM), orientado a la predicción operacional y el Advanced Research WRF (WRF-ARW), orientado a la investigación. El núcleo ARW fue diseñado para ser portable, eficiente y con capacidad de ejecución en plataformas de computo paralelo, Montiel, (2016).

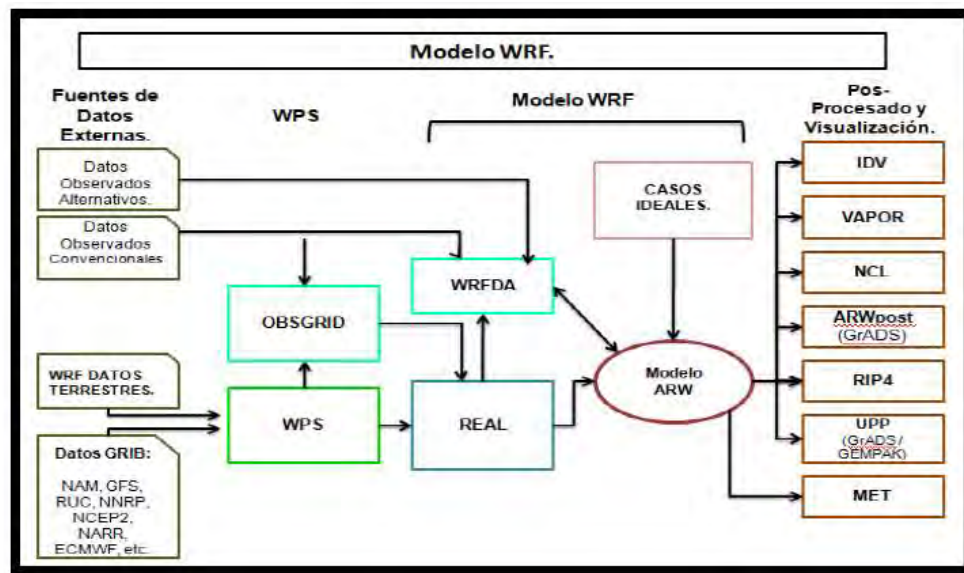


Figura 3. Diagrama de flujo del modelo WRF (Montiel, 2016)

## **Componentes del modelo WRF**

El modelo WRF se compone de los siguientes programas:

- WRF Pre-processing System (WPS).
- WRF-DA.
- Núcleo ARW.
- Herramientas de pos-procesamiento y visualización.

Un esquema simplificado de los componentes del programa WRF es representado en la figura 3.

## **Modelación de la simulación para la zona de la Tierra Caliente**

Para generar un modelo de mesoescala con WRF para el Estado de Michoacán, se obtuvieron datos de reanálisis perteneciente a la base de datos denominada NCEP GDAS/FNL 0.25 Degree Global Tropospheric Analyses and Forecast Grids, de la National Center for Atmospheric Research (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.3/>), en el periodo de simulación comprendido entre el 27 de mayo y hasta el 3 de junio del año 2018.

Las simulaciones de análisis fueron realizadas en dos dominios anidados horizontalmente, centrados sobre la ciudad de Morelia con coordenadas 19° 42' 02" N y 101° 11' 03" O).

El dominio principal fue definido como 70 x 80 puntos de malla y 30 Km de resolución espacial, cubriendo todo el territorio de la República Mexicana.

El dominio secundario fue definido como 133 x 133 puntos de malla y 10 Km de resolución horizontal, abarcando la Zona Centro y Centro Occidente de la República Mexicana, ver Figura 4.

El tiempo inicial de la Figura 4, representa el tiempo 00 del día 27 de mayo de 2018, en un lapso de cada 3 horas hasta llegar a las 24 horas correspondientes al día 1, de simulación.

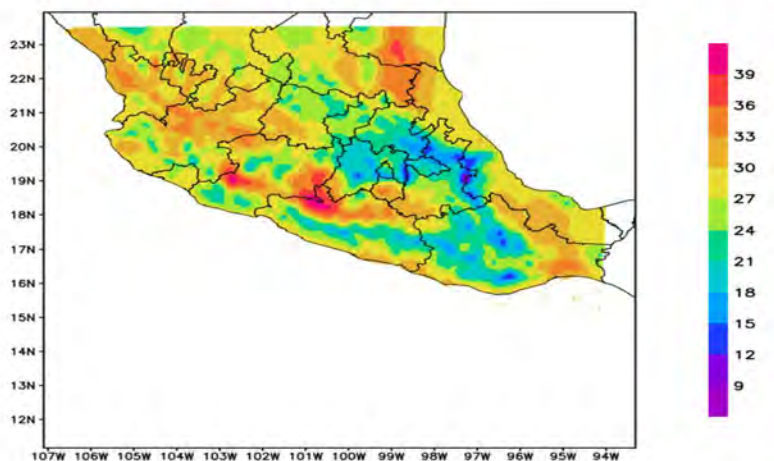


Figura 4. Dominio de análisis que muestra la temperatura simulada en el tiempo inicial del modelo

La configuración de los esquemas de parametrización utilizada para nuestro caso de estudio se describe en la tabla 1.

**TABLA 1**  
Configuración de los esquemas de parametrización.

| Esquema                 | Dominio Principal                     | Dominio Secundario                    |
|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Micro física            | WRF Single moment 6 class             | WRF Single moment 6 class             |
| Radiación de onda larga | Rapid Radiative Transfer Model        | Rapid Radiative Transfer Model        |
| Radiación de onda corta | Rapid Radiative Transfer Model        | Rapid Radiative Transfer Model        |
| Capa superficial        | ETA Similarity                        | ETA Similarity                        |
| Superficie de suelo     | NOAH LAND Surface Model               | NOAH LAND Surface Model               |
| Capa límite planetaria  | Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino level 3 | Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino level 3 |

## **Parámetros estadísticos para evaluar un modelo numérico**

De acuerdo con Borrego (2008), cada parámetro estadístico tiene un papel en la evaluación del rendimiento y la estimación de la incertidumbre de un modelo, pero algunos de ellos pueden ser considerados muy importantes. Un modelo de pronóstico numérico del tiempo (PNT) puede ser evaluado a partir de una comparación con datos meteorológicos observados usando algunas medidas estadísticas del error: el error medio, ME (Mean Error), el error porcentual medio absoluto, MAPE (Mean Absolute Percentage Error), la raíz del error cuadrático medio, RMSE (Root Mean Square Error) y el error de la desviación estándar, SDE (Standard Deviation Error).

### **ME**

El error medio o sesgo es un parámetro crucial para evaluar el rendimiento de un modelo y su objetivo es mostrar si el pronóstico del parámetro es sobreestimado o subestimado.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i - y_p \quad (7)$$

### **MAPE**

La media de los errores porcentuales en valor absoluto es la diferencia entre el valor real y el valor pronosticado y dividido por el valor real, no considera el signo del error sólo la magnitud.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - y_{ip}}{y_i} \right| \quad (8)$$

### **RMSE**

Es una medida de desempeño cuantitativa que mide la magnitud total del error del modelo. Como los errores están elevados al cuadrado antes de ser promediados, la RMSE da un peso relativamente alto a los errores altos. Eso significa que la RMSE es muy importante cuando los errores son particularmente indeseables y su valor es cero para casos ideales.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ip})^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

## SDE

Evalúa la dispersión del error y es un parámetro importante por el hecho que, aunque el pronóstico tenga un RMSE o ME alto, si el SDE es bajo eso significa que el error es constante y puede ser compensado y el pronóstico es correcto. Si el SDE es alto, el error es aleatorio y el pronóstico incorrecto, a pesar que tenga un RMSE o ME bajo.

$$SDE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ (y_i - y_{ip}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ip}) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (10)$$

Donde N es el número de datos,  $y_i$  es el valor real,  $y_{ip}$  es el valor pronosticado.

En el presente trabajo no se efectuaron las comparaciones estadísticas generales para la evaluación y estimación de incertidumbre del modelo numérico, para simular la temperatura en la zona de Tierra Caliente, debido a que las estaciones meteorológicas en dichas zonas en la base de datos de la CONAGUA, no almacenan los datos en algún sitio público o muchas de esas estaciones tampoco funcionan, o no se les da el mantenimiento adecuado para poder tener datos reales precisos.

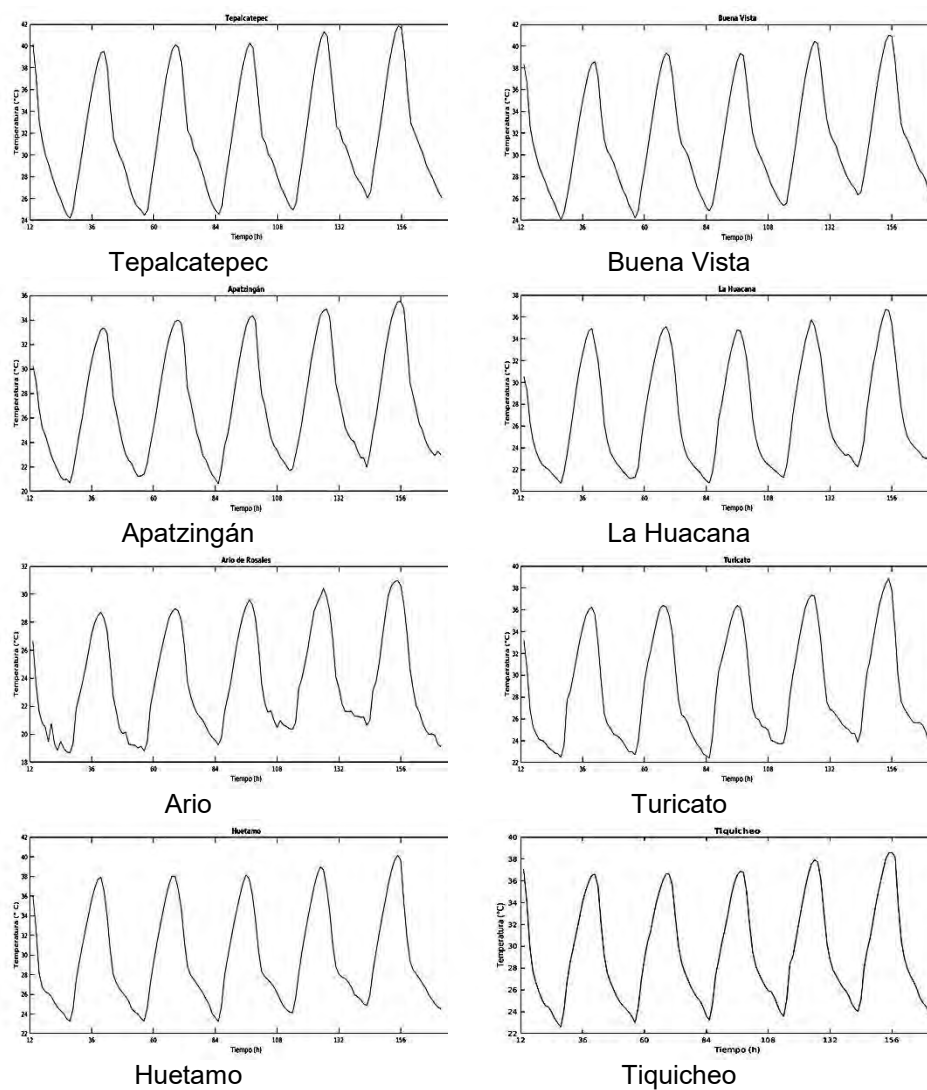
## **Análisis de resultados**

Una vez generadas las simulaciones con el modelo, se obtuvieron los datos de temperatura de la zona conocida como la Tierra Caliente del estado de Michoacán, eligiendo los municipios de Tepalcatepec, Buena Vista, Apatzingán, La Huacana, Ario, Turicato, Huetamo y Tiquicheo, que fueron los que coincidieron con los puntos de Malla del modelo para nuestro análisis.

De la Figura 5 se aprecia cómo en todos los municipios mencionados la temperatura tuvo un incremento gradual por día, presentándose las mayores temperaturas en el último día de simulación.

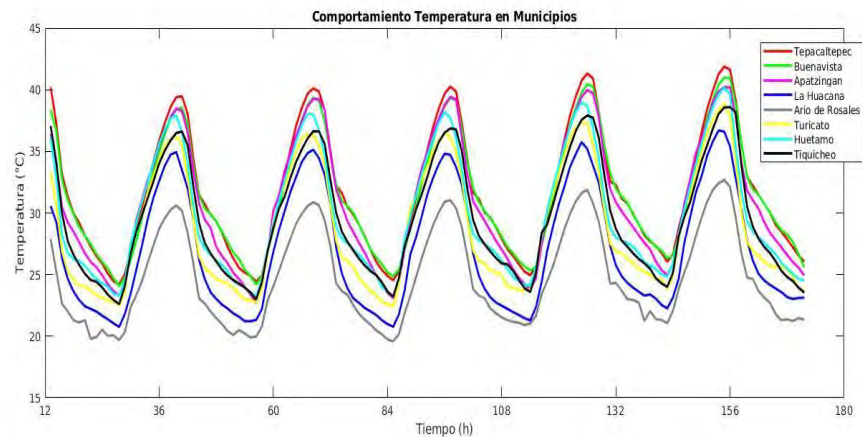
De la misma manera se aprecia en la Figura 5 cómo la temperatura para los municipios de Tepalcatepec, Buena Vista y Huetamo en los días de simulación (27 de mayo al 01 de junio del 2018), pasa los 40°C, lo que coincide con el reporte emitido por CONAGUA. El municipio menos afectado en esas fechas fue Ario, con 31°C en el último día simulado.

Una comparación de las temperaturas simuladas se presenta en la Figura 6, en la cual se aprecia el incremento positivo en la tendencia en todos los municipios.



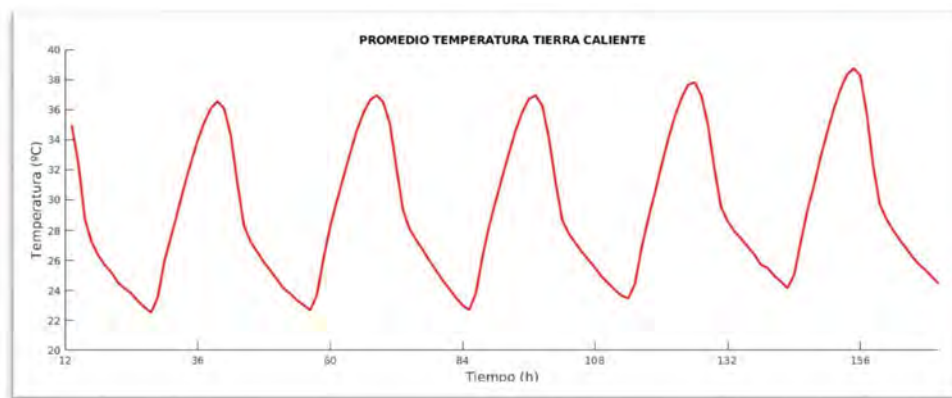
**Figura 5.** Evolución de la temperatura en los últimos días de mayo de 2018 en algunos municipios de Michoacán, en la Tierra Caliente





**Figura 6.** Representación de las temperaturas simuladas en los municipios de la Tierra Caliente en Michoacán.

Tomando como referencia los municipios anteriores, podemos generar una aproximación de la temperatura promedio en la zona, durante éste periodo. Ver Figura 7.



**Figura 7.** Temperatura promedio simulada con WRF en algunos municipios de Michoacán en el periodo del 27 de mayo a 01 de junio del 2018.

Se aprecia que el modelo reproduce de manera eficiente las temperaturas ocurridas en el periodo seleccionado, por lo que es una opción real para el pronóstico, no sólo

de la temperatura, sino de diferentes variables meteorológicas, además de una herramienta de prevención que debe ser utilizada en los medios de proyección civil en el estado.

## **Conclusiones**

Cuando se habla de pronóstico del clima, lo que se espera es que el modelo precisamente se adelante a cualquiera de los fenómenos que se puedan presentar. Existen diversas variables que hacen que estos modelos sean más eficientes, sin embargo, requieren de poder de cómputo, software especializado y lenguajes de programación, así como del tiempo necesario para analizar a detalle, cada una de las variables climatológicas y darles una interpretación adecuada a los datos que se derivan de estos. Aunque los resultados presentados muestran un fenómeno ocurrido con anterioridad, este tipo de eventos climatológicos, se pueden predecir usando las herramientas que se han descrito en el presente trabajo, no sólo para la variable de temperatura, sino también para diversas variables como la precipitación, la humedad relativa, el viento y su dirección, etc. Lo anterior debe de promoverse en beneficio de la sociedad, en particular en el Estado de Michoacán, como una herramienta de prevención civil, como por ejemplo fenómenos tales como: sequías, inundaciones, huracanes entre otros, así como auxiliar de las estaciones meteorológicas instaladas al interior del estado, que no son sujetas de mantenimiento permanente y no todas ofrecen datos valiosos.

## **Referencias**

- CONAGUA, 2018. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Gerencia de Meteorología y Climatología Reporte del Clima en México Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. <http://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/R-C-Mayo18.pdf>.
- IPCC, 2019. Calentamiento global de 1.5°C. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf)
- SERMANAT, (2016). Cómo afecta el cambio climático a México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/como-afecta-el-cambio-climatico-a-mexico>.
- Yip, C. M. A., Gunturu, U. B. y Stenchikov, G. L., 2016. Wind resource characterization in the Arabian Peninsula. *Applied Energy* 164: 826–836.

- Simmons A., Uppala, S., Dee, D. y Kobayashi, S., 2007. ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. ECMWF Newsletter, 110, ECMWF, Reading, United Kingdom. 25–35.
- Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.-K. Kim, S. Bloom, J. Chen, D. Collins, A. Conaty, A. da Silva., 2011. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *J. Climate*, 24, 3624-3648, doi:10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
- Saha S, et al., 2010. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1010–1057.
- Mitch., 2010. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of The American Meteorological Society - BULL AMER METEOROL SOC.*, 91.
- Skamarock, W.C., Klemp, J., Dudhia, Jimy, Gill, D.O., Barker, Dale, Wang, Wei y Powers, J.G., 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3, 27, 3-27.
- Grell, Georg & Dudhia, Jimy y D.R.Stauffer., 1995. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Scientific Tech Note. NCAR/TN-398+STR, 138.
- Pielke, R. A., Cotton, W.R. y Walko, R.L., 1992. A comprehensive meteorological modeling system—RAMS. *Meteorol. Atmos. Phys.* 49, 69–91.
- Zahra, J. y Berardi. U. 2020. Comparing urban canopy models for microclimate simulations in Weather Research and Forecasting Models. *Sustainable Cities and Society*, 55: 1020-1025.
- Le Roux, R., Katurji, M., Zawar-Reza, P., Quénot y H., Sturman, A., 2019. Analysis of spatio-temporal bias of Weather Research and Forecasting temperatures based on weather pattern classification. *Int J Climatol.*, 39: 89–100.
- Kaniz, F. L., Kalam Mallik, M. A., Sajadul Alam, M., Abdun Naqib, J., Tanjila, I., Ahmad, I., Kaniz, F y Ahsan Khan, N., 2020. "Study on Heat Wave and its Thermodynamic features over Bangladesh using Numerical Weather Prediction Model (NWPM)," *International Journal of Science and Business, IJSAB International*, 4(6): 44-52.
- Thompson, G., Tewari, M., Ikeda, K., Tessororf, S., Weeks, C., Otkin, J. y Kong, F., 2019. Explicitly-coupled cloud physics and radiation parameterizations and subsequent evaluation in WRF high-resolution convective forecasts. *Atmospheric Research* 168: 92-104.

- Durán C., V., Sevilla P., F., Espinosa G., J.M, Borgonia A., O. y Gaytán L., S., 2003. Atlas geográfico del Estado de Michoacán. Secretaría de Educación del Estado de Michoacán. Segunda Edición.
- Clima Michoacán, 2020. Recuperado 10 de junio de 2020, de INEGI, <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/clima.aspx?tema=me&e=16>
- OMM y OMS publican orientaciones sobre los sistemas de aviso de olas de calor y de riesgos para la salud., 2020. Recuperado 10 de junio de 2020, de Organización Meteorológica Mundial, <https://public.wmo.int/es/media/news/omm-y-oms-publican-orientaciones-sobre-los-sistemas-de-aviso-de-olas-de-calor-y-de>
- Weather Research and Forecasting Model., 2020. Recuperado 10 de junio de 2020, de NCAR & UCAR website: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
- Coiffier, J., 2011. Fundamentals of Numerical Weather Prediction. Cambridge University Press. 340 paginas, tapa dura. ISBN 9781107001039.
- El Universal, 2018. Por onda de calor, declaran emergencia extraordinaria en 34 municipios de Michoacán. Recuperado 10 de junio de 2020, <https://www.eluniversal.com.mx/estados/por-onda-de-calor-declaran-emergencia-extraordinaria-en-34-municipios-de-michoacan>.
- Guerrero, Á. M., García, E., Matellán, V., y Sánchez, J. L., 2013. Procesamiento paralelo de los pronósticos meteorológicos del modelo WRF mediante NCL. Actas de las XXIII Jornadas de Paralelismo, 55 – 60.
- Montiel, J.C.G., 2016. Análisis Climático Global y Regional con modelos EdGCM-WRF, IPN-SEMAR. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 35.
- Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Miranda, A.I., Costa, A.M., Carvalho, A.C. y Lopes, M., 2008. Procedures for estimation of modelling uncertainty in air quality assessment. *Environ. Int.*, 34, 613–620.

# **D**iseño de una arquitectura de Red Neuronal Convolutiva para la clasificación de objetos

*Moisés García Villanueva y Leonardo Romero Muñoz*

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UMSNH

## **Resumen**

Uno de los problemas más importantes y fundamentales en el área de Visión Computacional es la detección de objetos. Existe una gran cantidad de aplicaciones que requieren encontrar objetos en una escena y entonces clasificarlos, considerando la complejidad existente cuando se presentan varias categorías de objetos. El surgimiento de las técnicas de aprendizaje profundo ha llegado como una estrategia muy poderosa en la extracción automática de características a partir de las imágenes, provocando mejoras importantes en la problemática asociada a la detección de objetos. El objetivo de este artículo es presentar el diseño de una arquitectura de Red Neuronal Convolutiva adecuada para clasificar 6 categorías diferentes de objetos comunes: cama, escalera, mesa, puerta, silla y sofá. Los resultados obtenidos indican una precisión superior al 90% en los experimentos realizados.

**Palabras clave:** Clasificación de objetos, red neuronal convolutiva, visión computacional, aprendizaje profundo.

## Abstract

One of the most important and fundamental problems in the area of Computer Vision is object detection. There are a large number of applications that require seek objects in a scene and then classifying them, considering the complexity that exists when there are several categories. The deep learning techniques have emerged as a very powerful strategy in the automatic feature extraction from images, causing significant improvements in the general problem of object detection. The goal of this article is to present the design of a Convolutional Neural Network architecture suitable for classifying 6 different categories of common objects: bed, stairs, table, door, chair and sofa. The obtained results indicate a precision greater than 90% in the experiments carried out.

**Keywords:** Object classification, convolutional neural network, computer vision, deep learning.

## 1. Introducción

El problema de detección de objetos es fundamental en el área de Visión Computacional, es complejo, desafiante e involucra el manejo de grandes volúmenes de datos. Se ha mantenido como un tópico activo de investigación por varias décadas (Fischler y Elschlager, 1973; Khan y col., 2020). Como piedra angular en la interpretación de una imagen y en visión por computadora, la detección de objetos forma la base para resolver tareas de visión complejas o de alto nivel, tales como segmentación, clasificación de escenas, seguimiento de objetos, subtítulos de imágenes, detección de eventos y reconocimiento de actividades. La detección de objetos admite una amplia gama de aplicaciones, incluida la visión de robots, la electrónica de consumo, seguridad, conducción autónoma, interacción humano-computadora, recuperación de imágenes basada en contenido, video vigilancia inteligente y realidad aumentada (Liu y col., 2020). El objetivo de la detección de objetos es determinar si hay instancias de objetos de categorías preestablecidas (algunas de ellas como: humanos, muebles, automóviles, bicicletas, perros o gatos) en una imagen y, si está presente, devolver la ubicación espacial y la extensión de cada objeto identificado (Everingham et al. 2010; Russakovsky et al. 2015).

Durante la última década el aprendizaje profundo se ha convertido en la "joya de la corona" de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático (LeCun y col., 2015),

mostrando un rendimiento superior en diferentes áreas, tales como: la acústica (Hinton y col., 2012), el procesamiento de imágenes (Krizhevsky y col., 2012), el procesamiento de lenguaje natural (Bahdanau y col., 2014), por mencionar algunas. El prominente poder del aprendizaje profundo para extraer patrones complejos de datos subyacentes es bien reconocido (Cohen et al, 2016; Zhang y col., 2020). Ese gran éxito en una variedad de problemas de aprendizaje automático se encuentra en las redes neuronales convolucionales profundas (CNN por sus siglas en inglés de *Convolutional Neural Network*). Las CNNs son consideradas como las técnicas dominantes del aprendizaje profundo (LeCun y col., 2015). Sin embargo, el rendimiento de las CNNs depende en gran medida de sus arquitecturas (Krizhevsky y col., 2012; Simonyan y col., 2014). Para lograr el mejor rendimiento, los modelos de CNNs del estado del arte, como GoogleNet (Szegedy y col., 2015), ResNet (He y col., 2016) y DenseNet (Huang y col., 2017), están diseñadas manualmente por expertos que tienen gran conocimiento del dominio de los datos a investigar y el desarrollo de modelos CNN. Sin embargo, los modelos de estos autores requieren de un gran poder de cómputo y miles de imágenes por categoría para lograr el rendimiento publicado, limitando su uso en otras aplicaciones. Esto significa que un área activa de investigación se encuentra en el diseño de nuevas arquitecturas de CNN, especializadas en nuevas aplicaciones de detección de objetos.

La contribución de este trabajo es el diseño de una arquitectura CNN que permite la clasificación de seis objetos diferentes en el dominio del hogar: cama, silla, mesa, sofá, puerta y escalera. Para justificar la selección de los objetos y el dominio seleccionado, los autores actualmente están desarrollando mejoras al prototipo “Escáner Láser Parlante para Guiar a Personas Ciegas” (Romero y col., 2019), una de las propuestas es la implementación de un sistema de visión por computadora que permita la identificación de objetos, entonces describir la escena por voz, señalando la existencia y distancia a la que se encuentran los elementos identificados. Se presentan los experimentos que llevaron a desarrollar la arquitectura final, permitiendo con esto mostrar un procedimiento alternativo para crear CNNs que se adapten a aplicaciones con características específicas. La precisión obtenida supera el 90% para un conjunto de datos de prueba creado para una aplicación. Adicionalmente se proporciona el conjunto de datos para futuras investigaciones.

## 2. Metodología

La convolución es el bloque principal de construcción de una CNN. El término convolución se refiere a la combinación matemática de dos funciones para producir una tercera, es decir, fusiona dos conjuntos de información. En el caso de imágenes, se cuenta con una imagen de entrada de dimensiones alto (H) por ancho (W) y la cantidad de canales que representan el color  $C=3$  (rojo, verde y azul), de tal forma que se tiene  $I \in \mathbb{R}^{H \times W \times C}$ . Si se considera un banco de filtros de cantidad D, se tiene entonces que  $K \in \mathbb{R}^{k_1 \times k_2 \times C \times D}$ , en donde  $k_1 \times k_2$  se refiere a las dimensiones (renglones, columnas) de cada filtro, adicionando un valor de sesgo  $b \in \mathbb{R}^D$  para cada filtro. La salida del procedimiento de convolución es el indicado en la ecuación (1) (Rosebrock, 2017).

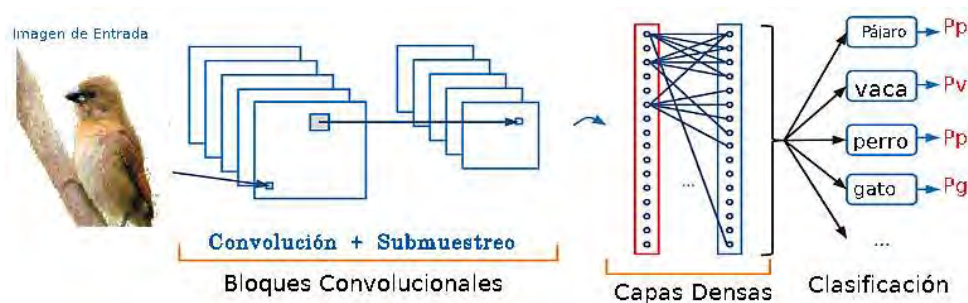
$$(I * K)_{i,j} = \sum_{m=0}^{k_1-1} \sum_{n=0}^{k_2-1} \sum_{p=0}^C K_{m,n,p} \cdot I_{i+m,j+n,p} + b \quad (1)$$

Los modelos de redes neuronales convolucionales profundas tienen una serie de ventajas sobresalientes: a) una estructura jerárquica para aprender representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción; b) la capacidad de aprender funciones muy complejas; y c) aprender representaciones de características directas en forma automática a partir de datos con un conocimiento mínimo del dominio (Liu y col., 2020).

Las CNNs están compuestas de diferentes filtros/núcleos, los cuales constituyen un conjunto de parámetros entrenables y que pueden convolucionar espacialmente una imagen dada para detectar características como bordes y formas. Este alto número de filtros esencialmente aprende a capturar características espaciales de la imagen en función de los pesos aprendidos a través de la propagación hacia atrás. Las capas apiladas de filtros se pueden usar para detectar formas complejas a partir de las características espaciales en cada nivel posterior. Por lo tanto, pueden reducir con éxito una imagen dada en una representación altamente abstracta que es fácil de predecir. Las arquitecturas CNNs se pueden encontrar con diversas variantes, sin embargo, en general se componen de capas convolucionales y de submuestreo que se encuentran agrupadas en módulos o bloques convolucionales. Otro elemento de este tipo de modelos son las capas completamente conectadas (densas), tal y como se conocen en las redes neuronales de retroalimentación hacia



adelante, colocadas después de los módulos que agrupan varias operaciones de las CNNs. Cuando estos módulos son apilados uno sobre otro da origen a lo que se conoce como un modelo profundo (Rawat y Wang, 2017). La Figura 1 muestra una arquitectura típica de una CNN en la tarea de clasificación de imágenes, en la que se indica los diferentes bloques que la conforman.



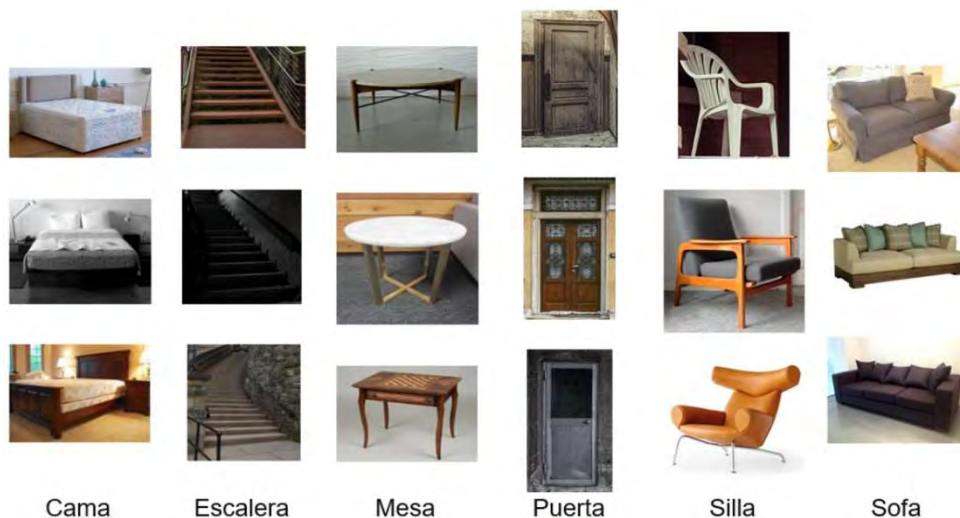
**Figura 1.-** Arquitectura típica de una Red Neuronal Profunda en la clasificación de objetos.

La práctica común en la mayoría de los desarrollos recientes de redes profundas es implementar modelos más grandes y profundos para lograr un mejor rendimiento. A medida que el modelo se hace más grande y profundo, los parámetros de la red se incrementan dramáticamente. Como resultado, el modelo se vuelve más complejo de entrenar y en consecuencia es más costoso computacionalmente. Por lo tanto es muy importante diseñar una arquitectura que proporcione un mejor rendimiento utilizando un número razonablemente menor de parámetros de la red (Alom y col., 2018), principalmente si éste será utilizado en una aplicación que requiere respuestas en tiempo real o se pretende implementar en algún sistema embebido.

### 3. Conjunto de datos

Los conjuntos de datos han jugado un rol clave a través de la historia en la investigación de reconocimiento de objetos, no solamente como una base común para medir y comparar el desempeño de algoritmos, también empujando a esta área de investigación hacia problemas cada vez más complejos y desafiantes. El acceso a una gran cantidad de imágenes en internet permite construir conjuntos de datos completos para capturar una gran riqueza y diversidad de los elementos que componen una escena, lo que permite un rendimiento sin precedentes en el reconocimiento de objetos (Liu y col., 2020). Aun cuando se cuenta con una facilidad

increíble para obtener imágenes de objetos a través de Internet, es necesaria una especial atención en la construcción del conjunto de datos etiquetado a gran escala. Desafíos como la diversidad de formas de los objetos, la posición en la escena, diferentes ubicaciones de un objeto, la oclusión, ruido en las imágenes, etcétera, deben ser claramente considerados e identificados en los diversos escenarios de la aplicación en particular que se va a implementar. En este trabajo se construyó un conjunto de datos de seis categorías: cama, escalera, mesa, puerta, silla y sofá. La Figura 2 contiene algunos ejemplos de los objetos en cada una de las categorías. La cantidad de elementos que contiene cada clase y su partición en datos para entrenar, validar y probar se indican en la Tabla 1. Se utilizó la interfaz de programación de aplicaciones (API del inglés Application Programming Interface) de Flickr (Mignon 2018) para obtener imágenes relacionadas mediante la consulta de los objetos en el idioma inglés y español. Flickr es una red social en línea para compartir fotografías, para el 2009 contaba con más de dos billones de fotos y 2.3 millones de usuarios (Cha y col., 2009). El preprocesamiento de los datos obtenidos consistió en recortar lo más posible los objetos de la imagen, considerando mantenerlos en forma individual, es decir, no incluir objetos de dos o más categorías en una imagen.



**Figura 2.-** Ejemplos de imágenes de las diferentes categorías que conforman nuestro conjunto de datos.

**TABLA 1**

Cantidad de imágenes en las seis categorías, subdivididos en tres diferentes subconjuntos de datos.

| Categoría    | Cantidad de imágenes |         |        | Total |
|--------------|----------------------|---------|--------|-------|
|              | Entrenar             | Validar | Probar |       |
| Cama         | 900                  | 100     | 33     | 1033  |
| Escalera     | 905                  | 285     | 51     | 1241  |
| Mesa         | 1471                 | 141     | 54     | 1666  |
| Puerta       | 1675                 | 281     | 41     | 1997  |
| Silla        | 1044                 | 207     | 82     | 1333  |
| Sofá         | 900                  | 100     | 21     | 1021  |
| <b>Total</b> | 6895                 | 1114    | 282    | 8292  |

Las instancias del subconjunto Probar (aquellas imágenes que no se utilizaron en el proceso de entrenamiento de las CNN's), se obtuvieron mediante consultas realizadas directamente en el buscador de imágenes de Google.

#### 4. Diseño de la arquitectura CNN

Múltiples opciones se tienen para crear una arquitectura que logre el mayor desempeño en la solución del problema que se pretende resolver. Se puede iniciar con las implementaciones más populares de redes neuronales convolucionales: VGG (Simonyan y Zisserman, 2014), Resnet (He y col., 2016), Inception (Szegedy y col., 2015) y Xception (Chollet 2017). En este trabajo se explora un modelo con características similares a VGG, por su facilidad de implementación. Se inicia con varias capas convolucionales y se culmina con una o más capas densas. Se procedió a realizar diferentes pruebas e ir evaluando el desempeño de los mejores modelos generados durante el proceso de entrenamiento. Las pruebas consistieron en a) incrementar la cantidad de capas convolucionales en la arquitectura; b) emplear diferentes cantidades de neuronas en las capas densas; y c) utilizar diferentes tamaños de las imágenes de entrada o dimensiones de la capa inicial.

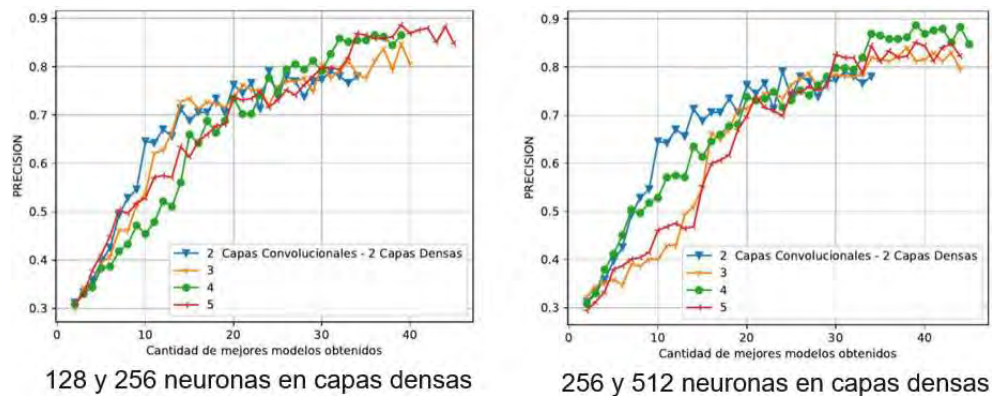
Para llegar a la arquitectura propuesta, se estimó el rendimiento del modelo empleando la métrica de precisión (**E**), definida por la ecuación (2).

$$E = \frac{P_c}{N_T} \quad (2)$$

En donde  $P_c$  es la cantidad de predicciones correctas del modelo y  $N_T$  es el número total de predicciones.

#### **a. Cantidad de Capas Convolucionales**

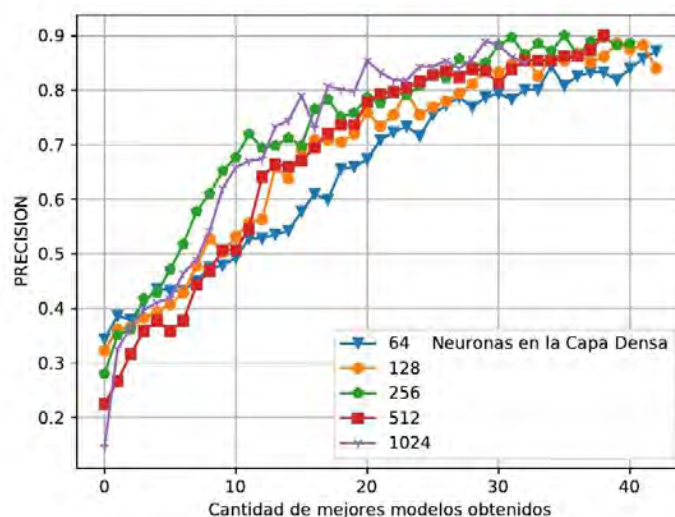
Se estableció la dimensión de la capa de entrada de 150x150 (imágenes de 150x150 píxeles) y a partir de 2 capas convolucionales se procedió a entrenar y verificar el desempeño de los mejores modelos obtenidos por dicha arquitectura. Al ir incrementando la cantidad de capas en un modelo, se espera de una mayor precisión en los resultados, sin embargo, esto dependerá de los datos de aplicación. En la Figura 3 se muestran los resultados de la arquitectura al ir incrementando la cantidad de capas convolucionales y manteniendo 2 capas densas al final de la CNN con diferentes tamaños, en ella se observa el comportamiento de clasificación de los mejores modelos obtenidos durante el proceso de entrenamiento de la arquitectura. Se procedió de igual forma con una capa densa en la arquitectura, observando el mejor desempeño con cuatro capas convolucionales, logrando un 90.07% de precisión en los datos de prueba.



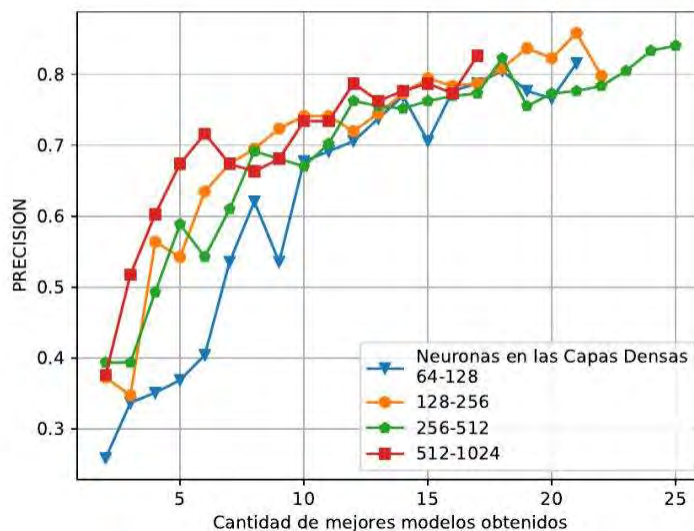
**Figura 3.-** Resultados de clasificar los datos de prueba con los mejores modelos obtenidos durante el proceso de entrenamiento y al incrementar la cantidad de capas convolucionales en la arquitectura, el mejor desempeño se observa con los modelos de 4 capas.

### **b. Cantidad de neuronas en las capas densas**

Para establecer la cantidad de neuronas en cada una de las capas densas, se realizaron pruebas utilizando cantidades para 64, 128, 256, 512 y 1024 neuronas en una capa, mientras que para dos capas se establecieron las cantidades 64 - 128, 128 - 256, 256 - 512 y 512 - 1024 respectivamente. Las cantidades de neuronas por capa pueden ser cualquier valor, incluso puede realizarse con incrementos de uno en uno, lo que hace el desarrollo e implementación poco práctico, por la familiaridad con los valores en potencias de 2, en el presente trabajo se optó establecer dichas cantidades. Las Figuras 4 y 5 presentan los resultados de desempeño con el subconjunto de datos Probar, para los mejores modelos obtenidos durante el proceso de entrenamiento de la arquitectura tanto para una y dos capas densas, respectivamente. El mejor resultado obtenido con dos capas densas se obtuvo en las cantidades de neuronas 256 - 512, logrando un 89.71% de precisión. En las pruebas con una capa densa con 256 neuronas, se logró obtener una precisión del 90.07%.



**Figura 4.-** Desempeño con el subconjunto de datos Probar, utilizando los mejores modelos obtenidos a diferentes cantidades de neuronas en la arquitectura con una capa densa.

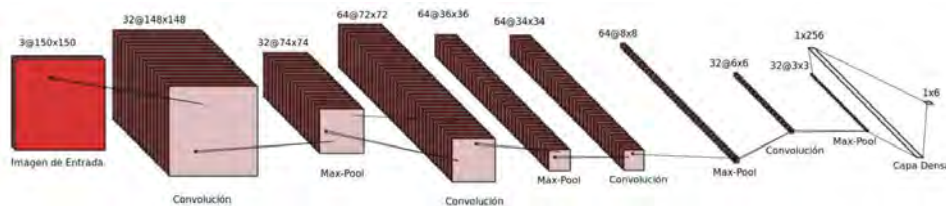


**Figura 5.-** Desempeño con el subconjunto de datos Probar, utilizando los mejores modelos obtenidos a diferentes cantidades de neuronas en la arquitectura con dos capas densas.

### c. Dimensión de la capa de entrada

Determinar el tamaño de la capa de entrada o dimensiones de la imagen, también afecta el rendimiento de una CNN. Se realizaron pruebas para las dimensiones de 100x100 a 225x225, ancho y alto de las imágenes para la capa de entrada. Dimensiones por arriba de estos valores implica: a) un mayor tiempo de entrenamiento, b) el tamaño del modelo ocupa más espacio de memoria, y c) se incrementa el tiempo de procesamiento al momento de aplicar el modelo en un sistema real. Por otro lado, dimensiones inferiores no nos permiten incrementar el tamaño de las capas convolucionales en la arquitectura, debido a la reducción producida por las operaciones inherentes en las CNNs.

La Figura 6 muestra en forma gráfica el detalle de la arquitectura propuesta que obtuvo los mejores resultados. En ella se observan 4 bloques convolucionales que consisten en una capa convolutacional y una capa de máximo muestreo (*Max-Pool*) e indicando la cantidad de filtros en cada bloque, una capa densa de 256 neuronas y la capa que proporciona las probabilidades de la clase a la cual pertenece la imagen de entrada.



**Figura 6.-** Forma gráfica de la arquitectura propuesta con 4 capas convolucionales, las operaciones de máximo muestreo, una capa densa de 256 y la capa de clasificación para 6 clases.

## 5. Comparación de resultados

En las arquitecturas de aprendizaje profundo, las redes denominadas Inicio (Inception) han sido consideradas el estado del arte en la solución de problemas que identifican y reconocen imágenes. Se considerará como línea base para comparar el desempeño de la arquitectura propuesta el modelo de Inicio inspirado en (Szegedy y col., 2015) y que aplicó en su trabajo (Mollahosseini y col., 2016), debido a que no se cuenta con la infraestructura para implementar el modelo original. Los resultados del desempeño al entrenar las arquitecturas a diferentes dimensiones de la imagen de entrada se muestran en la Tabla 2. Se observa que los modelos con 3 y 4 capas convolucionales obtienen los mejores rendimientos, superando la línea base establecida por la arquitectura Inception. La arquitectura propuesta se desempeña mejor para dimensiones de 100x100 y 150x150 (ancho x alto de la imagen), logrando superar la línea base en al menos 4 ocasiones en cada tamaño preestablecido. Se observa además que incrementar la dimensión en la capa de entrada, no afecta en forma proporcional el desempeño de la arquitectura, debido a que los mejores resultados no se encuentran en las pruebas con la dimensión de capa de entrada mayor. El incrementar la cantidad de capas, tanto convolucionales como densas, tampoco garantiza el incremento de desempeño, lo que hace evidente que para obtener el modelo final se convierte en una actividad a prueba y error que puede resultar muy laboriosa. Para una aplicación de un modelo de aprendizaje profundo en un sistema embebido, se requiere que éste ocupe poco espacio de memoria, los modelos complejos o de una gran cantidad de parámetros de entrenamiento (pocas capas convolucionales), logran tamaños de cientos de megabytes, por lo que requieren de una gran cantidad de recursos de cómputo en la aplicación. Para la dimensión de capa de entrada 225x225, en el modelo con 2 CNN y una capa densa el tamaño es de 365 MB, mientras que para la arquitectura

con 4CNN y una capa densa es de 2.2 MB, la arquitectura de línea base ocupa 1.1 GB de espacio en el disco duro bajo esta condición.

**TABLA 2**

Precisión de la arquitectura propuesta y la línea base que implementa una arquitectura del tipo Inicio.

CC significa capa convolucional y CD capa densa.

| Arquitectura                                 | Dimensiones  |              |              |           |         |
|----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|---------|
|                                              | 100 x 100    | 150 x 150    | 175x175      | 200 x 200 | 225x225 |
| Inception<br>(Mollahosseini y col.,<br>2016) | 82.97        | 85.10        | 82.62        | 87.58     | 85.81   |
| Propuesta CNN<br>(4CC - 1 CD 256)            | 84.39        | <b>90.07</b> | 89.00        | 86.52     | 88.65   |
| (3CC - 1 CD 256)                             | 87.23        | 85.10        | 84.75        | 86.87     | 84.04   |
| (2CC - 1 CD 256)                             | 82.62        | 82.98        | 81.20        | 83.68     | 79.07   |
| (5CC - 1 CD 256)                             | -            | -            | 84.75        | 86.52     | 85.81   |
| (5CC - 2 CD 256 - 512)                       | -            | -            | 88.29        | 85.10     | 87.58   |
| (4CC - 2 CD 256 - 512)                       | 81.20        | 89.00        | <b>89.36</b> | 89.00     | 84.39   |
| (3CC - 2 CD 256 - 512)                       | <b>89.71</b> | 87.58        | 87.23        | 86.87     | 86.52   |
| (2CC - 2 CD 256 - 512)                       | 84.04        | 81.56        | 83.33        | 82.97     | 79.78   |

El tiempo promedio de entrenamiento por época de las arquitecturas que se implementaron, empleando diferentes dimensiones de imágenes de entrada, utilizando una computadora con procesador Intel core i5 a 3.1 GHz y 8GB de memoria RAM, se indica en la Tabla 3. Para la dimensión de 100x100, la arquitectura Inception consume 44% más de tiempo que la arquitectura propuesta,



en la dimensión 150x150 es un 29% y para la dimensión 225x225 es un 18% que equivale a 7.44 horas. Considerando 200 épocas de entrenamiento y la dimensión más pequeña de la capa de entrada, la arquitectura propuesta requiere de 7.05 horas para su entrenamiento, mientras que el modelo de Inception se entrena en 10.22 horas.

**TABLA 3**

Tiempo promedio en segundos por época que utilizó cada arquitectura durante el proceso de entrenamiento a diferentes dimensiones de imágenes de entrada.

| Arquitectura                              | Dimensiones |           |         |           |         |
|-------------------------------------------|-------------|-----------|---------|-----------|---------|
|                                           | 100 x 100   | 150 x 150 | 175x175 | 200 x 200 | 225x225 |
| Inception<br>(Mollahosseini y col., 2016) | 184         | 351       | 428     | 544       | 725     |
| Propuesta CNN                             | 127         | 247       | 353     | 425       | 591     |

## 6. Conclusiones

Se ha presentado una arquitectura de una red neuronal convolutiva para la clasificación de objetos en el dominio del hogar. Por las pruebas obtenidas se ha logrado un desempeño del 90% en la tarea de clasificación de seis categorías de objetos, superando la CNN de Inception (Mollahosseini y col., 2016) que se estableció como línea base para comparar los resultados. En relación con el tiempo de entrenamiento de la arquitectura propuesta, se observó que es de al menos el 18% inferior para la dimensión mayor de la capa de entrada respecto al tiempo de entrenamiento de la CNN base. A mayor dimensión de la capa de entrada, el incremento de tiempo para entrenar la red neuronal puede ser de varias decenas de horas, en el caso de la dimensión 225 la arquitectura propuesta requiere de 32.8 horas aproximadamente, para la misma condición la arquitectura de línea base requirió 40.27 horas. Se señala que los mejores modelos obtenidos se encontraron en la segunda mitad de las épocas del proceso de entrenamiento, siempre por arriba de las 100. Dado que en una red neuronal se tiene una gran cantidad de parámetros

a modificar para el diseño de un modelo, este trabajo es una evidencia empírica que se puede emplear como punto de partida en la creación de nuevos modelos, al reportar las pruebas: cantidad de capas convolucionales y densas, dimensión de la capa de entrada y de las capas densas. Se tiene entonces como trabajo futuro la exploración de otro subconjunto de parámetros.

Gracias a la disponibilidad de grandes volúmenes de imágenes en la Web y a las herramientas de desarrollo de redes neuronales, es posible crear conjuntos de datos que hacen posible la implementación y diseño en forma rápida de arquitecturas CNN's para aplicaciones específicas.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el apoyo y facilidades para llevar a cabo este trabajo.

### **Referencias**

- Fischler, M. A., y Elschlager, R. A. (1973). The representation and matching of pictorial structures. *IEEE Transactions on computers*, 100(1), 67-92.
- Khan, A., Sohail, A., Zahoor, U., y Qureshi, A. S. (2020). A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks. *Artificial Intelligence Review*, 1-62.
- Romero Muñoz, L., García Villanueva, M. y Ramos Badillo, J., 2019. Escáner Láser Parlante para Guiar a Personas Ciegas. In: M. García Trillo, L. Márquez Pérez and W. Jacinto Díaz, ed., *Diseño de prototipos para la inclusión de personas con discapacidad*, 1st ed. Morelia Michoacán México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp.176-192.
- Rosebrock, A. (2017). *Deep Learning for Computer Vision with Python: Starter Bundle*. PyImageSearch.
- Liu, L., Ouyang, W., Wang, X., Fieguth, P., Chen, J., Liu, X., y Pietikäinen, M. (2020). Deep learning for generic object detection: A survey. *International journal of computer vision*, 128(2), 261-318.
- Mignon, A. (2018). Flickr API. Version 0.6.1. URL: <https://github.com/alexis-mignon/python-flickr-api>.

- Cha, M., Mislove, A., y Gummadi, K. P. (2009, April). A measurement-driven analysis of information propagation in the flickr social network. In Proceedings of the 18th international conference on World wide web (pp. 721-730).
- Everingham, M., Gool, L. V., Williams, C., Winn, J., y Zisserman, A. (2010). The pascal visual object classes (voc) challenge. *IJCV*, 88(2), 303–338.
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., et al. (2015). ImageNet large scale visual recognition challenge. *IJCV*, 115(3), 211–252.
- Yann LeCun, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A. R., Jaitly, N., ... y Kingsbury, B. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal processing magazine*, 29(6), 82-97.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., y Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1097-1105). Bahdanau, D., Cho, K., y Bengio, Y. (2014). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. *arXiv preprint arXiv:1409.0473*.
- Cohen, N., Sharir, O., y Shashua, A. (2016, June). On the expressive power of deep learning: A tensor analysis. In *Conference on Learning Theory* (pp. 698-728).
- Zhang, Z., Cui, P., y Zhu, W. (2020). Deep learning on graphs: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- Simonyan, K., y Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... y Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1-9).
- He, K., Zhang, X., Ren, S., y Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., y Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 4700-4708).
- Rawat, W., y Wang, Z. (2017). Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review. *Neural computation*, 29(9), 2352-2449.

- Alom, M. Z., Hasan, M., Yakopcic, C., Taha, T. M., y Asari, V. K. (2018). Improved inception-residual convolutional neural network for object recognition. *Neural Computing and Applications*, 1-15.
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1251-1258).
- Mollahosseini, A., Chan, D., y Mahoor, M. H. (2016, March). Going deeper in facial expression recognition using deep neural networks. In *2016 IEEE Winter conference on applications of computer vision (WACV)* (pp. 1-10). IEEE.

# **F**actores influyentes en la resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles: una revisión literaria

*Flor de María Yanira Zevallos Calle y Sócrates Pedro Muñoz Pérez*

Universidad Señor de Sipán. Chiclayo, Perú

## **Resumen**

Los pavimentos flexibles, al tener contacto directo con los vehículos, necesitan una caracterización específica de la capa superficial de modo que cuente con una suficiente resistencia al deslizamiento y así proporcionar seguridad a los usuarios en carreteras. El valor de resistencia al deslizamiento se obtiene en cada unidad de longitud de un pavimento, a partir de las condiciones de funcionamiento del pavimento, ambientales y del vehículo. El artículo presenta una revisión sistemática del problema de la fricción desarrollada por el neumático y el pavimento, que evoluciona con el transcurso del tiempo y vida útil de este último. De la misma manera y con el objetivo de presentar con bases teóricas expuestas durante los años, los distintos factores que influyen en esta evolución de la resistencia al deslizamiento: superficie del pavimento, tránsito, neumáticos y condiciones climáticas. Se revisaron 46 artículos indexados en la base de datos Scopus entre los años 2012 y 2020 sobre deterioro por fricción, resistencia al deslizamiento, microestructura y energía de fricción de contacto.

**Palabras clave:** Resistencia al deslizamiento; superficie del pavimento; tránsito; neumáticos; condiciones climáticas.

## Abstract

Flexible pavements when having direct contact with vehicles need a specific characterization of the surface layer so that it has a sufficient resistance to slipping and thus provide safety to road users. The slip resistance value is obtained in each unit length of a pavement, from the pavement, environmental and vehicle operating conditions. The article presents a systematic review of the problem of friction developed by the tire and the pavement, which evolves over time and the useful life of the latter, also with the aim of presenting, with theoretical bases exposed over the years, the different Factors that influence this evolution of slip resistance: pavement surface, traffic, tires and weather conditions. 46 articles indexed in the Scopus database between 2012 and 2020 on friction deterioration, slip resistance, microstructure and contact friction energy were reviewed.

**Keywords:** Skid resistance; pavement surface; traffic; tires; climatic conditions

## 1. Introducción

(Kane *et al.*, 2019) La resistencia al deslizamiento es uno de los principales factores que contribuyen a la seguridad vial al igual que (Alacash & Parry, 2020) la velocidad límite, la geometría de la carretera y la profundidad de la textura, debido a que (Hofko *et al.*, 2019) varios estudios muestran correlaciones significativas con el número de accidentes de tráfico en distintas condiciones climáticas; al mismo tiempo (Serigos *et al.*, 2014) hay una demanda creciente de carreteras más seguras por lo que la capacidad ofrecida por las carreteras es decisiva tanto en la seguridad como el confort de los usuarios basándose en su nivel de calidad en función a qué tan confiable es el pavimento, es decir a la probabilidad de que resista los efectos de las cargas de tránsito y los factores climáticos durante el período de revisión (Bazhanov, 2019). En consecuencia, una de las principales causas de los accidentes de carretera es la baja fricción entre el neumático del vehículo y la superficie (Wu & Abadie, 2018), existiendo un aumento en el número de accidentes a medida que disminuye la resistencia al deslizamiento (Fwa T. F., 2017) por lo que esta última es uno de los requisitos básicos de seguridad para una carretera (Ariyapijati *et al.*, 2019).

La resistencia al deslizamiento es la fuerza de fricción producida por la rotación de las ruedas sobre la superficie (Lubis *et al.*, 2018) determinándose su valor único bajo un conjunto de pruebas identificando las características del pavimento en un momento dado (Fwa & Chu, 2019) puesto que evoluciona con el tiempo debido a los esfuerzos del tráfico, las condiciones climáticas (Do *et al.*, 2020) y en ocasiones a una mala gestión de pavimentos (Nicolosi *et al.*, 2020), en resumen, la fuerza de fricción se reduce considerablemente en pistas desgastadas (Zhu *et al.*, 2020). Debido a su importante efecto en la seguridad vial y para la toma de decisiones para el mantenimiento del pavimento (Yu *et al.*, 2020) es necesario un modelo predictivo de resistencia al deslizamiento (Hofko *et al.*, 2019) y de su evolución para así asegurar un buen diseño y construcción del pavimento (Kogbara *et al.*, 2016) desarrollándose una óptima interacción con los neumáticos por lo que (Ueckermann *et al.*, 2015) se presenta enfoques a partir de los datos de la superficie como los parámetros de textura que se correlacionan con la fricción del neumático.

## **2. Factores influyentes**

Varios factores afectan el rendimiento de la resistencia al deslizamiento de la carretera (Wu & Abadie, 2018) entre ellos se menciona (Kogbara *et al.*, 2018) la textura de la superficie del pavimento, la geometría de la calzada, las propiedades de los neumáticos, los parámetros de funcionamiento del vehículo y los factores ambientales. Del mismo modo Zhu *et al.* (2020), menciona las propiedades del material de la superficie de la pista y películas de agua. Estos factores de riesgo tienen impactos variables en la seguridad vial debido a los niveles de gravedad del accidente y se caracterizan por sus complejas interacciones (Chen *et al.*, 2019), por lo que es esencial adquirir conocimiento sobre los factores influyentes tanto a la presencia y frecuencia de estos accidentes y sus consecuencias (Pokorny *et al.*, 2020).

### **2.1 Superficie del pavimento**

Representa el medio de contacto entre el neumático y el pavimento, rigiéndose por el mecanismo de fricción que está íntimamente relacionado con la condición de ésta y las propiedades del caucho del neumático (Vieira *et al.*, 2015), por lo que debe tener suficiente resistencia al deslizamiento para permitir que un vehículo que pasa sobre ella acelere y pare/frene de manera segura y cómoda (Ariyapijati *et al.*, 2019). En consecuencia, las agencias viales deben monitorear y controlar el nivel de

fricción proporcionado en sus caminos, mediante el diseño y mantenimiento de superficies adecuadas y tratamientos relacionados (Pérez-Acebo *et al.*, 2020).

La resistencia al deslizamiento depende en gran medida de las características de la textura del pavimento (Afonso *et al.*, 2019) es decir, el tipo de agregado y el diseño de la mezcla (Meegoda *et al.*, 2013) , ya que puede minimizar el riesgo de coeficientes de fricción críticos al proporcionar un drenaje suficiente y un área de contacto adecuada (Kienle *et al.*, 2020) asegurando la interacción básica entre el neumático y el pavimento (Florková & Pepucha, 2017), no obstante se han realizado pocas investigaciones para examinar la relación entre las características de la superficie y la fricción a lo largo del tiempo (Islam *et al.*, 2019).

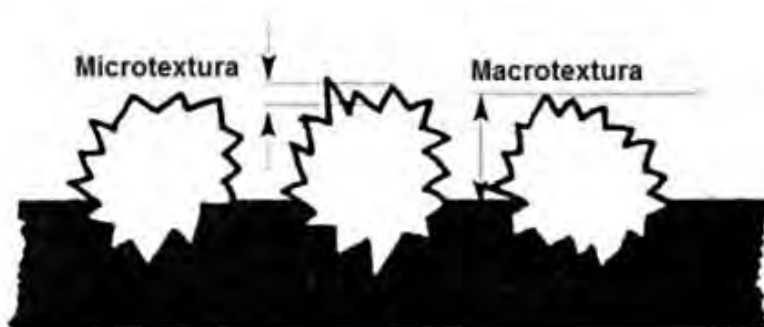
Según Ueckermann *et al.* (2015) se han llevado a cabo muchos estudios para predecir la resistencia al deslizamiento únicamente a partir de mediciones de textura; donde expresa (Florková & Pepucha, 2017) según las amplitudes y longitudes de onda de las irregularidades, la textura se divide en tres categorías: microtextura ( $\lambda < 0.5\text{mm}$ ), macrotextura ( $0.5\text{mm} < \lambda < 50\text{mm}$ ) y megatextura ( $50\text{mm} < \lambda < 500\text{mm}$ ), sin embargo Serigos *et al.* (2014) señala la aspereza ( $5\text{m} < \lambda < 50\text{m}$ ) como una categoría más (Islam *et al.*, 2019). Las determinantes para analizar la resistencia al deslizamiento son la microtextura y macrotextura puesto que, según Do *et al.* (2020), el desgaste de una superficie de la carretera afecta principalmente a la parte más alta de la macrotextura y, en esta parte, la pérdida de desgaste dependería de la microtextura local, siendo así (Torbruegge & Wies, 2015) el estudio de la textura superficial de la carretera es de gran importancia en la ingeniería de pavimentos.

La microtextura se relaciona estrechamente con las propiedades de las partículas agregadas en el asfalto (Florková & Pepucha, 2017) y las características de éstas influyen en la fricción (Pérez-Acebo *et al.*, 2020) por lo que tiene una importante influencia en la adherencia neumático-pavimento. Para el caso de pavimentos húmedos, una microtextura más rugosa contribuye a la resistencia al deslizamiento al romper la delgada capa de agua en la superficie (Serigos *et al.*, 2014).

La macrotextura explica la fricción superficial de los pavimentos flexibles, por lo que está muy relacionada con la resistencia al deslizamiento a velocidades que sobrepasan los 60 km/h y en pavimentos mojados, siendo el principal responsable de (Islam *et al.*, 2019) reducir el potencial de separación del neumático y del pavimento a causa del hidroneumático (Kienle *et al.*, 2020) cuando el neumático no tiene suficiente tiempo para eliminar el agua de la zona de contacto. Por



consiguiente, una macrotextura satisfactoria puede mejorar la seguridad de conducción en clima húmedo al mejorar la resistencia al deslizamiento de las carreteras (Srirangam *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Microtextura y Macrotextura  
Fuente: Suhaimi & Baharuddin, 2019

Para que la superficie tenga una fricción adecuada durante su vida implica identificar una combinación adecuada de micro y macro texturas (Wu & Abadie, 2018), sin embargo, se debe tener en cuenta la cantidad de asfalto ya que su exceso ocasiona exudación y así disminuye el contacto del neumático con la superficie. Del mismo modo ocurre con la presencia de contaminantes como el polvo o el caucho, puesto que obstruyen la porosidad del pavimento. Por tanto, se requiere una comprensión equilibrada entre las compensaciones económicas y de ingeniería asociadas para la selección de diferentes mezclas y tipos de materiales agregados.

## **2.2 Tránsito**

Según Alonso *et al.* (2018) los límites de seguridad de los vehículos se definen como límites de estabilidad que se basan en la configuración de la carga, la velocidad de movimiento y el coeficiente de fricción del neumático, asimismo (Nicolosi *et al.*, 2020) la velocidad a la que viajan los vehículos se ve afectada por la alineación de la carretera por lo que es seguro que el trazado geométrico y los patrones de velocidad de los vehículos influyan en el deterioro de resistencia al deslizamiento. Debido a esto (Evtiukov *et al.*, 2018) el diseño de vehículos de carretera desarrolla e implementa sistemas de seguridad en relación al accidente (antes, durante y después) elevando la característica de seguridad a un nuevo nivel cualitativo, asimismo, (Arricale *et al.*, 2019) el tener el conocimiento del coeficiente de fricción máximo actual de un pavimento permitiría que un controlador del sistema de frenos antibloqueo obtenga una presión de frenado óptima, siendo así indispensable el

aumento de disponibilidad de tecnologías seleccionadas para la seguridad de vehículos (Bhalla & Gleason, 2020).

La clasificación de una carretera influye en la resistencia al deslizamiento tanto su geometría que tiene diferentes demandas de fricción (Nicolosi *et al.*, 2020), como el volumen de las cargas de tráfico (Mahanpoor *et al.*, 2020) siendo éstas últimas directamente relacionadas con el proceso de pulido (Kogbara *et al.*, 2018) de manera que los agregados del pavimento sufren dicho proceso y su nivel de fricción se reduce hasta lograr una fase de equilibrio donde la resistencia al deslizamiento tiende a seguir un valor constante (Pérez-Acebo *et al.*, 2020), sin embargo esto depende de que se mantengan los flujos de tráfico, puesto que (Meegoda *et al.*, 2013) influyen en la reducción del deslizamiento de resistencia del pavimento (Ariyapijati *et al.*, 2019) debido a la microtextura de los agregados debajo de la película de aglomerante en las rehabilitaciones de pavimentos envejecidos. En resumen, (Li, *et al.*, 2019) mientras mayor sea la carga, mayor será el desgaste del pavimento y, por ende, las características adecuadas para una textura superficial correcta disminuirán.



**Figura 2.** Comportamiento de la fricción del pavimento frente a la velocidad de deslizamiento  
Fuente: Iván *et al.*, 2012

Por otro lado (Bellini *et al.*, 2020), la velocidad del vehículo y sus límites aplicados establecidos legalmente para una vía según su clasificación funcional, son relevantes para la gestión de carreteras ya que (Kane *et al.*, 2019) en condiciones

operativas las altas velocidades en climas húmedos provocan los deslizamientos en la superficie. Asimismo, para una evaluación del tramo con respecto a su condición de resistencia al deslizamiento (Rajapakshe et al., 2012), las mediciones de fricción del pavimento se observan a diferentes velocidades de desplazamiento, ya que la fricción dinámica de las interfaces neumático/pavimento depende de la velocidad de desplazamiento del vehículo. A continuación, se observa una fricción máxima a cierta velocidad crítica de deslizamiento, de manera que, a medida que la velocidad aumenta existe la tendencia a una disminución del rozamiento debido a que disminuye el área de contacto entre el neumático y el pavimento (Iván *et al.*, 2012).

### **2.3 Neumáticos**

La rigidez del neumático juega un papel importante en el control del balanceo e inclinación del automóvil (Swamy *et al.*, 2020), es decir, la carga normal del neumático tiene un efecto directo sobre la rigidez en las curvas y longitudinal (Zhang & Gohlich, 2017). No obstante, su rendimiento es muy impredecible incluso si el motor suministra suficiente potencia. Siempre existe la posibilidad de deslizamiento principalmente por hidroplaneo que (Nazari *et al.*, 2020) ocurre cuando una capa de agua entre el neumático y el pavimento empuja el neumático hacia arriba haciendo que éste se desprenda de la superficie impidiendo que proporcione suficientes fuerzas y momentos para que el vehículo responda a las entradas de control del conductor por lo que (Zhao *et al.*, 2017) la fuerza del neumático es un importante influyente en la precisión del manejo; asimismo, esta posibilidad de deslizamiento se incrementa en superficies mojadas, según Mao *et al.* (2019), la resistencia al deslizamiento húmedo es un indicador importante de la seguridad de los neumáticos, especialmente en días lluviosos y para automóviles que circulan a mayor velocidad, además cabe mencionar (Pérez-Acebo *et al.*, 2020) que la temperatura de los neumáticos es normalmente proporcional a la temperatura del aire.

Las fuerzas de rozamiento entre las ruedas y la superficie se desarrollan cuando el vehículo acelera, frena o cambia de dirección, de modo que existe un cambio en el área de contacto generando una variante en la resistencia al deslizamiento causado por las texturas superficiales (Wu & Abadie, 2018), específicamente la macrotextura (Serigos *et al.*, 2014) y por las características del neumático como su geometría, presión de inflado, tipo de caucho (Kane *et al.*, 2019) y sus propiedades viscoelásticas (Torbruegge & Wies, 2015), por consiguiente se puede afirmar que los neumáticos son la conexión entre la carretera y el automóvil a través de la cual se transmiten las fuerzas y los momentos necesarios. En teoría la carga normal de

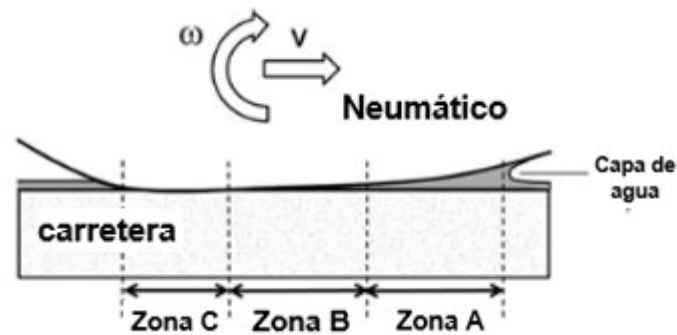
cada neumático se altera constantemente, lo cual es causado por la transferencia de carga lateral y longitudinal del vehículo durante la dirección, aceleración y desaceleración (Zhang & Gohlich, 2017), por lo que el modelo del neumático debe reflejar el efecto de la fuerza vertical del neumático sobre las fuerzas longitudinales y laterales y la interacción de las fuerzas longitudinales y laterales (Zhao *et al.*, 2017).



**Figura 3.** Diagrama de fuerzas actuando sobre el neumático  
Fuente: Lubis et al., 2018

Se explica un modelo de tres zonas ilustrando las condiciones de contacto del neumático-superficie durante el deslizamiento en condiciones mojadas con relación a la fricción (Ueckermann et al., 2015). Las longitudes de las zonas dependen de la velocidad del vehículo y de la cantidad de agua que debe ser expulsada de la interfaz. Debido en parte al lubricante y a la velocidad de deslizamiento utilizada en las mediciones de resistencia al deslizamiento (Torbruegge & Wies, 2015), la adhesión se inhibe en gran medida y la fricción por histéresis puede verse como el principal mecanismo de fricción que contribuye al agarre en mojado.

Debido a que la resistencia al deslizamiento y la profundidad de la textura influyen mucho sobre el mecanismo de fricción y las operaciones vehiculares seguras (Suhaimi & Baharuddin, 2019), para lograr una mejor seguridad, durabilidad y economía de los neumáticos se debe mejorar las propiedades de resistencia al deslizamiento, al desgaste y a la rodadura, siendo importante mantenerlas equilibradas en la fabricación de los compuestos para neumáticos (Mao *et al.*, 2019), al mismo tiempo el ingeniero de diseño utiliza la información que revela el comportamiento del neumático sobre las características de manejo para aprovechar al máximo los neumáticos y mejorar la conducción (Swamy *et al.*, 2020).



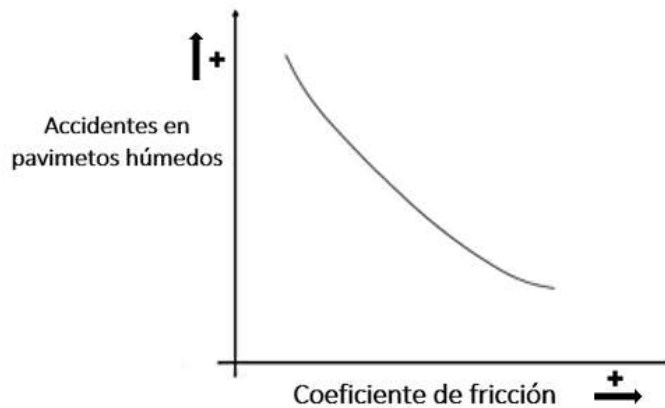
**Figura 4.** Modelo de las tres zonas  
Fuente: Ueckermann et al., 2015

## 2.4 Condiciones climáticas

Son importantes en el desempeño de los pavimentos flexibles por su compleja interacción con los materiales de la superficie y las cargas de tránsito, concretamente la precipitación donde (Meegoda *et al.*, 2013) la microtextura puede disminuir o perderse debido al agua superficial en periodos de fuertes lluvias; la temperatura, siendo (Kogbara *et al.*, 2018) el factor ambiental más importante para las carreteras con clima cálido; los ciclos hielo-deshielo donde (Tan *et al.*, 2019) los coeficientes de fricción disminuyen con el aumento de la rugosidad de la superficie del hielo; tormentas de polvo, entre otros, que afectan su resistencia al deslizamiento interfiriendo con la (Zhu *et al.*, 2020) fricción de los neumáticos reduciendo su valor en un 75% en comparación con las carreteras secas y con una superficie limpia.

La resistencia al deslizamiento varía según las condiciones ambientales (Do et al., 2020), siendo normalmente más baja al final del verano y más alta durante el invierno debido a que (Khasawneh & Liang, 2012) las temperaturas reducen la rigidez tanto del asfalto como del caucho y la viscosidad del agua; asimismo, (Zhu *et al.*, 2020) varios estudios afirman que la resistencia al deslizamiento de las pistas disminuye considerablemente en condiciones de clima húmedo de manera que (Pérez-Acebo *et al.*, 2020) los análisis de colisiones viales han demostrado que la tasa de accidentes en pavimentos mojados aumenta cuando los valores de fricción son bajos, (Meegoda *et al.*, 2013) por consiguiente existe una gran influencia en la ocurrencia de accidentes referidos al deslizamiento en climas húmedos. De manera que (Chen *et al.*, 2013) los pavimentos generalmente están diseñados y construidos

para proporcionar la textura suficiente para permitir una fricción adecuada cuando la superficie está húmeda y (Fwa T. F., 2017) monitorean regularmente su condición activándose medidas preventivas o correctivas cuando es necesario para mantenerlos seguros en la conducción de diversas condiciones climáticas, de modo que los ingenieros puedan abordar los problemas de seguridad vial de forma más efectiva.



**Figura 5.** Relación entre la tasa de accidentes con condiciones de clima húmedo y fricción superficial del pavimento  
Fuente: Suhaimi & Baharuddin, 2019

### 3. Discusión de la revisión literaria

Debido a que la resistencia al deslizamiento es un elemento crítico en la seguridad vial, existen diversos estudios acerca de la fricción superficial con relación a los factores mencionados en el capítulo 2:

- Según Afonso *et al.* (2019), la superficie del pavimento según la macrotextura y resistencia al deslizamiento, del mismo modo (Suhaimi & Baharuddin, 2019) determinando valores apropiados de fricción específicamente para superficie mojadas, en otras palabras: en condiciones climáticas húmedas; sin embargo (Serigos *et al.*, 2014) incluye además la microtextura para una mejora en la predicción de los valores mencionados.
- En su estudio, Fwa T. F. (2017) presentó una representación de la resistencia al deslizamiento en función del espesor de película de agua y la velocidad del vehículo, así como también (Vieira *et al.*, 2015) nos habla

sobre el desgaste del neumático debido a la fricción superficial validando la existencia y relevancia de la adhesión.

Por otro lado, se han desarrollado estudios para predecir la fricción superficial, es decir, (Wu & Abadie, 2018) modelos que se puedan usar durante el diseño de mezcla de la capa de rodadura, así como también se han desarrollado procedimientos de pruebas que sea capaz de obtener valores pronosticados a priori de la resistencia al deslizamiento en el laboratorio. Siendo el método de Ueckermann *et al.* (2015) el más novedoso al presentar un estudio de predicción de medida sin contacto basándose en la textura óptica.

El presente artículo de tipo revisión, pretende mencionar y explicar de manera cualitativa a partir de bases científicas los factores que tienen mayor influencia y determinan la condición de un pavimento flexible en relación con la fricción ocurrida entre la superficie con los neumáticos, es decir, qué tan confiable es la capacidad de resistencia al deslizamiento en diferentes condiciones.

Limitaciones de la investigación:

- Contribuciones científicas en el directorio Scopus, tanto artículos y revisiones.
- Publicaciones en inglés
- Información generada entre el año 2012 al 2020

## **4. Resultados**

El presente artículo sólo se verá enfocado en un análisis cualitativo a partir de los estudios de muchos especialistas en el transcurso de los años, dependiendo de sus diferentes resultados en cuestión de qué es lo que afecta la condición de un pavimento flexible y qué tanto influye en la varianza de su resistencia al deslizamiento.

De acuerdo con los artículos científicos que se han citado, podemos dar por hecho que cuatro factores son los principales determinantes en la seguridad vial de un pavimento con respecto a la fricción establecida: la superficie del pavimento, el tránsito, los neumáticos y las condiciones climáticas.

## 5. Conclusiones

- La representación de la evolución de la resistencia al deslizamiento de las carreteras a lo largo del tiempo en su vida útil es considerada una medida estratégica para perfeccionar las normativas del mantenimiento de acuerdo con la gestión de los pavimentos orientadas a la seguridad vial. Teniendo en cuenta que el deterioro de la superficie se presenta tanto a corto como a largo plazo, influyendo principalmente las condiciones climáticas y el tráfico vehicular respectivamente, por lo que se espera una evaluación de la fricción en la interfaz de neumático–superficie enfocado en condiciones reales.
- La microtextura y macrotextura tienen un papel vital en la resistencia al deslizamiento ya que influyen en la adherencia de superficie–neumático y la evacuación de agua en la zona de contacto, respectivamente, por lo que cuanto mayor sean los valores de estas texturas, mejor será la fricción del pavimento. Sin embargo, en condiciones húmedas y bajas velocidades, el comportamiento de la fricción para todas las superficies es similar al de las condiciones secas. Sin embargo, cuando la velocidad aumenta, cuanto menor es la macrotextura, mayor es la caída de fricción.
- El factor más relevante en cuestión de cantidad de reducción de resistencia al deslizamiento es el volumen de tráfico y el proceso de pulido, siendo mucho mayor en condiciones de clima húmedo. Por lo tanto, no es necesario conocer el historial de trabajo de la carretera siempre que se pueda identificar el material de la superficie y se cuenten los volúmenes de tráfico.
- Las condiciones climáticas extremas son los puntos críticos para un desgaste radical de la resistencia al deslizamiento, en caso de las estaciones que, sin distinción de la clasificación ni vida útil, presenta menor fricción en temporada de verano que en temporada de invierno a pesar que la superficie sufrió el proceso de pulido del tráfico a través del tiempo; o en un cambio repentino de la fricción cuando la superficie del pavimento se moja levemente al inicio de un evento de lluvia, observándose una reducción importante en la fricción debido a que la película de agua sobre la superficie actúa como lubricante entre el neumático y el pavimento y también reduce el área de contacto entre los dos. Por lo tanto, la mayoría



de las pruebas de resistencia al deslizamiento se realizan en condiciones húmedas.

- Se sabe que el rendimiento de la resistencia al deslizamiento varía con respecto a su tiempo inicial, sin embargo, es importante para garantizar las características superficiales necesarias en la seguridad vial, igualmente para gestionar y evaluar los contratos basados en indicadores de rendimiento, siendo este último caso, la fiabilidad de las mediciones de la resistencia al deslizamiento es aún más importante, ya que influyen directamente en los ingresos del contratista.

## 6. Referencias

- Afonso, M. L., Dinis-Almeida, M., & Fael, C. S. (2019). Characterization of the Skid Resistance and Mean Texture Depth in a Permeable Asphalt Pavement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 471(2). doi:10.1088/1757-899X/471/2/022029
- Alacash, H., & Parry, T. (2020). Applying random parameters model to evaluate the impact of traffic, geometric and pavement condition characteristics on accident frequencies occurred at a-roads networks in the UK. Advances in Intelligent Systems and Computing, 1083 AISC, 3-19. doi:10.1007/978-3-030-34069-8\_1
- Alonso, M., Mántaras, D. A., & Luque, P. (2018). Methodology for determining real time safety margin in a road vehicle. Transportation Research Procedia, 33, 331-338. doi:10.1016/j.trpro.2018.10.110
- Ariyapijati, R. H., Hadiwardoyo, S. P., & Sumabrata, R. J. (2019). Skid resistance of gap graded hot-mix asphalt with added crumb rubber. Journal of Physics: Conference Series, 1376(012010). doi:10.1088/1742-6596/1376/1/012010
- Arricale, V., Carputo, F., Farroni, F., Sakhnevych, A., & Timpone, F. (2019). Experimental investigations on tire/road friction dependence from thermal conditions carried out with real tread compounds in sliding contact with asphalt specimens. Key Engineering Materials, 813 KEM, 261-266. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.813.261
- Bazhanov, A. P. (2019). General issues of assessing the reliability of roads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 632(1). doi:10.1088/1757-899X/632/1/012012

- Bellini, D., Laconis, M., & Traettino, E. (2020). Speed limits and road warning signs as aid for driving behavior. *Transportation Research Procedia*, 45, 135-142. doi:10.1016/j.trpro.2020.02.100
- Bhalla, K., & Gleason, K. (2020). Effects of vehicle safety design on road traffic deaths, injuries, and public health burden in the Latin American region: a modelling study. *The Lancet Global Health*, 8(6), e819-e828. doi:10.1016/S2214-109X(20)30102-9
- Chen, J.-S., Chen, S.-F., & Liao, M.-C. (2013). Macroscopic and microscopic evaluation of surface friction of airport pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 6(5), 558-594. doi:10.6135/ijprt.org.tw/2013.6(5).588
- Chen, S., Saeed, T. U., Alinizzi, M., Lavrenz, S., & Labi, S. (2019). Safety sensitivity to roadway characteristics: A comparison across highway classes. *Accident Analysis and Prevention*, 123, 39-50. doi:10.1016/j.aap.2018.10.020
- Do, M. -T., Cerezo, V., & Ropert, C. (2020). Questioning the approach to predict the evolution of tire/road friction with traffic from road surface texture. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 8(2). doi:10.1088/2051-672X/ab8ba9
- Evtiukov, S., Karelina, M., & Terentyev, A. (2018). A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*, 36, 149-156. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.057
- Florková, Z., & Pepucha, L. (2017). Microtexture diagnostics of asphalt pavement surfaces. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 236(1). doi:10.1088/1757-899X/236/1/012025
- Fwa, T. F. (2017). Skid resistance determination for pavement management and wet-weather road safety. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(3), 217-227. doi:10.1016/j.ijtst.2017.08.001
- Fwa, T., & Chu, L. (2019). The concept of pavement skid resistance state. *Road Materials and Pavement Design*. doi:10.1080/14680629.2019.1618366
- Hofko, B., Kugler, H., Chankov, G., & Spielhofer, R. (2019). A laboratory procedure for predicting skid and polishing resistance of road surfaces. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(4), 439-447. doi:10.1080/10298436.2017.1309191
- Islam, S., Hossain, M., & Miller, R. (2019). Evaluation of pavement surface texture at the network level. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 34(1), 87-98. doi:10.1080/10589759.2018.1554067

- Iván, J., Ravishanker, N., Jackson, E., Aronov, B., & Guo, S. (2012). A Statistical Analysis of the Effect of Wet-Pavement Friction on Highway Traffic Safety. *Journal of Transportation Safety and Security*, 4(2), 116-136. doi:10.1080/19439962.2011.620218
- Kane, M., Do, M.-T., Cerezo, V., Rado, Z., & Khelifi, C. (2019). Contribution to pavement friction modelling: an introduction of the wetting effect. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(8), 965-976. doi:10.1080/10298436.2017.1369776
- Khasawneh, M., & Liang, R. (2012). Temperature effect on frictional properties of HMA at different polishing stages. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 6(1), 39-53. Obtenido de [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- Kienle, R., Ressel, W., Götz, T., & Weise, M. (2020). The influence of road surface texture on the skid resistance under wet conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 234(3), 313-319. doi:10.1177/1350650117753995
- Kogbara, R., Masad, E., Kassem, E., & Scarpas, A. (2018). Skid resistance characteristics of asphalt pavements in hot climates. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*, 144(2). doi:10.1061/JPEODX.0000046
- Kogbara, R., Masad, E., Kassem, E., Scarpas, A., & Anupam, K. (2016). A state of the art review of parameters influencing measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 114, 602-617. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.04.002
- Li, J., Yu, J., Xie, J., & Ye, Q. (2019). Performance degradation of large-sized asphalt mixture specimen under heavy load and its affecting factors using multifunctional pavement material tester. *Materials*, 12(3814). doi:10.3390/ma12233814
- Lubis, A. S., Muis, Z. A., & Gultom, E. M. (2018). The effect of contaminant on skid resistance of pavement surface. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126(1). doi:10.1088/1755-1315/126/1/012040
- Mahanpoor, M., Monajjem, S., & Balali, V. (2020). An optimization model for synchronous road geometric and pavement enhancements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. doi:10.1016/j.jtte.2019.03.008
- Mao, C., Ma, Y., Wu, S., Wei, Y., & Li, J. (2019). Wear resistance and wet skid resistance of composite bionic tire tread compounds with pit structure. *Materials Research Express*, 6(8). doi:10.1088/2053-1591/ab249a

- Meegoda, J., Gao, S., Liu, S., & Gephart, N. (2013). Pavement texture from high-speed laser for pavement management system. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(8), 697-705. doi:10.1080/10298436.2012.655246
- Nazari, A., Chen, L., Battaglia, F., Ferris, J., Flintsch, G., & Taheri, S. (2020). Prediction of Hydroplaning Potential Using Fully Coupled Finite Element-Computational Fluid Dynamics Tire Models. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 142(101202). doi:10.1115/1.4047393
- Nicolosi, V., D'Apuzzo, M., & Evangelisti, A. (2020). Cumulated frictional dissipated energy and pavement skid deterioration: Evaluation and correlation. *Construction and Building Materials*, 263(120020). doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120020
- Pérez-Acebo, H., Gonzalo-Orden, H., Findley, D., & Rojí, E. (2020). A skid resistance prediction model for an entire road network. *Construction and Building Materials*, 262(120041). doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120041
- Pokorný, P., Jensen, J. K., Gross, F., & Pitera, K. (2020). Safety effects of traffic lane and shoulder widths on two-lane undivided rural roads: A matched case-control study from Norway. *Accident Analysis & Prevention*, 144. doi:10.1016/j.aap.2020.105614
- Rajapakshe, M., Fuentes, L., & Gunaratne, M. (2012). Using the astm e 274 skid trailer data to characterize pavement friction behavior with respect to the traveling speed and the wheel slip ratio. *DYNA*, 79(176), 130-138.
- Serigos, P. A., De Fortier Smit, A., & Prozzi, J. A. (2014). Incorporating Surface Microtexture in the Prediction of Skid Resistance of Flexible Pavements. *Transportation Research Record*, 2457, 105-113. doi:10.3141/2457-11
- Srirangam, S., Anupam, K., Scarpas, A., Kasbergen, C., & Kane, M. (2014). Safety aspects of wet asphalt pavement surfaces through field and numerical modeling investigations. *Transportation Research Record*, 2446, 37-51. doi:10.3141/2446-05
- Suhaimi, A., & Baharuddin, A. R. (2019). Threshold value of skid resistance and texture depth for Malaysia road. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1). doi:10.1088/1757-899X/512/1/012035
- Swamy, V. S., Shivayogi, H. G., & Mathivanan, N. R. (2020). Selection of Optimal Tire and Design Optimisation of Steering System for a Formula Student Race Car through Tire Data Treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1478(1). doi:10.1088/1742-6596/1478/1/012032

- Tan, T., Xing, C., Tan, Y., & Gong, X. (2019). Safety aspects on icy asphalt pavement in cold region through field investigations. *Cold Regions Science and Technology*, 161, 21-31. doi:10.1016/j.coldregions.2019.02.010
- Torbruegge, S., & Wies, B. (2015). Characterization of pavement texture by means of height difference correlation and relation to wet skid resistance. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2(2), 59-67. doi:10.1016/j.jtte.2015.02.001
- Ueckermann, A., Wang, D., Oeser, M., & Steinauer, B. (2015). A contribution to non-contact skid resistance measurement. *International Journal of Pavement Engineering*, 16(7), 646 - 659. doi:10.1080/10298436.2014.943216
- Vieira, T., Ferreira, R. P., Kuchiishi, A. K., Bernucci, L. L., & Sinatora, A. (2015). Evaluation of friction mechanisms and wear rates on rubber tire materials by low-cost laboratory tests. *Wear*, 328-329, 556-562. doi:10.1016/j.wear.2015.04.001
- Wu, Z., & Abadie, C. (2018). Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 12(3), 372-381. doi:10.1007/s11709-017-0463-1
- Yu, M., You, Z., Wu, G., Kong, L., Liu, C., & Gao, J. (2020). Measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavement: A review. *Construction and Building Materials*, 260(119878). doi:10.1016 / j.conbuildmat.2020.119878
- Zhang, X., & Gohlich, D. (2017). A hierarchical estimator development for estimation of tire-road friction coefficient. *PLOS ONE*, 12(2). doi:10.1371/journal.pone.0171085
- Zhao, Y.-Q., Li, H.-Q., Lin, F., Wang, J., & Ji, X.-W. (2017). Estimation of Road Friction Coefficient in Different Road Conditions Based on Vehicle Braking Dynamics. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(4), 982-990. doi: 10.1007/s10033-017-0143-z
- Zhu, X., Yang, Y., Zhao, H., Jelagin, D., Chen, F., Gilabert, F., & Guarin, A. (2020). Effects of surface texture deterioration and wet surface conditions on asphalt runway skid resistance. *Tribology International*, 153(106589). doi:10.1016/j.triboint.2020.106589

M *iscelánea*

## Instructivo para autores

### *Organización del manuscrito*

#### 1. Partes preliminares

**Carta al editor.** Incluir una carta del autor responsable (con extensión máxima de dos cuartillas) dirigida al Editor, en donde se describa el tipo de trabajo y el programa o proyecto más general del que forma parte la investigación a la que se refiere el escrito. Deben incluirse la dependencia de adscripción, teléfono y correo electrónico del autor responsable. En su caso, indicar el nivel (investigadores, técnicos, estudiantes de licenciatura o posgrado), sitio de adscripción y tipo de participación de los coautores.

**Título:** Identifica el contenido del artículo. Deben usarse títulos breves, claros, concisos y específicos.

**Resumen:** Debe sintetizar la idea general del proyecto, el alcance de la investigación, los objetivos, métodos, resultados y conclusiones principales. Será redactado en español, en un solo párrafo de no más de 250 palabras.

**Abstract:** Será redactado en inglés y la primera línea será el título del trabajo. El 'abstract' contendrá la misma información que el Resumen.

**Palabras clave ('keywords'):** Lista de 3 a 5 palabras clave en español e inglés para fines de catalogación internacional. Se incluirán en seguida del Resumen/'Abstract', respectivamente.

## 2. Cuerpo del artículo

**Introducción:** Presenta el fundamento racional del estudio. Deberá mostrar la naturaleza, los objetivos y los alcances del problema tratado e incluirá una revisión de las publicaciones pertinentes para orientar al lector sobre el tema. De considerarse conveniente, incluir aquí la sección de Antecedentes.

**Secciones:** Pueden incluirse secciones como “Materiales y Métodos”, “Metodología”, “Resultados y discusión” (juntos o separados), u otras secciones que el autor considere pertinentes de acuerdo con el tipo y la temática del trabajo. En su caso, los resultados deben presentarse con datos concisos y preferentemente con bases estadísticas.

**Conclusiones o consideraciones finales:** Presentar brevemente las conclusiones alcanzadas en el trabajo y sustentadas por los resultados obtenidos, así como su relevancia o repercusión.

**Referencias:** Las referencias bibliográficas en el texto pueden indicarse de dos formas (se recomienda utilizar la primera):

a. Indicar el apellido o apellidos del autor o autores, seguidos del año de publicación. Para un autor: Rodríguez (1995), o (Rodríguez 1995); para dos autores: Juárez y Solís (1996) o (Juárez y Solís, 1996); para tres o más autores: Cárdenas et al. (1990) o (Cárdenas et al., 1990). Si el autor y el año son iguales, los trabajos se diferenciarán con una letra minúscula después del año: Sosa (1989a) o (Sosa 1989a). Para separar una secuencia de referencias, use una coma: (Álvarez 1985, 1987, Cortés 1991, Wright 1995).

b. Incluir entre paréntesis un número que identifique la referencia en la sección de Bibliografía.

## 3. Partes finales

**Agradecimientos:** Mencionar brevemente a las personas o instituciones que apoyaron en el desarrollo del trabajo.

**Bibliografía:** Incluir solamente las referencias citadas en el texto, en orden alfabético y cronológico. Cada referencia debe seguir el siguiente orden: autor(es), año, título del trabajo, revista o libro. Dependiendo de la fuente, el formato puede variar. Enseguida se muestran algunos formatos de citas, a manera de ejemplo.

*Citas de una revista periódica:*

Garduño M., V.H. y R.J. Escamilla T. 1996. Revisión histórica de la sismicidad en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 11: 57-81.

*Cita de un libro:*

Robinson, J.G. y K.H. Redford 1991. *Neotropical Wildlife Use and Conservation*. The University of Chicago Press. Chicago and London. 520 pp.

*Cita de capítulo de un libro:*

Thomsen, J.B. y A. Brautigam 1991. Sustainable use of neotropical parrots. P. 359-379. En: *Neotropical Wildlife Use and Conservation*. (J.G. Robinson y K.H. Redford, Eds.) The University of Chicago Press. Chicago and London.

*Cita de trabajo de tesis:*

Martínez T., M. 1983. Contribución al conocimiento de la biología de *Poecilia sphenops Valenciennes* (Pisces: Poeciliidae), en la Presa de Zicuirán, Mich. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología, Univ. Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 64 pp.

*Cita de resumen en memorias de un congreso:*

Estrada, M., R. Aladro Lubel y M.A. Aladro Lubel. 1995. Dos especies de ciliados suctores (Protozoa: Ciliophora: Suctorida) asociadas a *Cambarellus patzcuarensis* Villalobos, 1943. *Memorias del XIII Congreso Nacional de Zoología*, Morelia, Michoacán, México. p. 80.

**Cuadros o tablas:** Los cuadros deben documentar, pero no duplicar, los datos presentados en el texto o en las figuras. Cada cuadro se presentará en página aparte, que incluirá el título y, en su caso, llamadas o aclaraciones del cuadro. Todos los cuadros deberán estar citados en el texto y se presentarán al final del escrito y no incorporados en el texto.

**Leyendas de las figuras:** Deberán escribirse en página aparte y se colocarán después de los Cuadros/Tablas.

**Figuras, esquemas, fotografías:** Se sugiere un máximo de seis figuras o esquemas por manuscrito. Todas las figuras deberán estar citadas en el texto y se incluirán al final del escrito y no incorporadas en el texto. La calidad de las figuras deberá ser suficiente para obtener una adecuada reproducción en el formato



electrónico de la Revista. Las imágenes pueden presentarse en los formatos PNG, GIF o JPG.

**Extensión del artículo:** La extensión de los artículos puede variar entre 15 y 25 cuartillas, incluyendo cuadros, ilustraciones y gráficas. Los originales deberán entregarse a doble espacio con letra Arial de 12 puntos (notas al pie en 10 puntos) en versión Word.

## Artículos aceptados

Después del proceso de arbitraje, el dictamen sobre la aceptación o rechazo del trabajo será comunicado por el Editor al autor responsable, con las indicaciones correspondientes que sustenten la decisión emitida.

La versión final de los trabajos aceptados se recibirá con las siguientes especificaciones:

1. El texto deberá incorporarse en la plataforma de la Revista, sin formato. Es decir, sin tabulaciones, indentaciones, líneas salidas, partes centradas o alineadas a la derecha y sin separación de sílabas. Podrán utilizarse letras negrita o resaltada e itálica o cursiva, sin excederse en su uso. Evite el subrayado. También puede hacerse uso de notas a pie de página.
2. El área técnica de la revista no editará ni modificará tablas ni figuras o esquemas, por lo que es necesario que éstas se presenten con la mejor calidad posible para su publicación.

Para dudas o comentarios sobre la entrega de la versión final de los artículos, escribir a: [sramirez@umich.mx](mailto:sramirez@umich.mx).

## Lista de comprobación de preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que los envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. La información contenida en el artículo no ha sido publicada previamente, ni se ha presentado a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al editor).

2. El fichero enviado está en formato OpenOffice, Microsoft Word o RTF. (No se aceptan archivos en PDF), menor a 4 mb.
3. El texto tiene interlineado doble; el tamaño de fuente arial es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado (exceptuando las direcciones URL). Todas las ilustraciones, figuras y tablas no deben de estar intercaladas dentro del texto, sino al final del artículo.
4. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en el Instructivo para autoras/es, que se pueden encontrar en páginas anteriores.

# Directorios y página legal

## **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

### **Directorio**

#### **Rector:**

*Dr. Raúl Cárdenas Navarro*

*Secretario General:*

*L.E. Pedro Mata Vázquez*

*Secretario Académico:*

*Dr. Orépani García Rodríguez*

*Secretaria Administrativa:*

*Mtra. Silvia Hernández Capi*

*Secretario Auxiliar:*

*Dr. Juan Carlos Gómez Revuelta*

*Secretario de Difusión Cultural*

*Dr. Héctor Pérez Pintor*

*Tesorero General:*

*Dr. Rodrigo Gómez Monge*

*Coordinador de la Investigación Científica:*

*Dr. Marco Antonio Landavazo Arias*

### **Consejo de la Investigación Científica**

*Dr. Marco A. Landavazo Arias. Presidente*

*Dr. . Secretario*

*Dr. Alberto Ruiz Marín*

*Dr. Héctor Guillermo Carreón Garcidueñas*

*Dr. Homero Reyes de la Cruz*

*Dr. José López Bucio*

*Dr. Eduardo Nomelí Mijangos Díaz*

*Dr. Gerardo Sánchez Díaz*

*Dr. Ulises Nucamendi Gómez*

*Dr. Olivier Charles-Albert Sarbach*

*Dra. Alma Lilia Fuentes Farías*

*Dr. Alberto Gómez Tagle Chávez*

*Dr. Samuel Pineda Guillermo*

*Dr. Carlos Cristián Martínez Chávez*

*Dr. José Carlos Alejandro Rodríguez Chávez*

*Dr. José César Lenin Navarro Chávez*

*Dr. Eduardo González Di Pierro*

*Dr. Carlos González Di Pierro*

*Dra. Erna Martha López Granados*

### **Ciencia Nicolaita**

Revista Científica de la Universidad  
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Periodicidad: Cuatrimestral

Editor: Dr. Agustín Jaime Castro Montoya

### **Consejo Editorial**

Dr. Marco Antonio Landavazo Arias. Coordinador de Investigación Científica.  
Dr. Agustín Jaime Castro Montoya. Editor

Dr. José María Ponce Ortega  
Dra. María Teresa Cortes Zavala  
Dra. Rosa Elva del Río  
Dra. Hilda R. Guerrero García Rojas  
Dra. Alejandra Ochoa Zarzosa  
Dr. José Miguel Cervantes Alfaro

### **Autores:**

Si usted está interesado en publicar un artículo en **Ciencia Nicolaita**, descargue la *Guía de Autores* de la página en internet de la Coordinación de la Investigación Científica: [www.cic.umich.mx](http://www.cic.umich.mx) o consúltela en este mismo número.

Toda correspondencia deberá ser enviada a la dirección abajo impresa. Mayor información a los mismos teléfonos con el Dr. Agustín Jaime Castro Montoya, Editor de la revista.

**Portada:** Paisaje. Fotografía gratuita tomada del sitio de internet [pexels.com](http://pexels.com).

Tipografía y diseño: Ing. Sergio Ramírez M.  
Corrección: Mtro. Rafael Orozco Flores.  
Apoyo: Mtra. Naborina Villaseñor Santoyo  
Página web: C.P. Hugo César Guzmán Rivera.

### **INFORMACIÓN LEGAL**

**CIENCIA NICOLAITA**, Año 28. No. 81, diciembre de 2020, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Francisco J. Mújica, s/n, Ciudad Universitaria, Morelia. C.P. 58030, Tel. 443 322 35 00, <http://www.cic.cn.umich.mx>, [cicumich@gmail.com](mailto:cicumich@gmail.com). Editor: Dr. Agustín Jaime Castro Montoya. Reserva de derechos al Uso Exclusivo No. **04-2013-072913082200-203**, ISSN: **2007-7068**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Coordinación de la Investigación Científica, Edificio C-2., Av. Francisco J. Mújica, s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tels. 443-316-7436 y 443-327-2366, fecha de última modificación, **18 de octubre de 2018**.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente la opinión de los editores. Los materiales de esta publicación pueden ser reproducidos para fines no comerciales citando la fuente. Si fuera el caso, se solicita enviarnos un ejemplar.