

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Enero - Marzo 2021

ISSN: En trámite

No. 119

**Análisis técnico geoestadístico
de los ríos Atoyac y Alseseca
que atraviesan la ciudad de
Puebla, México**

**Los cefalópodos del antiguo
Museo Nacional de Historia Natural
de México: Chopo**

**Pandemia COVID-19.
Aspectos bioéticos**



Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

No. 119 Enero - Marzo 2021

Editorial	3	<i>Los cefalópodos del antiguo Museo Nacional de Historia Natural de México: Chopo</i>	34
<i>Análisis técnico geoestadístico de los ríos Atoyac y Alseseca que atraviesan la ciudad de Puebla, México</i>	5	Dr. Ricardo Pliego Cárdenas Biol. F. Montserrat Morales Mejía Dra. Edna Naranjo García	
Dr. Rogelio Ramos Aguilar M.I. Patricia Máximo Romero Dr. Víctor Galindo López M.I. Máximo Ávila Cruz M.S. Gabriela Yáñez Pérez Dr. Rubén Márquez Máximo M.C. Victoriano Covarrubias Salvatori		<i>Importancia de los Métodos Geométricos</i> Dr. Yuri N. Skiba	40
<i>Polimorfismos genéticos como predictores de toxicidad tardía inducida por radiación en pacientes con cáncer de próstata</i>	23	<i>Modelo heurístico, soportado por agentes, para la dinámica de propagación de una enfermedad infecciosa</i> Dr. Gerardo A. Laguna-Sánchez Dr. Juan López-Sauceda	45
M.C. Grecia De La Toba Avitia Dr. María de la Luz Sevilla González M.C. Sergio Araujo Betanzos		<i>Pandemia COVID-19. Aspectos bioéticos</i> Dr. Nelson Eduardo Alvarez Licona Dra. María de la Luz Sevilla González M.C. Alma E. Martínez Licona	56
		<i>El problema de horarios y cursos basado en currículum</i> Ing. Jorge Carlos González González M.C. Alma Edith Martínez Licona	65

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

en la WEB

Lea los artículos publicados en
<https://contactos.izt.uam.mx/>



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Rector General

Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro.

Secretario General

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia.

UNIDAD IZTAPALAPA

Rector

Dr. Rodrigo Díaz Cruz.

Secretario

Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders.

Director de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia.

Directora de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Dra. Sara Lucía Camargo Ricarlde.

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería:

Consejo Editorial:

Dr. Rodrigo Díaz Cruz,

Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders,

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia,

Dra. Sara Lucía Camargo Ricarlde.

UAM- Iztapalapa

Editor en Jefe:

M. C. Alma Edith Martínez Liconá.

Comité Editorial por CBS:

Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura Josefina Pérez Flores, Dr. Pedro Luis Valverde Padilla,

Por CBI:

Dr. Hugo Ávila Paredes.

Por la Universidad Iberoamericana:

Mtro. Adolfo G. Fink – Pastrana.

CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA. 3ª Época, No. 119,

Enero - Marzo 2021, es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14387, México, Ciudad de México y Av. San Rafael Atlixco No. 186, Edificio T174, Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C. P. 09340, México, Ciudad de México, Tel. 5804 – 4634 Página electrónica de la revista: <https://contactos.izt.uam.mx/> y dirección electrónica: cts@xanum.uam.mx Editora responsable MC Alma E. Martínez Liconá. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2013-042212044000-203, ISSN en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Liconá; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación 31 de Marzo de 2021. Tamaño del archivo 45 MB.

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

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Fecha de Publicación: Enero - Marzo de 2021.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar por mail el trabajo en

Word. Toda correspondencia deberá enviarse a:

Comité Editorial de **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería,**

UAM – Iztapalapa, T – 174, Tel. 5804-4634

Av. San Rafael Atlixco No. 186, C. P. 09340, CDMX.

Apartado Postal 55 -534

<https://contactos.izt.uam.mx/> e-mail cts@xanum.uam.mx

Editorial

Comenzamos este 2021 más optimistas, aprendiendo de las experiencias que nos ha dejado el año pasado y deseando una mejora sustancial a la situación vivida en los últimos meses. Curiosamente, este primer número de la revista se integró con varios artículos que describen métodos para prever situaciones antes de padecerlas, artículos de interés general para nuestros amables lectores.

En este número 119 encontrarán un artículo sobre COVID-19 en el cual se reflexiona sobre algunos aspectos bioéticos alrededor de esta pandemia, relacionado a este tipo de temas se encuentra el artículo “Modelo heurístico, soportado por agentes, para la dinámica de propagación de una enfermedad infecciosa” en este artículo se aprovechó el modelo propuesto para evaluar el desempeño de dos estrategias para la contención de la propagación de una enfermedad infecciosa: evitar encuentros cercanos y detección y aislamiento oportuno de los nuevos infectados. Los resultados de las simulaciones demuestran que la mejor estrategia es la de detección y aislamiento oportuno.

Cambiando del tema de enfermedades tenemos “Análisis técnico geoestadístico de los ríos Atoyac y Alseseca que atraviesan la ciudad de Puebla, México” el cual analiza la situación de estos dos ríos que son de riesgo para la población de las colonias que se encuentran en las márgenes de los cauces ya que principalmente durante los meses de lluvia (mayo a noviembre) se presentan inundaciones en la zona. El objetivo de este análisis es contar con datos geoestadísticos para modelar y simular el comportamiento de los ríos que sirvan para crear cartografía de riesgos hidrológicos estadísticos.

Estos son algunos de los temas con los que se encontrarán al momento de leer la revista y con los cuales esperamos interesarlos para descubrir el resto del contenido.

Atentamente

MC Alma E. Martínez L.
Editora en jefe



Información para autores

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería, Revista dirigida a profesores y a estudiantes de estas disciplinas.

Está registrada en el índice de revistas de divulgación de Conacyt, así como en Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Para publicar, los trabajos deberán ser originales y accesibles a un público amplio con formación media superior o universitaria pero no especializada; los temas deberán presentarse en forma clara. Cada colaboración debe incluir figuras, diagramas, ilustraciones, fotografías, etc. (otorgando el crédito correspondiente en caso de no ser original), que hagan más accesible la presentación.

Las secciones que la constituyen son:

1. Divulgación. Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).

2. Educación científica. Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).

3. Artículos especializados. Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).

4. Crónicas. Historia y desarrollo de conceptos científicos, así como teorías alternativas (15 cuartillas).

5. Divertimentos. Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).

6. Noticias breves. Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).

7. Los laureles de olivo. Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas).

En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

Normas

Las colaboraciones a las secciones 1 a 4 deberán ajustarse a las siguientes normas:

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español en inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA)...
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla

posible.

5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto la publicación del placebo se asevera que “el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma” (Núñez, 1982, p.126).

6. Las referencias (no más de 10) se marcarán de acuerdo al siguiente ejemplo: Sin embargo, ese no es el punto de vista de la Escuela de Copenhague (Heisenberg, 1958), que insiste en...

7. Al final del artículo se citarán las referencias por orden alfabético de autores. Pueden añadirse lecturas recomendadas (no más de 5).

8. Cada referencia a un artículo debe justarse al siguiente formato: Szabadváry, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, J. Chem. Educ, 41 [2], pp.105 -107, 1964.

9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science, Harper Torchbook, Nueva York, pp.44-58, 1958.

10. Para páginas electrónicas: dirección (fecha de acceso).

11. Los títulos de reportes, memorias, etcétera, deben ir subrayados o en itálicas.

Envío y características del artículo

El envío del artículo deberá ser en archivo electrónico, en Word, tipo de letra Time New Roman, tamaño 12 con interlineado sencillo y uso de editor de ecuaciones.

En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado. El material es recibido en:

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.

UAM – Iztapalapa, T-174,

Información: cts@xanum.uam.mx, tel. 5804-4634

Av. San Rafael Atlixco, 186, C. P. 09340,

CDMX. A.P. 55-534

Arbitraje

El Comité utiliza un sistema de arbitraje anónimo que requiere un mes. Se entiende que los autores no han enviado su artículo a otra revista y que dispondrán de un plazo máximo de un mes para incorporar las observaciones de los árbitros.

La decisión final de publicar un artículo es responsabilidad exclusiva del Comité Editorial.



**Análisis técnico
geoestadístico de los ríos
Atoyac y Alseseca
que atraviesan la ciudad de
Puebla, México**

**Dr. Rogelio Ramos Aguilar
M.I. Patricia Máximo Romero
Dr. Víctor Galindo López
M.I. Máximo Ávila Cruz
M.S. Gabriela Yáñez Pérez
Dr. Rubén Márquez Máximo
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**M.C. Victoriano Covarrubias Salvatori
Consejo de Ciencia y Tecnología
del Estado de Puebla**

Resumen

El análisis técnico se basa en los estudios geomorfológicos, hidrológicos y geoestadísticos para los ríos Atoyac y Alseseca que atraviesan la ciudad de Puebla, México. Estos dos ríos son de riesgo para la población de las colonias que se encuentran en las márgenes de los cauces ya que principalmente durante los meses de lluvia (mayo a noviembre) se presentan inundaciones en la zona.

El objetivo es contar con datos geoestadísticos para modelar y simular el comportamiento de los ríos que sirvan para crear cartografía de riesgos hidrológicos estadísticos.

En la investigación se utilizó software especializado en topografía y programas geoespaciales aplicados a la geodesia.

Se realizaron visitas de campo con el objetivo de identificar físicamente las zonas de riesgo, además se realizaron análisis de imágenes satelitales y datos geoestadísticos para obtener los resultados. El estudio se enfocó al cálculo de la aceleración gravitatoria, la pendiente por distancia-elevación, la altura-gravedad, la fuerza de un líquido y el gasto de los ríos mencionados.

Este análisis permitió concluir que se ponen en riesgo cerca de 500 mil personas que habitan en zonas cercanas al cauce de los ríos que cruzan la ciudad de Puebla, para el río Atoyac de 85.96001 km y para el río Alseseca de 31.49824 km, no lineales en ambos casos.

Palabras clave

Geoestadístico, gasto, gravedad, fuerza, pendiente.

Abstract

The technical analysis is based on geomorphological, hydrological and geostatistical studies for the Atoyac and Alseseca rivers that cross the city of Puebla, Mexico. These two rivers are of risk for the population of the colonies that are in the margins of the channels since mainly during the rainy months (May to November) there are floods in the area.

The objective is to have geostatistical data to model and simulate the behavior of rivers that serve to create statistical hydrological risk cartography.

The research used specialized software in topography and geospatial programs applied to geodesy.

Field visits were carried out with the aim of physically identifying the risk areas, in addition, satellite image analysis and geostatistical data were performed to obtain the results. The study focused on the calculation of the gravitational acceleration, the slope by distance-elevation, the height-gravity, the force of a liquid and the flow of the mentioned rivers.

This analysis allowed to conclude that about 500 thousand people who live in areas near the riverbed that cross the city of Puebla are put at risk, for the Atoyac river of 85.96001 km and for the Alseseca river of 31.49824 km, non-linear in both cases.

Key words

Geostatistical, expense, gravity, force, slope.

Introducción

El estudio realizado permite contar con

datos sobre modelos geoestadísticos de los ríos Atoyac y Alseseca para comprender su comportamiento dinámico durante la temporada de lluvias entre los meses de mayo a noviembre de cada año en la ciudad de Puebla. Estos dos ríos ponen en riesgo a la población de las colonias que se encuentran cerca de sus cauces y que han generado escenarios de desastre por inundación.

Los ríos Atoyac y Alseca constituyen un recurso vital, vulnerable y finito con valor económico, social y ambiental cuyo deterioro en las últimas décadas está asociado a una expansión demográfica sostenida y a un proceso irreversible de urbanización e industrialización en la zona (ver figura 1).

El río Atoyac se forma en la Sierra Nevada, en el estado de Puebla; penetra en el territorio del estado de Tlaxcala, de donde regresa al territorio poblano para regar el extenso valle de Puebla-Tlaxcala. En el sur del municipio de Puebla es embalsado en la presa Manuel Ávila Camacho, conocida también como presa de Valsequillo, el río sigue su curso hacia el suroeste, atravesando los valles de Atlixco y Matamoros; estos valles constituyen la zona más poblada del estado de Puebla, y concentran buena parte de la actividad agrícola e industrial del estado.

El río Alseseca se ubica en el municipio de Puebla, pertenece a las subcuencas Río Alseseca y Presa Manuel Ávila Camacho de la cuenca Alto Atoyac ubicadas en la región hidrológica no.18 Balsas, el cauce inicia en las faldas de la Malinche.



Figura 1. Cauce del río Atoyac (izquierda) y Alseseca (derecha) que cruzan diversas zonas de la ciudad de Puebla.

Objetivo

El objetivo es poder contar con datos geoestadísticos para poder modelar y simular el comportamiento de los ríos y así contribuir a la creación de una cartografía de riesgos hidrológicos estadísticos.

Materiales y métodos

Para corroborar la información de que las imágenes satelitales utilizadas (Landsat/Copernicus) proporcionaron al ser procesadas, se utilizaron los software de acceso libre MultiSpec y LEOWorks, además se realizaron visitas de campo a la zona de estudio. El estudio y análisis geoestadístico consistió en relacionar la altitud con respecto a la aceleración de la gravedad de los ríos a cada 500 metros, para obtener datos puntuales de la aceleración de la gravedad, la pendiente por distancia-elevación, la altura-gravedad, la fuerza de un líquido y el gasto de los ríos mencionados.

La metodología consistió en dividir la totalidad del cauce del río Atoyac y el río Alseseca en secciones similares que se analizaron de forma simultánea con herramientas satelitales y visitas campo.

Se utilizó el programa Google Earth de acceso libre para la obtención de una línea de puntos de ambos ríos, posteriormente se importaron los puntos con los

software AutoCAD, Civil3D y ArcGIS para su procesamiento, véase figura 2.

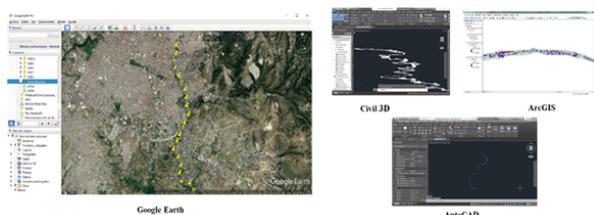


Figura 2. Obtención y procesamiento de datos con sistemas de información geográfica (SIG).

Para el análisis se utilizaron los programas Traninv del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) para la conversión de coordenadas UTM a geográficas, el Surfer para el análisis de variables estadísticas y un programa de hoja de cálculo. Se obtuvieron datos hidrológicos de la aplicación geoespacial SIATL y del modelo normal matemático del gasto para calcular el gasto.

Cálculo de la pendiente

La pendiente es la inclinación que hay de la superficie con respecto al suelo. Para calcular la pendiente media del río Atoyac, se seccionó en cuatro partes, la primera sección inicia en el municipio de Santa Rita Tlahuapan hasta la autopista Arco Norte antes de la confluencia con el río Xochiac, la segunda sección con inicio Arco Norte atravesando Santa María Moyotzingo y Santa Ana Xalmimilulco hasta San Miguel Xoxtla, la tercera sección con inicio en San Miguel Xoxtla hasta la Colonia Santa Cruz Buenavista Sur y la última sección con inicio en la Colonia Santa Cruz Buenavista Sur hasta la Presa Manuel Ávila Camacho.

Para calcular la pendiente media del río Alseseca, se seccionó en tres partes,

la primera sección inicia en el municipio de Amozoc hasta Periférico Ecológico, la segunda sección con inicio en el Periférico Ecológico atravesando gran parte de la ciudad de Puebla hasta la colonia Guadalupe y la tercera sección con inicio en la colonia Guadalupe hasta la Presa Manuel Ávila Camacho.

En cada sección se realizaron lecturas a cada 500 metros a lo largo del cauce y con ayuda de las curvas de nivel existentes en la zona, las cuales fueron descargadas de INEGI, se obtuvieron las elevaciones para posteriormente utilizar la siguiente fórmula:

$$Pendiente = \frac{\text{Diferencia de alturas(elevación)}}{\text{Distancia horizontal}}$$

Como ejemplo del cálculo de la pendiente en las secciones estudiadas, la tabla 1 muestra los datos registrados y calculados en cada vértice de la segunda sección del Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe, con pendiente promedio de -0.008.

Cálculo aceleración de la gravedad

La aceleración de la gravedad local puede calcularse de acuerdo con la ecuación recomendada por la Organización Internacional de Metrología Legal en el boletín OIML 127 (Thulin,A.1992) con una exactitud del 0.01 %

Esta ecuación utiliza los coeficientes adoptados por la Asociación Internacional de geodesia (AIG) en el GRS80 (Geodetic Reference System of 1980), dichos coeficientes representan el tamaño, forma y campos gravitacionales de la Tierra, (MetAS, 2002).

$$gl = g_e * (1 + f' \text{sen}^2 \varphi - f_4 \text{sen}^2 2\varphi) - (3.086 * 10^{-6} * h) \quad (1)$$

Tabla 1. Cálculo de la pendiente del Río Alseseca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe, con pendiente promedio de -0.008.

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación (m)	Distancia (m)	Pendiente
1	592186.151	2105037.300	2211	0	0
2	591767.754	2105209.734	2209	500	0
3	591381.130	2104937.991	2206	500	-0.01
4	590934.760	2104809.126	2198	500	-0.02
5	590450.558	2104818.625	2190	500	-0.02
6	589989.848	2104933.462	2191	500	0.00
7	589588.365	2105171.616	2189	500	0.00
8	589181.506	2105411.083	2184	500	-0.01
9	588706.407	2105529.173	2180	500	-0.01
10	588230.683	2105628.848	2178	500	0.00
11	587791.295	2105500.743	2171	500	-0.01
12	587348.985	2105309.182	2165	500	-0.01
13	587180.477	2104907.502	2159	500	-0.01
14	586793.384	2104717.461	2150	500	-0.02
15	586375.291	2104527.988	2152	500	0.00
16	586113.976	2104250.226	2147	500	-0.01
17	585882.467	2103817.599	2146	500	0.00
18	585690.120	2103388.717	2145	500	0.00
19	585537.061	2103095.734	2137	500	-0.02
20	585413.963	2102887.848	2132	500	-0.01
PENDIENTE PROMEDIO					-0.008

Donde:

gl = Aceleración de la gravedad local (m/s^2).

g_e = $9.7803185 m/s^2$, aceleración de la gravedad en el ecuador ($\varphi = 0$).

f' = 0.0053024 (aplastamiento gravitacional).

φ = Latitud, en grados, minutos, segundos ($00^{\circ}00'00''$).

h = Altitud sobre el nivel medio del mar (m).

f_4 = 0.0000058 .

La latitud geográfica de cada punto se obtiene con el programa Traninv, que convierte las coordenadas UTM a geográficas aplicando el Datum ITRF92 y zona 14, ver figura 3.

En la tabla 2 se muestran los resultados del cálculo de la gravedad local en los vértices de la segunda sección denominada

Coordenadas geográficas	Latitud	Longitud	Datum
Notación decimal	18.990119	-96.137382	ITRF92
	18.989422	-96.137141	NAD27
Notación sexagesimal	18°59'24.42677" N	96°08'14.57666" W	ITRF92
	18°59'21.82007" N	96°08'13.70739" W	NAD27
Proyecciones	X	Y	Datum
Cónica Conforme de Lambert	2905722.230791	762670.533521	ITRF92
	2905718.723483	762680.541455	NAD27
Universal Transversa de Mercator (Zona 14)	590798.486600	2099906.581920	ITRF92
	590828.830000	2099793.830000	NAD27
Diferencia en las proyecciones	X	Y	
Cónica Conforme de Lambert (ITRF92 NAD27)		33.520632	119.792196
Universal Transversa de Mercator (ITRF92 NAD27)		27.141320	202.751920

Figura 3. Ejemplo de transformación de coordenadas UTM a geográficas mediante el programa Traninv.

Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe del río Alseseca, La gravedad promedio es 9.7791278275 .

Análisis geoestadístico

El análisis se realizó mediante la comparación entre la elevación de cada vértice y su gravedad, aplicando variables estadísticas para obtener los coeficientes de correlación,

Tabla 2. Cálculo de la gravedad local del Río Alseseca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe.

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación (m)	Latitud	Decimal	Sen ²	2sen ²	Gravedad
1	592186.151	2105037.300	2211	19° 2'9.48"	19.03596667	0.106381407	0.044589060	9.7790091749
2	591767.754	2105209.734	2209	19° 2'15.14"	19.03753889	0.106398329	0.044603032	9.7790162236
3	591381.130	2104937.991	2206	19° 2'6.36"	19.0351	0.106372080	0.044581360	9.7790241216
4	590934.760	2104809.126	2198	19° 2'2.27"	19.03396389	0.106359853	0.044571267	9.7790481761
5	590450.558	2104818.625	2190	19° 2'2.64"	19.03406667	0.106360959	0.044572180	9.7790729214
6	589989.848	2104933.462	2191	19° 2'6.45"	19.035125	0.106372349	0.044581582	9.7790704255
7	589588.365	2105171.616	2189	19° 2'14.26"	19.03729444	0.106395698	0.044600859	9.7790778073
8	589181.506	2105411.083	2184	19° 2'22.13"	19.03948056	0.106419228	0.044620291	9.7790944565
9	588706.407	2105529.173	2180	19° 2'26.04"	19.04056667	0.106430920	0.044629947	9.7791074062
10	588230.683	2105628.848	2178	19° 2'29.34"	19.04148333	0.106440788	0.044638098	9.7791140895
11	587791.295	2105500.743	2171	19° 2'25.24"	19.04034444	0.106428528	0.044627971	9.7791350563
12	587348.985	2105309.182	2165	19° 2'19.09"	19.03863611	0.106410139	0.044612784	9.7791526195
13	587180.477	2104907.502	2159	19° 2'6.04"	19.03501111	0.106371123	0.044580570	9.7791691140
14	586793.384	2104717.461	2150	19° 1'59.92"	19.03331111	0.106352828	0.044565468	9.7791959401
15	586375.291	2104527.988	2152	19° 1'53.80"	19.03161111	0.106334534	0.044550370	9.7791888203
16	586113.976	2104250.226	2147	19° 1'44.83"	19.02911944	0.106307724	0.044528248	9.7792028612
17	585882.467	2103817.599	2146	19° 1'30.78"	19.02521667	0.106265737	0.044493612	9.7792037717
18	585690.120	2103388.717	2145	19° 1'16.85"	19.02134722	0.106224115	0.044459290	9.7792047012
19	585537.061	2103095.734	2137	19° 1'7.34"	19.01870556	0.106195704	0.044435870	9.7792279172
20	585413.963	2102887.848	2132	19° 0'51.82"	19.01439444	0.106149346	0.044397667	9.7792409452
GRAVEDAD PROMEDIO								9.7791278275

siendo necesario calcular la desviación estándar (σ) y la covarianza (S_{xy}), cuyas ecuaciones se muestran a continuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2)$$

$$S_{xy} = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{N} \quad (3)$$

El coeficiente de correlación (ρ) se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$\rho = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (4)$$

El coeficiente de correlación se interpreta mediante desigualdades en el intervalo $[-1, +1]$. Donde Si $r = 1$ la correlación positiva perfecta, si $0 < r < 1$ la correlación es positiva, si $r = 0$, no existe relación lineal, si $-1 < r < 0$, la correlación es negativa y si $r = -1$, la correlación es negativa perfecta.

En la tabla 3 se muestran parte de los resultados obtenidos en cada vértice de la segunda sección denominada Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe del río Alseseca. Las elevaciones (m) se obtuvieron de imágenes satelitales de Google Earth de libre acceso, las variables estadísticas con hojas de cálculo y el programa Surfer y la gravedad local (gl) con la ecuación (2). El coeficiente de correlación promedio es -0.9442725767 , es decir, las variables aumentan negativamente casi en la misma proporción.

En la tabla 4 se resumen los promedios de las variables analizadas en todas las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

También se calcularon los promedios generales de las variables analizadas en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca. Los resultados se muestran en la tabla 5.

La pendiente promedio en el río Atoyac es 0.037% , menor a la del río Alseseca. Lo mismo se observa con los resultados de la gravedad, en el río Alseseca 9.779152218 y en el Atoyac 9.7791047927 . El promedio de los coeficientes de correlación es -0.9442725767 , valor aproximadamente igual a -1 , lo que significa que la correlación es negativa, casi perfecta.

Discusión

El análisis geoestadístico de las variables se realizó con el programa Surfer, los resultados se compararon con los obtenidos en las hojas de cálculo. En la tabla 6 se muestran parte de los resultados obtenidos con el software Surfer.

El variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida. En las figuras 4 y 5 se muestran los variogramas de la altura con respecto a la gravedad local calculada de ambos ríos.

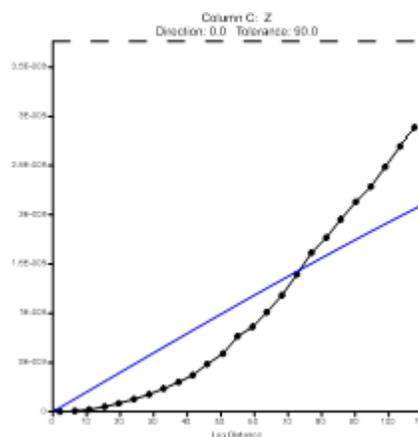


Figura 4. Variograma del Río Atoyac.

Tabla 3. Cálculo geostatístico del Río Alesesca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe.

Vértice	Elevación (m)	$X_1 - \bar{X}$	$(X_1 - \bar{X})^2$	Gravedad	$Y_1 - \bar{Y}$	$(Y_1 - \bar{Y})^2$	Covarianza
1	2211	36.5	1332.2500	9.7790091749	-0.0001186526	0.0000000140784416512	-0.0043308202
2	2209	34.5	1190.2500	9.7790162236	-0.0001116039	0.0000000124554201309	-0.0038503329
3	2206	31.5	992.2500	9.7790241216	-0.0001037059	0.0000000107549101252	-0.0032667353
4	2198	23.5	552.2500	9.7790481761	-0.0000796514	0.0000000063443418232	-0.0018718074
5	2190	15.5	240.2500	9.7790729214	-0.0000549061	0.0000000030146764516	-0.0008510441
6	2191	16.5	272.2500	9.7790704255	-0.0000574019	0.0000000032949829988	-0.0009471321
7	2189	14.5	210.2500	9.7790778073	-0.0000500202	0.0000000025020177014	-0.0007252925
8	2184	9.5	90.2500	9.7790944565	-0.0000333710	0.0000000011136230634	-0.0003170244
9	2180	5.5	30.2500	9.7791074062	-0.0000204212	0.0000000004170266084	-0.0001123168
10	2178	3.5	12.2500	9.7791140895	-0.0000137379	0.0000000001887312610	-0.0000480828
11	2171	-3.5	12.2500	9.7791350563	0.000072288	0.000000000522559426	-0.0000253009
12	2165	-9.5	90.2500	9.7791526195	0.0000247921	0.0000000006146458818	-0.0002355245
13	2159	-15.5	240.2500	9.7791691140	0.0000412866	0.0000000017045793543	-0.00006399416
14	2150	-24.5	600.2500	9.7791959401	0.0000681126	0.0000000046393330496	-0.0016687599
15	2152	-22.5	506.2500	9.7791888203	0.0000609928	0.0000000037201240133	-0.0013723384
16	2147	-27.5	756.2500	9.7792028612	0.0000750337	0.0000000056300601820	-0.0020634275
17	2146	-28.5	812.2500	9.7792037717	0.0000759443	0.000000005765300704	-0.0021644113
18	2145	-29.5	870.2500	9.7792047012	0.0000768737	0.0000000059095717939	-0.0022677753
19	2137	-37.5	1406.2500	9.7792279172	0.0001000897	0.0000000100179480870	-0.0037533638
20	2132	-42.5	1806.2500	9.7792409452	0.0001131178	0.0000000127956262309	-0.0048075045
	2174.5000		632.7895	9.7791278275		0.00000000552714981	-0.0017659468

Desviación estándar 0.0000743448035280839

Desviación estándar 25.1553

Coeficiente de correlación -0.9442725767

Coeficiente de variación 0.000007602396

Tabla 4. Resumen de promedios de pendiente, gravedad y coeficiente de correlación.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Pendiente	Gravedad promedio	Coefficiente de correlación
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	-0.007	9.7788921786	-0.97705474223
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla,	-0.002	9.7791044265	-0.969848771
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	-0.007	9.7792332005	-0.976069628
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	-0.00182.	9.7793790695	-0.966960695
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	-0.009	9.7788402874	-0.9545263240
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	-0.008	9.7791278275	-0.9442725767
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	-0.0071	9.7793462631	-0.9533591215

Tabla 5. Promedio de las variables pendiente, gravedad y coeficiente de correlación.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Pendiente %	Gravedad promedio m/s^2	Coefficiente de correlación			
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	0.037	9.779152218	-0.972483459			
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla						
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista						
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho						
5	22	Alsesea	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico				0.803	9.7791047927	-0.950719341
6	20	Alsesea	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe						
7	22	Alsesea	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho						

Tabla 6 Análisis de variables estadísticas entre la altura y la gravedad del Río Alseseca, primera sección Amozoc- Periférico Ecológico.

	X	Y	Z
Minimum:	2216	9.778681108624	9.778681108624
25%-tile:	2235	9.7787660317354	9.7787660317354
Median:	2254.5	9.7788569617602	9.7788569617602
75%-tile:	2280	9.778913929379	9.778913929379
Maximum:	2312	9.778974818107	9.778974818107
Midrange:	2264	9.7788279633655	9.7788279633655
Range:	96	0.00029370948300134	0.00029370948300134
Interquartile Range:	45	0.00014789764360046	0.00014789764360046
Median Abs. Deviation:	23.5	7.1899775299755E-005	7.1899775299755E-005
Mean:	2260.2272727273	9.7788402873596	9.7788402873596
Trim Mean (10%):	2257.1052631579	9.7788349539119	9.7788349539119
Standard Deviation:	31.527662559941	9.6265677387909E-005	9.6265677387909E-005
Variance:	993.99350649351	9.2670806429529E-009	9.2670806429529E-009
Coef. of Variation:			9.8442836327273E-006
Coef. of Skewness:			-0.35160985542933

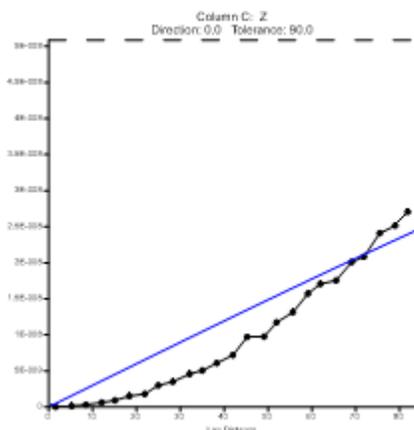


Figura 5. Variograma del Río Alseseca.

del río Alseseca denominada Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe, donde se observa que la fuerza promedio es 97.7913391148.

En la tabla 8 se resumen los promedios de la fuerza del agua calculada en todas las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

También se calcularon los promedios generales de las variables analizadas en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca. Los resultados se muestran en la tabla 9.

Cálculo de la fuerza del agua

Se denomina fuerza del agua a la cantidad de empuje que ejerce este líquido en dirección de la pendiente (Ramos et al., 2011); para calcular la fuerza del agua se utilizó la siguiente fórmula:

$$f = (\rho * \cos m) * gl \quad (5)$$

Donde:

ρ = densidad del agua $1000kg/m^3$

m = pendiente

gl = gravedad local

La tabla 7 es un ejemplo del cálculo de la fuerza del agua en la segunda sección

La relación entre la pendiente y la fuerza del agua en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca, muestra que cuanto menor es la pendiente, la fuerza del agua es menor. Si la pendiente es mayor, la fuerza del agua también lo es.

Tabla 7 Cálculo fuerza del agua del Río Alseseca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe.
El punto de referencia de inicio entre pendientes es el vértice 1, por lo que no existe valor alguno.

Vértice	Elevación (m)	Pendiente	Gravedad	Densidad	cos (pendiente)	Fuerzas
1	2211					
2	2209	0	9.7790162236	1000	1	97.790162
3	2206	-0.01	9.7790241216	1000	0.999999995	97.790241
4	2198	-0.02	9.7790481761	1000	0.999999961	97.790478
5	2190	-0.02	9.7790729214	1000	0.999999961	97.790725
6	2191	0.00	9.7790704255	1000	0.999999999	97.790704
7	2189	0.00	9.7790778073	1000	0.999999998	97.790778
8	2184	-0.01	9.7790944565	1000	0.999999985	97.790943
9	2180	-0.01	9.7791074062	1000	0.999999990	97.791073
10	2178	0.00	9.7791140895	1000	1	97.791141
11	2171	-0.01	9.7791350563	1000	0.999999970	97.791348
12	2165	-0.01	9.7791526195	1000	0.999999978	97.791524
13	2159	-0.01	9.7791691140	1000	0.999999978	97.791689
14	2150	-0.02	9.7791959401	1000	0.999999951	97.791955
15	2152	0.00	9.7791888203	1000	0.999999998	97.791888
16	2147	-0.01	9.7792028612	1000	0.999999985	97.792027
17	2146	0.00	9.7792037717	1000	1	97.792038
18	2145	0.00	9.7792047012	1000	1	97.792047
19	2137	-0.02	9.7792279172	1000	0.999999961	97.792275
20	2132	-0.01	9.7792409452	1000	0.999999985	97.792408
					FUERZA PROMEDIO	97.7913391148

Tabla 8 Resumen de promedios de la fuerza del agua.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Fuerza promedio del agua
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	97.7839040320
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla	97.7910557789
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	97.7923510084
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	97.7935296800
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	97.7884766361
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	97.7913391148
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	97.7935278295

Tabla 9. Promedio de las variables pendiente, gravedad y coeficiente de correlación.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Pendiente %	Fuerza promedio del agua
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	0.003705	97.7902101248
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla		
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista		
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho		
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	0.008030	97.7911145268
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe		
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho		

Cálculo del gasto o caudal

El gasto de los ríos se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (7)$$

Q = gasto en metros cúbicos por segundo

I = intensidad de la lluvia en milímetros por hora

A = es la superficie de la cuenca en metros cuadrados

C = es el coeficiente de escorrentía sin dimensiones

Los datos de la intensidad de la lluvia, la superficie de la cuenca y el coeficiente de escorrentía se obtuvieron con ayuda del simulador de flujos de agua SIATL para ambos ríos, en la tabla 10 se muestran los cálculos del gasto de cada sección de los ríos Atoyac y Alseseca.

En la tabla 11 se muestra el gasto general en el río Atoyac que es de $1116.2323 \text{ m}^3/\text{s}$ y en el río Alseseca de $8839.9653 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 10. Variables para calcular el gasto en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Intensidad de lluvia mm/h	Área de subcuenca m ²	Coefficiente	Longitud Cause m	Gasto m ³ /s
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	215	20281	0.2	21240	2422.4528
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla	180	20281	0.2	21240	2028.1
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	222	3148.054	0.003	21400	5.8239
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	4.05	1900.55	0.4	22080.0068	8.5525
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	48.40	202810	0.3	10568.33	8180.0033
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	57.50	202228	0.3	10376.45	9690.0917
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	46.98	220940	0.3	10553.46	8649.801

Tabla 11. Gasto general en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Gasto m ³ /s
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	1116.2323
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla	
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	8839.9653
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	

Conclusiones

Este trabajo presenta los resultados obtenidos del procesamiento de datos para el cálculo de pendiente, gravedad local y análisis geoestadístico.

Los estudios del cálculo permitieron obtener los siguientes resultados, para el río Atoyac 0.003705% de pendiente promedio y teniendo una gravedad de 9.7791522188, mientras que el río Alseseca tiene un valor de 0.008030% y una gravedad de 9.7791047930 m/s^2 , lo que determina que el río Atoyac tiene una menor fuerza del flujo de agua con 97.79011145268 N, por lo tanto, se convierte en un factor característico del tiempo de respuesta de la cuenca ante determinada precipitación.

Este estudio de Topografía Geodésica pretende contribuir con información técnica de datos geoestadísticos para el área de prevención de desastres. Cabe mencionar que los resultados deberán actualizarse al menos cada tres años; estos resultados podrían verse modificados rápidamente por el cambio climático y calentamiento global.

La aplicación del programa Surfer sirvió para obtener el análisis de las variables estadísticas entre la altura y la gravedad de cada río. Se observa que el proceso de gravedad tiende a acercarse al valor calculado a medida que su altitud disminuye.

Bibliografía

1. Alcántara García, Dante, (2014), Topografía y sus aplicaciones, Ed. Patria, primera edición, México, pp. 129-184.
2. Gravity Information System. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, (2017), Germany. Disponi-

ble en línea:

www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php

3. Hirt, C., Bucha, B., Yang, M. and Kuhn, M. (2019). A numerical study of residual terrain modelling (RTM) techniques and the harmonic correction using ultra-high-degree spectral gravity modelling. *Journal of Geodesy*, Springer, Switzerland, vol. (44), pp. 1-18.

4. M. Spiegel, "Probabilidad y Estadística", McGraw Hill, México City, 2000.

5. Ramos, R., Rivera, A. y Mayorga, R. (2005), Aplicación de Imágenes satelitales para determinar el clima y la radiación solar en el estado de Puebla y la geohidrología de su zona norte, *Ciencia Ergo Sum*, México City, vol. (10), pp. 283-284.

6. Ramos, A., Máximo, P., Narciso, J., Mirón, M. y Beltrán, M., (2012), Estudio geoestadístico para obtener la gravedad local, pendiente y cálculo hidrológico de las barrancas Xaltelulco, Tepeloncocone, Tenpanco, Colorada y Quimichule del volcán Popocatepetl, *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Colombia, vol. (31), pp. 65-84, 2012.

7. Ramos, R., Máximo, P., Soto, S., Alcántara, S. y Pérez, J., (2013), Analysis of the Meteorological Variables for Puebla City 2011-2012 Applying the Modeling Ion-Wavelets in a Hypothetical Manner, *Journal Atmospheric and Climate Sciences*, China, vol. (3) pp. 450-458.

8. MetAS. (mayo de 2002). MetAs & Metrologós. Obtenido de <http://www.metas.com.mx/guiamet/ La-Guia-MetAs-02-05-gl.pdf>.

9. SIATL. (agosto de 2010). Institutito

Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de

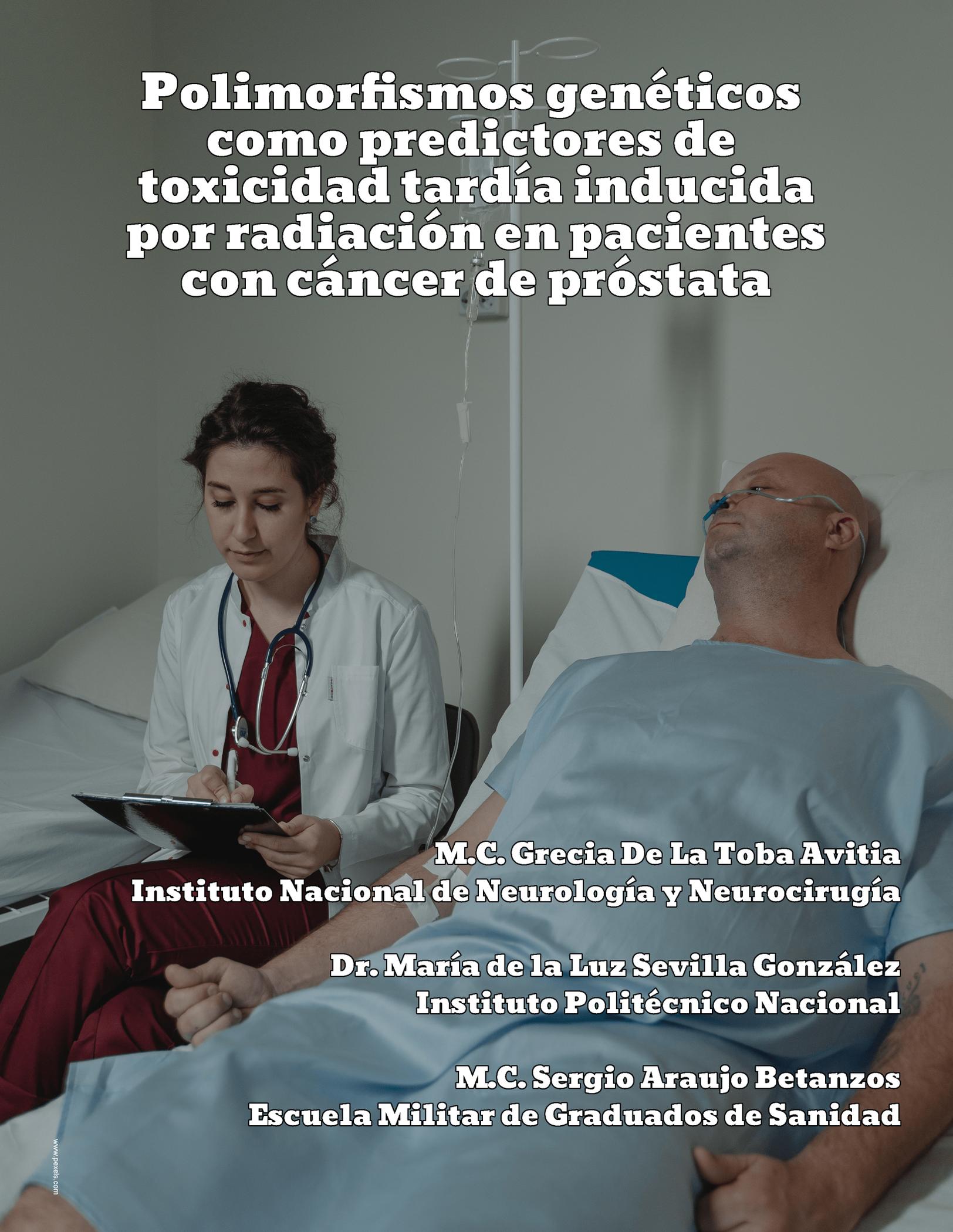
http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl.

10. INEGI. (s. f.). Cálculo de gasto o caudal. Recuperado 28 de mayo de 2020, de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/CalculoGasto.pdf.

11. Comisión Nacional del Agua. Terminología, 2016. Disponible en línea: <https://app.conagua.gob.mx/spr/glosario.html>.

Se agradece la participación de Dania Aguilar Hernández, Alma Denise Gómez Romero, Paulina Hernández González, María Areadna Jiménez Gutiérrez, Mayte López Montes, Mariana Martínez Reyes, Jordán Romero Merino Miguel, Alejandro Montes de León, Ana Grisel Nicolás Alfonso, Ricardo Palacios González, Liliana Jazmín Solís Vega y Dulce Tamayo de León; estudiantes y becarios de la Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica, que fueron un apoyo importante en este trabajo.

Polimorfismos genéticos como predictores de toxicidad tardía inducida por radiación en pacientes con cáncer de próstata



**M.C. Grecia De La Toba Avitia
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía**

**Dr. María de la Luz Sevilla González
Instituto Politécnico Nacional**

**M.C. Sergio Araujo Betanzos
Escuela Militar de Graduados de Sanidad**

Fundamento y propósito

Los polimorfismos genéticos son variaciones genéticas encontradas en los individuos, es decir, sus diferencias fenotípicas y/o susceptibilidades a ciertas enfermedades, son del 0.1% de variación, mientras que el 99.9% de la secuencia del ADN de dos individuos diferentes es la misma.

La mayoría de los SNP's (polimorfismo genético de un solo nucleótido) tienen dos alelos los cuales están representados por una sustitución de una base por otra, se clasifican en alelo principal o "silvestre" y alelo raro o mutante. Cómo los humanos son diploides, un individuo puede tener uno de tres genotipos: homocigoto para el alelo más frecuente, heterocigoto, u homocigoto para el alelo menos frecuente.

El estudio de estas variaciones tiene diversas aplicaciones en el campo de la medicina y la biotecnología.

El objetivo es dar a conocer algunos de los principales polimorfismos con mayor significancia estadística que han sido estudiados y publicados en artículos de alto impacto en la última década a nivel mundial, relacionados con toxicidad vía genitourinaria y rectal en pacientes con cáncer de próstata tratados con radioterapia.

Métodos

Se realizó una búsqueda exhaustiva vía electrónica, en diversas fuentes como, The Cochrane Library, MEDLINE, EMBASE y Pubmed, de los artículos más relevantes sobre polimorfismos genéticos asociados a toxicidad por radioterapia.

Conclusiones

En la última década se ha logrado un

progreso en la investigación radiogenómica hacia la creación de predictores genéticos a la susceptibilidad de los pacientes con cáncer de próstata y desarrollo de efectos adversos o toxicidad del tratamiento con radioterapia, que resultan en un impacto deletéreo en la calidad de vida de los pacientes.

Se espera que este conocimiento ayude en el desarrollo de perfiles genéticos para predecir el riesgo de desarrollar la enfermedad y así prevenir o disminuir estas lesiones inducidas por radiación.

Con lo que mejorará sustancialmente la capacidad de seleccionar un tratamiento óptimo de radioterapia para pacientes con cáncer, en los que esté indicado.

Actualmente en México, realizamos un ensayo prospectivo, sobre asociación entre los polimorfismos tipo SNP KDM3B rs17599026, SLC36A4 rs7120482, HSD17B2 rs11648233, IFNK/MOB3B rs17779457, con la toxicidad de vía genitourinaria y rectal post-radioterapia en pacientes con Cáncer de Próstata en una muestra de la población mexicana, el cual está próximo a publicar.

Palabras claves

Polimorfismos Genéticos, Toxicidad genitourinaria, Toxicidad Rectal, Modelos predictivos, Cáncer de Próstata, Radioterapia.

Background and purpose

Genetic polymorphisms are genetic variations found in individuals, that is, their phenotypic differences and / or susceptibilities to certain diseases are 0.1% variation, while 99.9% of the DNA sequence of two different individuals it's the same.

Most of the SNPs (single nucleotide genetic polymorphism) have two alleles which are represented by a substitution of one base for another, they are classified as main or "wild" allele and rare or mutant allele. Since humans are diploid, an individual can have one of three genotypes: homozygous for the most common allele, heterozygous, or homozygous for the least common allele.

The study of these variations has various applications in the fields of medicine and biotechnology. The objective is to reveal some of the main polymorphisms with greater statistical significance that have been studied and published in high impact articles in the last decade worldwide, related to genitourinary and rectal toxicity in patients with prostate cancer treated with radiation therapy.

Methods

An exhaustive search was carried out electronically, in various sources such as The Cochrane Library, MEDLINE, EMBASE and Pubmed, for the most relevant articles on genetic polymorphisms associated with radiotherapy toxicity.

Conclusions

In the last decade, progress has been made in radiogenomic research towards the creation of genetic predictors of the susceptibility of patients with prostate cancer and the development of adverse effects or toxicity of radiotherapy treatment, resulting in a deleterious impact on the quality of life of patients.

This knowledge is expected to aid in the development of genetic profiles to predict the risk of developing the disease and thus prevent or reduce these radiation-induced injuries. This will substantially

improve the ability to select an optimal radiotherapy treatment for cancer patients, in which it is indicated.

Currently in Mexico, we are conducting a prospective trial on the association between the SNP type polymorphisms KDM3B rs17599026, SLC36A4 rs7120482, HSD17B2 rs11648233, IFNK / MOB3B rs17779457, with genitourinary and rectal pathway toxicity in patients with post-radiotherapy Prostate Cancer in a sample of Prostate Cancer of the Mexican population, which is about to be published.

Keywords

Genetic Polymorphisms, Genitourinary Toxicity, Rectal Toxicity, Predictive Models, Prostate Cancer, Radiotherapy.

INTRODUCCIÓN

El cáncer de próstata es el tumor más frecuente en hombres, GLOBOCAN 2018 reportó en México el 13.1% de todos los tumores con 25 049 nuevos casos, de este tumor.¹

Las tasas de cáncer de próstata varían según la raza, el origen étnico y la geografía, esto puede explicarse por la variación en el acceso a la detección y el tratamiento, la variación en la exposición a los factores de riesgo tumoral y la variación en la biología subyacente de la carcinogénesis, los hombres afrodescendientes tienen tasas más altas de cáncer de próstata y peor pronóstico.

La proporción de cáncer de próstata que puede explicarse por exposiciones ambientales es pequeña y el impacto de estos factores en diferentes poblaciones raciales, étnicas o geográficas es poco conocido.

En contraste, el cáncer de próstata es altamente heredable, se han identificado numerosos marcadores de susceptibilidad genética, estudios de asociación de genes candidatos y estudios de asociación de todo el genoma.

El tratamiento del cáncer de próstata puede incluir: un manejo quirúrgico, como la prostatectomía radical, la cuál es apropiada para pacientes con enfermedad localizada en la próstata. Sin embargo, debido a la posible morbilidad perioperatoria, la prostatectomía radical debe reservarse para pacientes cuya esperanza de vida sea de 10 años o más.

La prostatectomía radical es una opción de rescate para los pacientes que experimentan recurrencia bioquímica después de la Radioterapia primaria, pero la morbilidad (incontinencia, disfunción eréctil y contractura del cuello de la vejiga) sigue siendo significativamente mayor que cuando se usa la prostatectomía radical como terapia inicial.

La radioterapia (RT) es una de las principales opciones de tratamiento para el cáncer de próstata clínicamente localizado, aunque también ha demostrado eficacia en pacientes de alto y muy alto riesgo.

Durante las últimas décadas, las técnicas de radioterapia han evolucionado para permitir la administración segura de dosis más altas de radiación, existen varias, pero las más frecuentes para tratar cáncer de próstata son: la técnica tridimensional (3D) (3D-TRC) utiliza un software informático para integrar imágenes de TC (tomografía) de la anatomía interna del paciente en la posición de tratamiento, suministra haces de radiación desde diferentes direcciones

que han sido diseñados para igualar la forma del tumor. Esto ayuda a limitar el daño ocasionado por la radiación en los tejidos sanos y eliminar mejor el cáncer al enfocar la dosis de radiación hacia la forma y el tamaño exactos del tumor.

La técnica de intensidad modulada (IMRT), es una modalidad avanzada de radioterapia de alta precisión que usa aceleradores lineales de rayos x controlados por computadora para administrar dosis de radiación precisas a un tumor maligno o áreas específicas dentro del tumor. La IMRT permite que la dosis de radiación se conforme con mayor precisión a la forma tridimensional (3-D) del tumor mediante la modulación (o el control) de la intensidad del haz de radiación en varios volúmenes pequeños, se ha utilizado cada vez más en la práctica, ya que se ha demostrado que reduce el riesgo de toxicidades gastrointestinales y las tasas de terapia de rescate en comparación con 3D- CRT en algunos ensayos, pero no en todos los estudios retrospectivos, aunque el costo del tratamiento aumenta.

La localización diaria de la próstata mediante RT guiada por imágenes (IGRT) es esencial con 3D-CRT o IMRT para la reducción del margen objetivo y la precisión del tratamiento.

La RT corporal estereotáxica (SBRT, por sus siglas en inglés) es una técnica que administra radiación de dosis alta y altamente conformada en 5 o menos fracciones de tratamiento, que son seguras de administrar solo con una administración precisa guiada por imágenes.

La radioterapia con haz de protones utiliza haces de protones en lugar de fotones o electrones. Los protones son partes

de los átomos que causan poco daño a los tejidos que atraviesan, pero que son muy efectivos en eliminar a las células que se encuentran al final de su trayectoria. Esto significa que la radiación con rayos de protones es capaz de suministrar más radiación al tumor, a la vez que reduce los efectos secundarios en los tejidos normales.

La braquiterapia es una forma de tratamiento radioterapéutico donde isótopos radioactivos se colocan dentro o cerca de la zona a tratar, como único tratamiento es una opción para los pacientes con cáncer de próstata, en enfermedades localizadas, de riesgo muy bajo, bajo o intermedio favorable, según la esperanza de vida.

La braquiterapia se puede agregar posterior a la RT más ADT (terapia de deprivación androgénica) en hombres con cáncer de próstata de riesgo intermedio, alto o muy alto desfavorable que están siendo tratados con intención curativa.

La adición de ADT es de 6 meses en pacientes de riesgo intermedio y de 2 o 3 años en pacientes con riesgo alto de recurrencia.

La toxicidad como efecto adverso del tejido normal después de la radioterapia es común afectando significativamente la calidad de vida. Estos efectos no pueden explicarse únicamente por factores dosis-métricos de tratamiento, la evidencia sugiere que las variantes genéticas están asociadas con estos efectos.²

Los efectos adversos presentados por pacientes tratados con RT para tumores pélvicos como el cervical, de próstata y colorrectal, incluyen efectos genitourinarios, gastrointestinales, rectales y sobre la

función sexual.

Los efectos agudos se consideran durante el tratamiento con RT y hasta 90 días, posterior a este tiempo son efectos crónicos.

En el cáncer de próstata la toxicidad tardía mas común en síntomas urinarios son incontinencia urinaria, disuria y nicturia, síntomas rectales como dolor, diarrea, sangrado e inclusive hemorragias, y la disfunción sexual.

La patogenia subyacente a estos efectos tisulares incluye fibrosis, atrofia, daño neural, vascular y disrupción endocrina.

Variaciones Genéticas

El ácido desoxirribonucleico (ADN) de nuestras células contiene largas cadenas basadas en 4 bases o nucleótidos (adenina, timina, citosina y guanina que se abrevian como A, T, C y G, respectivamente). Más de 6 millones de estas bases se localizan en los 23 pares de cromosomas que existen en las células humanas.

Estas secuencias genéticas contienen la información que influyen en los rasgos físicos de las personas, en la probabilidad de sufrir determinadas enfermedades y en la respuesta de nuestro organismo frente a sustancias que se encuentran en el ambiente. Las diferencias en bases individuales son el tipo de variación genética más común (por ejemplo el cambio de la base A por la T); estas diferencias genéticas se conocen como polimorfismo de un solo nucleótido (SNP).³

Estos SNPs pueden estar asociados con la patogenesis de la enfermedad.

Hay varios tipos de SNPs, inserciones, deleciones, cambios en el número de secuencias repetidas pero los más frecuentes son los polimorfismos de un solo nucleótido.⁴ La mayoría de los polimorfismos son silentes (sin cambios funcionales), otros producen alguna alteración genética o alteración en la función del gen.⁴ Un SNP se caracteriza porque diferentes individuos presentan distintos nucleótidos o variantes en una posición concreta del genoma, que se denomina locus.

La gran mayoría de los polimorfismos de un solo nucleótido tienen dos alelos (formas alternativas de un carácter genético encontrado en un locus dado en un cromosoma) representados por una sustitución de base por otra. En las poblaciones este tipo de alelos se clasifican en alelo principal o “silvestre” y alelo raro o mutante, clasificación basada en su frecuencia observada en las poblaciones. En humanos, por ser diploides un individuo puede tener uno de tres genotipos: homocigoto para el alelo más frecuente, heterocigoto, u homocigoto para el alelo menos frecuente.

La etnia rara vez se informa en los estudios de genes candidatos, y no se tiene en cuenta la ascendencia genética, lo que lleva a la posibilidad de que los resultados contradictorios entre los estudios puedan deberse a confusión por estratificación de la población.⁵

Los modelos de probabilidad normal de complicación tisular (NTCP) tienen como objetivo estimar el riesgo de toxicidad tisular normal en función de los parámetros dosimétricos⁶, pero los modelos existentes son limitados y podrían mejorarse, por ejemplo, mediante la incorporación de factores específicos del paciente, como la

edad, el sexo, la raza y genética.

Un enfoque directo al uso de SNP para predecir la toxicidad tisular normal es incluirlos como factores modificadores de la dosis en los modelos NTCP que ya se han desarrollado a través de años de investigación sobre la asociación entre los parámetros dosimétricos y la toxicidad. Han surgido estudios en los últimos años que sugieren que los modelos NTCP pueden mejorarse incorporando factores de riesgo clínicos.^{7,8}

El enfoque principal utilizado en radiogenómica es el estudio de asociación de todo el genoma (GWAS). Los GWAS son estudios de la asociación entre SNP (la variable independiente) y un fenotipo de interés (la variable dependiente), que son los efectos adversos de la radioterapia en el caso de la radiogenómica.

Debido a que GWAS examina todo el genoma, a menudo ocurre que los SNP identificaron variantes funcionales de etiquetas en genes que anteriormente no se sabía que afectaban el fenotipo de interés. Esto puede ser realmente ventajoso para los estudios de radiogenómica, ya que gran parte de la biología subyacente a las lesiones normales de tejidos y órganos después de la irradiación es poco conocida. Si bien la respuesta celular y molecular general a la radiación ionizante está bien caracterizada, los efectos específicos de tejidos y órganos son menos conocidos y probablemente representan una biología más amplia.⁵

La identificación de los genes involucrados y el esclarecimiento de las vías moleculares que resultan en toxicidades tisulares normales son de utilidad para obtener información sobre la biología

detrás de la radiosensibilidad específica del tejido con el fin de desarrollar agentes mitigadores, la identificación de los SNP que están fuertemente asociados con un efecto adverso es suficiente para distinguir a los pacientes en riesgo.⁵

El objetivo final de la radiogenómica es impactar el paso en la atención del cáncer donde se formulan las decisiones de tratamiento. Un ensayo clínico para clasificar el riesgo de efectos adversos de un paciente en función de la información genética podría guiar el proceso de toma de decisiones. Aunque los estudios de radiogenómica están claramente todavía en las primeras etapas.⁵

En NY USA, se publicó un ensayo, (Kerns SL et al ;2015,) el cual comentó que los estudios de radiogenómica habían identificado para esa fecha siete SNP que se habían confirmado en estudios de replicación como asociados con uno o más efectos tardíos de radioterapia : rs2868371 (esofagitis y neumonitis después de RT para el cáncer de pulmón); rs1800469 (esofagitis después de RT para cáncer de pulmón); rs1800629 (toxicidad general de la piel después de RT para el cáncer de mama); rs1139793 (fibrosis después de RT para el cáncer de mama); rs7120482 (sangrado rectal después de RT para el cáncer de próstata); rs264663 (toxicidad general después de RT para el cáncer de próstata); y rs1801516 (toxicidad general después de RT para el cáncer de próstata o de mama).^{9,10,11}

En este artículo destacó que los estudios de radiogenómica comenzaban a explorar enfoques novedosos para modelar la asociación de toxicidad SNP, destacando el potencial para el uso de una gran cantidad de SNP para predecir

la radiosensibilidad individual. Además, estos enfoques permiten correlaciones o interacciones entre SNP significativos, algo que a menudo no se tiene en cuenta en las pruebas de asociación de SNP único debido a limitaciones de potencia estadística.^{12,13}

En NY USA , se publicó un metanálisis, (Kerns SL et al ;2016), dirigido por el consorcio de 4 estudios de radiogenómica tipo GWAS, en 1564 pacientes, los objetivos primarios de toxicidad tardía por RT en pacientes con cáncer de próstata fueron frecuencia urinaria, disminución del calibre del flujo urinario, sangrado rectal y toxicidad general, los cuales fueron asociados con 11, 8, 6 y 16 SNP respectivamente, se identificaron dos SNP adicionales asociados con toxicidad tardía: rs17599026 en 5q31.2 se asoció con frecuencia urinaria y rs7720298 en 5p15.2 se asoció con un flujo de orina reducido Al igual que con otros SNP identificados por estudios tipo GWAS, ambas variantes se encuentran en regiones no codificantes.

GENES ENCONTRADOS CON MAYORES SIGNIFICANCIAS ESTADÍSTICAS

Se realizó una amplia revisión bibliográfica de la literatura internacional con la finalidad de determinar algunos de los polimorfismos tipo SNP que se han reportado con mayor grado de susceptibilidad hacia la toxicidad post-RT, haciendo hincapié en aquellos SNPs que presentan un valor estadístico más confiable, así como aquellos que se relacionan clínicamente con con sangrado rectal, GEN SLC36A4 – SNP rs7120482, disfunción eréctil, GEN HSD17B2- SNP rs11648233, frecuencia urinaria, GEN KDM3B rs17599026 y síntomas de la AUA, GEN IFNK- SNP rs17779457.

GEN SLC36A4

El sangrado rectal después de la radiación es una afección microangiopática con aumento de la proliferación vascular. Los genes candidatos ubicados cerca de algunos de los SNP significativos en encontrados en algunos estudios pueden codificar productos que sirven para restringir la proliferación vascular. El gen SLC36A4 que está corriente abajo de los dos SNP significativos, rs7120482 y rs17630638, codifica un transportador de aminoácidos acoplado no protonado que se requiere para la proliferación celular normal. Específicamente, modula la actividad del objetivo mamífero de la rapamicina complejo 1 (mTORC1) cascada de señalización que afecta la angiogénesis, la proliferación y la supervivencia celular, entre otras funciones. Curiosamente, se ha demostrado que la señalización de mTOR desempeña un papel en la radiosensibilización en una serie de estudios en varios tipos de tumores, incluida la próstata.¹⁴

GEN HSD17B2

El SNP rs11648233 se asoció con la disfunción eréctil, y este SNP se encuentra dentro del gen 17-beta-hidroxiesteroide deshidrogenasa II (HSD17B2) que cataliza el metabolismo oxidativo de los andrógenos. El locus superior asociado con la hemorragia rectal contenía dos SNP en desequilibrio de ligamiento, de los cuales rs7120482 con una frecuencia de alelo menor (MAF) de 0,37, se acercaron al límite estricto para la significación genómica amplia con un valor P de $5,4 * 10^{-8}$, y por lo tanto representa un marcador de riesgo. Este locus se encuentra corriente arriba de SLC36A4, que puede modular la actividad del objetivo mamífero de la cascada de señalización del complejo de rapamicina 1 (mTORC1) que afecta la angiogénesis, la proliferación, la superviven-

cia celular y la radiosensibilización celular.¹⁴

GEN IFNK

El grupo de SNP identificados en 9p21.2 forma un bloque de haplotipo de 44 kb que reside dentro, corriente arriba y corriente abajo del gen del interferón kappa (IFNK) es un miembro de la familia del interferón tipo I de genes del sistema inmune y se ha demostrado que modula directamente liberación de citocinas, inhibiendo la señalización de IL-12 en particular. Se cree que los síntomas urinarios después de la RT son una manifestación de respuesta inflamatoria al daño tisular por radiación, por lo que un modulador inmune como el interferón kappa puede tener un papel en este proceso. En un estudio que utilizó un modelo de ratón, Cummings et al. demostraron que la radiación ionizante indujo la migración de las células inmunes de clase II del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), y este efecto fue modulado por IL-12. Por lo tanto, es biológicamente plausible que el gen IFNK pueda tener un papel en modular este tipo de respuesta inflamatoria en los tejidos que afectan los síntomas urinarios.¹⁴

Para los criterios de valoración de toxicidad urinaria y disfunción eréctil, los principales SNP no alcanzaron la significación de todo el genoma, pero para cada punto final se identificaron varios loci sugestivos. Un bloque de haplotipos de 8-SNP se asoció con toxicidad urinaria, en la que el principal SNP fue el rs17779457 el cual se asoció con un aumento de 2,7 veces en el puntaje de síntomas de la Asociación Americana de Urología (AUASS) (IC del 95 %: 1,2; 4,1) en el conjunto de hallazgos y un aumento de 2.4 veces en el conjunto de replicación.¹⁴

GEN KDM3B

El grupo de SNP identificados, específicamente rs17599026, se encuentra en el cromosoma 5q31.2. Este SNP es ubicado en una región intrónica de KDM3B, 23 pb corriente abajo del exón 20. Este gen está altamente expresado en el tejido de la vejiga, que es consistente con un papel potencial para el codificado de proteínas en la función vesical normal. Así, su alteración puede aumentar la probabilidad de una complicación urinaria en exposición a altas dosis de radiación, como aumento en la frecuencia urinaria.¹⁴

DISCUSIÓN

A pesar de la evidencia de estudios acerca del papel potencial de los SNP en la predisposición de toxicidad por radiación en pacientes con cáncer de próstata, son pocos los estudios que han evaluado esta asociación.

Se debe de considerar en el diseño de los ensayos clínicos que a diferencia de la susceptibilidad a la enfermedad, el riesgo de toxicidad inducida por radiación es continuo para el desarrollo de toxicidades con una incidencia creciente de complicaciones con dosis de radiación y / o volúmenes irradiados mayores.

Un ensayo predictivo de SNP probablemente requerirá uno o varios umbrales para clasificar el riesgo en categorías discretas. Por lo tanto, un diseño de ensayo de biomarcadores clásico puede no ser apropiado, mientras que un enfoque que utilice una metodología de estratificación de factores de riesgo podría ser más adecuado.¹⁵

Recientemente en el 2019 se publicó un metanálisis de datos de pacientes indi-

viduales de seis estudios de asociación de todo el genoma ($n = 3871$) en hombres de ascendencia europea que se sometieron a radioterapia por cáncer de próstata. Las toxicidades (aumento de la frecuencia urinaria, disminución del flujo urinario, hematuria, sangrado rectal) se clasificaron prospectivamente. Se realizaron modelos de riesgo relativo agrupados para probar asociaciones con aproximadamente 6 millones de variantes genotipadas o imputadas (tiempo hasta el primer evento de toxicidad de grado 2 o superior). Se evaluaron variantes estadísticamente significativas en tres cohortes japonesas ($n = 962$). Todas las pruebas estadísticas fueron de dos caras. Sus resultados, fue que identificaron tres señales genómicas: polimorfismo de un solo nucleótido rs17055178 con sangrado rectal, rs10969913 con flujo urinario disminuido y rs11122573 con hematuria. Se utilizó un mapeo a escala fina de estas tres regiones para identificar otra señal independiente (rs147121532) asociada con hematuria. Variantes causales creíbles en estas cuatro señales se encuentran en regiones reguladoras de genes, algunas de las cuales modulan la expresión de genes cercanos.¹⁵

Con los esfuerzos en el desarrollo de enfoques personalizados para el manejo del cáncer en la investigación oncológica, utilizando perfiles genéticos de línea germinal para predecir el riesgo de desarrollo de la enfermedad, así como otros factores como la agresividad de la enfermedad y la toxicidad del tratamiento, combinados con la identificación de objetivos moleculares de los perfiles de tumores, permitirá el desarrollo de un enfoque verdaderamente personalizado tanto para la detección y tratamiento de pacientes con cáncer de próstata, así como la prevención de toxicidad por radiación.

CONCLUSIONES

En la última década se ha logrado un progreso en la investigación radiogenómica hacia la creación de predictores genéticos a la susceptibilidad de los pacientes con cáncer de próstata desarrollo de efectos adversos del tratamiento con radioterapia, que resultan en un impacto deletéreo en la calidad de vida.

Se espera que este conocimiento ayude en el desarrollo de perfiles genéticos para predecir el riesgo de desarrollar la enfermedad y así prevenir o disminuir estas lesiones inducidas por radiación.

Con lo que mejorará sustancialmente la capacidad de seleccionar un tratamiento óptimo de radioterapia para pacientes con cáncer, en los que esté indicado.

Actualmente en México, realizamos un ensayo prospectivo, sobre asociación entre los polimorfismos tipo SNP KDM3B rs17599026, SLC36A4 rs7120482, HSD17B2 rs11648233, IFNK/MOB3B rs17779457, con la toxicidad de vía genitourinaria y rectal post-radioterapia en pacientes con Cáncer de Próstata en una muestra de la población mexicana, el cuál esta próximo a publicar.

Agradecimientos: Instituto Politécnico Nacional, Conacyt, Escuela Militar de Graduados de Sanidad.

BIBLIOGRAFIA

1. GLOBOCAN 2018.- Number of new cases in 2018, both sexes, all ages, Mexico.
2. Sarah L Kerns, Radiogenomics: using genetics to identify cancer patients at risk for development of adverse effects following radiotherapy, *Cancer Discov*, 2014 Feb;4(2):155-65.
3. Ruiz J. Relación de la susceptibilidad genética y de las características anatomopatológicas del cáncer de próstata con los polimorfismos de nucleótido simple. Universidad Autónoma de Barcelona 2012.
4. Technologic issues in GWAS and follow-up studies. NCI 2007.
5. Kerns SL, Ostrer H, Rosenstein BS: Radiogenomics: Using genetics to identify cancer patients at risk for development of adverse effects following radiotherapy. *Cancer Discov* 4:155-165, 2014.
6. Bentzen SM, Constine LS, Deasy JO, et al. Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC): an introduction to the scientific issues. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010; 76: S3–9.
7. Defraene G, Van den Bergh L, Al-Mamgani A, et al. The benefits of including clinical factors in rectal normal tissue complication probability modeling after radiotherapy for prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012; 82:1233–42.
8. Cella L, D'Avino V, Liuzzi R, et al. Multivariate normal tissue complication probability modeling of gastrointestinal toxicity after external beam radiotherapy for localized prostate cancer. *Radiat Oncol*. 2013; 8:22.
9. Edvardsen H, Landmark-Hoyvik H, Reinertsen KV, et al. SNP in TXNRD2 associated with radiation-induced fibrosis: a study of genetic variation in

- reactive oxygen species metabolism and signaling. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2013; 86:791–9.
10. Andreassen CN, Barnett GC, Kerns SL, et al. Analysis of 5434 patients shows a link between the ATM codon 1853 SNP and the risk of radiation-induced toxicity. European Society for Radiotherapy and Oncology (ESTRO); Vienna, Austria. 2014.
 11. Kerns SL, CMLW, Andreassen CN, et al. Radiogenomics: the search for genetic predictors of radiotherapy response. *Future oncology*. 2014; 10:2391–406.
 12. Guy RT, Santago P, Langefeld CD. Bootstrap aggregating of alternating decision trees to detect sets of SNPs that associate with disease. *Genet Epidemiol*. 2012; 36:99–106.
 13. Zhang Y. A novel bayesian graphical model for genome-wide multi-SNP association mapping. *Genet Epidemiol*. 2012; 36:36–47.
 14. Barry S. Rosenstein, Radiogenomics: Identification of Genomic Predictors for Radiation Toxicity. *Semin Radiat Oncol* 27:300-309, 2017.
 15. Sarah L. Kerns, Radiogenomics Consortium Genome-Wide Association Study Meta-Analysis of Late Toxicity After Prostate Cancer Radiotherapy, *JNCI J Natl Cancer Inst* (2020) 112(2): djz075

Los cefalópodos del antiguo Museo Nacional de Historia Natural de México: Chopo

**Dr. Ricardo Pliego Cárdenas
Facultad de de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México**

**Biol. F. Montserrat Morales Mejía
Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico
Instituto Nacional de Antropología e Historia**

**Dra. Edna Naranjo García
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México**

Resumen

El antiguo Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) de México comúnmente conocido museo del Chopo tiene su origen en el extinto Museo Nacional creado en 1825. El museo fue clausurado en 1964 y durante mucho tiempo las colecciones del museo estuvieron resguardadas en diversos sitios. El Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México tiene bajo resguardo varias colecciones provenientes del antiguo museo. La Colección Nacional de Moluscos en particular, desde 1989, tiene en su repertorio más de 600 lotes de moluscos. Entre estos, 9 ejemplares de cefalópodos (calamares, sepias y pulpos) que son reportados en el presente trabajo. Todos los ejemplares están conservados en sus frascos originales, los cuales están con formol y sellados herméticamente, y son pocos los que presentan las etiquetas originales. Están representados los principales grupos de cefalópodos. Tres pulpos fueron recolectados en México y reidentificados en este trabajo como *Octopus mimus*. Un argonauta (*Argonauta argo*) y dos sepias, (*Sepia elegans* y *S. officinalis*) provienen del mar Mediterráneo y un calamar (*Doryteuthis opalescens*) de Estados Unidos. Todos los especímenes fueron recolectados a finales del siglo XIX y principios del XX. La importancia de este material biológico radica en ser parte del patrimonio histórico natural de México.

Palabras clave

Catálogo, colecciones, historia natural, museología.

Abstract

The old Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) of Mexico, commonly known as Museo del Chopo, has its origin in the extinct Museo Nacional created in 1825.

The Museum was closed in 1964 and for long time the collections were allocated in several locations. The Instituto de Biología of Universidad Nacional Autónoma de México has several collections from the old museum. In particular, the Colección Nacional de Moluscos, since 1989, has more than 600 lots of molluscs in its repertoire. Among them nine specimens of cephalopods (squids, cuttlefishes and octopuses) which are reported in the present work. All specimens are stored in their original jars with formalin and hermetically sealed, and only few have their original labels. The three main groups of cephalopods are represented. Three octopuses were collected off México and re-identified as *Octopus mimus*. One paper nautilus (*Argonauta argo*) and two cuttlefishes (*Sepia elegans* and *S. officinalis*) are Mediterranean, and one squid (*Doryteuthis opalescens*) from United States of America. All specimens were collected late 19th century and beginning 20th century. This biological material is important because are part of the historical heritage of Mexico.

Keywords

Catalog, collections, natural history, museology.

El Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) de México fue creado a partir de las colecciones del extinto Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia (MPHAH), inaugurado en 1866 por el entonces emperador de México, Maximiliano de Habsburgo (Hernández, 2016). Sin embargo, la historia del MNHN puede datarse desde la creación del Museo Nacional en 1825 (Vega y Ortega Báez, 2016). El museo tuvo dos sedes en la Ciudad de México, primero la Antigua

Casa de Moneda (Calle de Moneda 13). Ahí se exhibían los materiales biológicos como los arqueológicos. Tantos eran los materiales que en cierto momento ya no fue posible contenerlos en el mismo sitio. Posteriormente, el material biológico se albergó en el edificio del Chopo (1913, segunda sede), conocido también como el “Palacio de Cristal”. Más tarde, en 1929 el MNHN pasó a ser parte del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) pero fue clausurado en 1964. El material biológico estuvo guardado en diferentes sitios dentro de Ciudad Universitaria hasta 1989 cuando los ejemplares fueron integrados a las colecciones del mismo instituto (Naranjo-García, 2003a, b).

Una de las colecciones que alberga ejemplares del MNHN es la Colección Nacional de Moluscos (CNMO) que tiene en su repertorio más de 600 lotes de moluscos (caracoles, almejas, babosas, pulpos y calamares) que pertenecieron al museo (Naranjo-García, 2003b). Entre estos, nueve especímenes de cefalópodos comúnmente conocidos como calamares, sepias y pulpos. Los cefalópodos se distinguen del resto de los moluscos por presentar una concha interna, en el caso de las sepias; o reducida, en los calamares; o carecer de ésta, como en los pulpos. Además, otra característica que los diferencia es la presencia de brazos y tentáculos que les sirven para atrapar a sus presas ya que los cefalópodos son depredadores activos. Los ejemplares no pueden ser examinados fuera de sus frascos originales debido a que estos están sellados herméticamente. Sin embargo, la mayoría está en buenas condiciones lo que permitió la corroboración de su identificación, la actualización de su nombre científico y, en algunos casos, la determinación del sexo. Los cefalópodos presentan sexos separados,

los machos se distinguen por presentar un brazo modificado llamado hectocótilo.

Son pocos los lotes que presentan las etiquetas originales, las cuales carecen de información sobre la fecha en que fueron recolectados. Pero consideramos que la mayoría fueron adquiridos a finales del siglo XIX y principios del XX. Están representados los principales grupos de cefalópodos: pulpos, calamares y sepias. Cabe resaltar que estos últimos organismos no se encuentran en América y que la CNMO es la única colección con ejemplares de sepias en México. Tres ejemplares fueron recolectados en México, mientras que los otros provienen del mar Mediterráneo y Estados Unidos. Se desconoce cómo fueron adquiridos los ejemplares de Europa, pero creemos que fueron comprados a Václav Frič (1839-1916) (Reiling y Spunarová, 2005) quien en esa época era un distribuidor de especímenes biológicos para museos y cuyo nombre aparece en uno de los contenedores originales examinados. Václav Frič obtenía sus especímenes marinos de la estación zoológica de Nápoles, Italia (Reiling y Spunarová, 2005).

Los ejemplares examinados se presentan a continuación:

Calamar

1. *Doryteuthis opalescens* (Berry, 1911) (Fig.1). Ejemplar de calamar montado en una placa dentro de un frasco de vidrio sellado herméticamente. El espécimen está en seco debido a la evaporación del líquido que lo conservaba. En la etiqueta original esta nombrado como *Loligo opalescens*. Sin embargo, el género *Loligo* es exclusivo del Atlántico oriental. El ejemplar fue capturado en San Diego, California, Estados Unidos.



Figura 1. Ejemplar deshidratado de *Doryteuthis opalescens*.



Figura 2. Ejemplar de *Sepia elegans*. Nótese la concha interna (blanquecina con machas café).

Sepias

2. *Sepia elegans* Blainville, 1827 (Fig. 2). El espécimen está dentro de una cápsula de vidrio sobre una base de madera. Ejemplar en seco debido a la evaporación del líquido que lo conservaba, pero se puede observar su concha interna (sepión). Sin etiqueta original pero con una elaborada por el IB que indica que el espécimen fue capturado en el mar Mediterráneo.

3. *Sepia officinalis* Linnaeus, 1758 (Fig. 3). Especimen montado sobre una placa de cristal, dentro de un tarro de vidrio. Ejemplar en buenas condiciones que permite notar las características externas para su identificación. En la etiqueta original se puede leer “arroja tinta para teñir el agua y ocultarse” pero sin mencionar la localidad donde fue capturado. No obstante, la distribución de *S. officinalis* es el mar Mediterráneo.



Figura 3. Ejemplar de *Sepia officinalis*.

Pulpos

4. *Argonauta argo* Linnaeus, 1758 (Fig. 4). Ejemplar hembra, evidenciado por su gran tamaño y los restos de su concha externa. Los argonautas hembras producen temporalmente una concha externa para almacenar sus huevos. Montada sobre una placa de cristal en el interior de un tarro de vidrio. Espécimen en buenas condiciones que permite notar sus características externas para su identificación. Con la etiqueta original que indica que fue capturado en el mar Mediterráneo.

5. *Ocythoe tuberculata* Rafinesque, 1814 (Fig. 5). Son dos ejemplares machos, evidenciado por la presencia de los hectocótilos (brazos modificados que sirven para fertilizar a la hembra) notorios. Cada uno montado en una placa de cristal dentro de su respectivo tarro de vidrio. Los dos ejemplares están en buenas condiciones. Uno de ellos fue catalogado como *Philonexis catenulatus*, el cual actualmente es un sinónimo de *O. tuberculata*. Sin etiqueta original que indique su procedencia, pero debido a que uno de los frascos tiene una pequeña etiqueta en la que se puede leer “V. Frič (Prague)”, es muy seguro que hayan sido comprados a éste y capturados en el mar Mediterráneo.

6. *Octopus mimus* Gould, 1852 (Fig. 6). Se trata de tres ejemplares, cada uno en su respectivo tarro de vidrio. Dos están en buen estado, el otro esta deshidratado. Los ejemplares estaban identificados como *Octopus punctatus*, un sinónimo del pulpo gigante del Pacífico, *Enteroctopus dofleini*, que no se distribuye en México. La etiqueta original indica que el material fue colectado en la isla San José y la Bahía de la Paz en el golfo de California por Francisco

Contreras, quien a principios del siglo XIX era el encargado de la colección y era parte del personal del antiguo MNHN (Naranjo-García a, b). Consideramos que los ejemplares fueron capturados entre 1921 y 1925, periodo en el que Francisco Contreras fue de expedición al Pacífico mexicano en colaboración con la Academia de Ciencias de California (Naranjo-García, 2003b)

Los ejemplares biológicos de los museos además de vincular a la sociedad con la biodiversidad que la rodea, forman parte de la memoria colectiva y natural de México. Los cefalópodos del antiguo MNHN, así como el resto de los especímenes, representan el pasado debido a que contienen información valiosa de la historia de México; además, en el caso de los organismos foráneos nos permiten conocer la diversidad en otras regiones del planeta.



Figura 4. Ejemplar hembra de *Argonauta argo*. Nótese los restos de la concha externa en el fondo del tarro.



Figura 5. Ejemplar macho de *Ocythoe tuberculata*. Nótese el brazo corto modificado (hectocótilo) y la etiqueta del distribuidor (V. Frič)



Figura 6. Ejemplar de *Octopus mimus*.

Referencias

Hernández, A., A 150 años de la instauración del Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia. Una somera aproximación histórica, *Gaceta de Museos*, 64, pp 24-29, 2016.

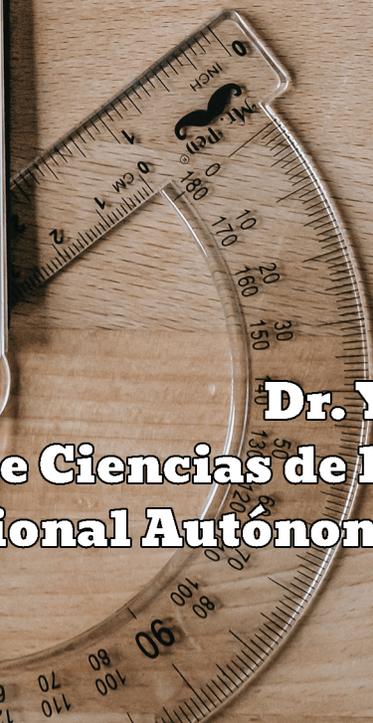
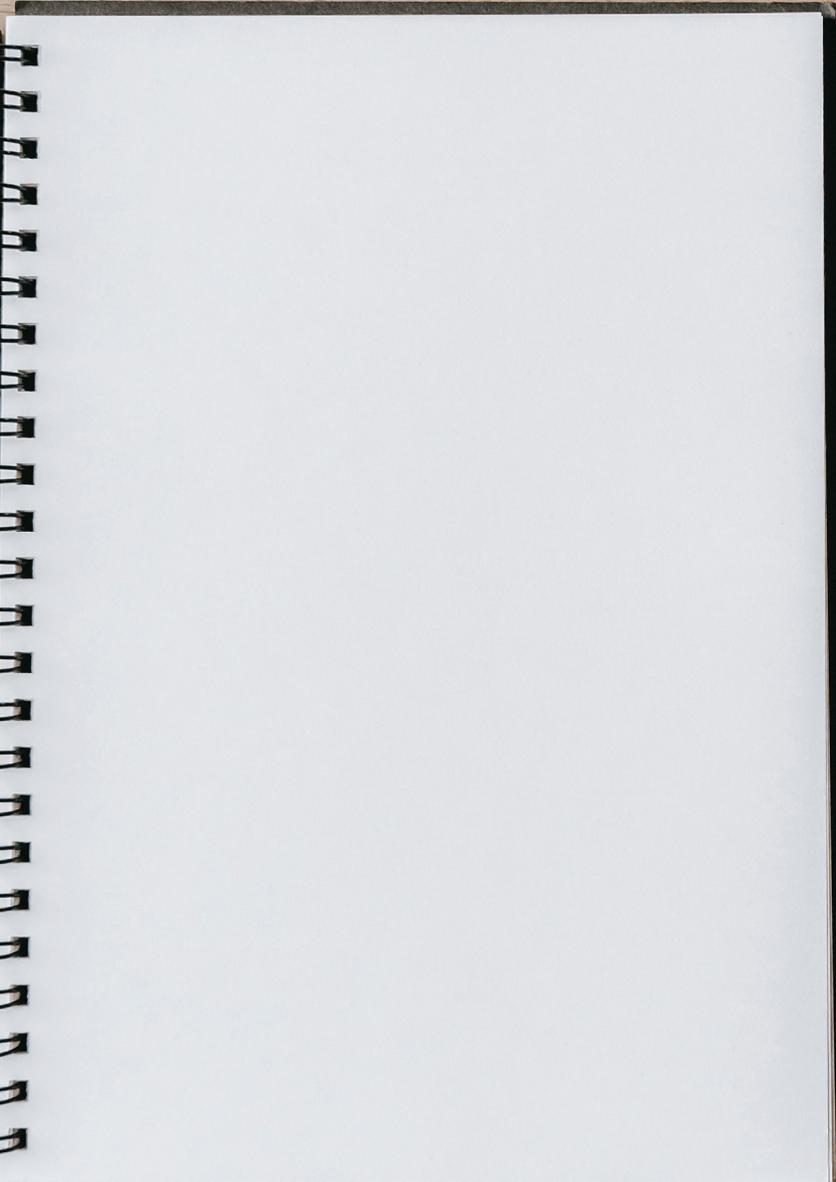
Naranjo-García, E., Historia de la malacología en México con énfasis en la malacología continental, *Rev. Bio. Trop*, 51, pp. 463-471, 2003a.

Naranjo-García, E., La Colección Nacional de Moluscos, Instituto de Biología, UNAM. *TIP Rev. Espec. Cienc. Quim. Biol*, 6(1), pp. 37-44, 2003b.

Reiling, H. y Spunarová, T., Václav Frič (1839-1916) and his influence on collecting natural history, *J. Hist. Collect*, 17, pp. 23-43, 2005. <https://doi.org/10.1093/jhc/fhi001>

Vega y Ortega Báez, R., Dos viajeros europeos colaboran con el Museo Nacional de México, 1830-1832. *Gaceta de Museos*, 64, pp. 14-21, 2016.

Importancia de los Métodos Geométricos



Dr. Yuri N. Skiba
Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México

Abstract

A visual demonstration that is not formally proof of a particular statement is sometimes called "proof without words." In general, wordless demonstrations are images or diagrams that help the observer see why the statement may be true, and provide visual cues to stimulate mathematical thinking. In some cases, a dull test can be supplemented by a geometric analogue so simple and beautiful that the truth of a statement is almost evident at first glance. The objective of the work is to show how some visualization techniques can be used to produce images that help students understand mathematical ideas, proofs and arguments. Eight examples are considered.

Resumen

Una demostración visual, que no es evidencia formal de una declaración particular, a veces se llama "demostración sin palabras". En general, las demostraciones sin palabras son imágenes o diagramas que ayudan al observador ver por qué la declaración puede ser cierta, y proporcionar pistas visuales para estimular el pensamiento matemático. En algunos casos, una prueba sin brillo se puede complementar con un análogo geométrico tan simple y hermoso que la verdad de una declaración es casi evidente a primera vista. El objetivo del trabajo es mostrar cómo se pueden emplear algunas técnicas de visualización para producir imágenes que ayudan a los estudiantes a comprender las ideas matemáticas, pruebas y argumentos. Se consideran ocho ejemplos.

Es innegable que el pensamiento geométrico, desarrollado por la geometría, tiene un claro paralelismo en otras áreas temáticas y la investigación puede servir como una analogía con éxito en la obtención de resultados útiles, conclusiones, principios

y consideraciones de los diversos campos del conocimiento. La propia geometría como ciencia comienza con la famosa obra "Elementos de Euclides", escrita por el matemático griego Euclides cerca del 300 a.C. en Alejandría. Como una dirección científica, implica el estudio de las conexiones lógicas entre conceptos, donde el papel central se da al uso de la intuición visual, es decir, la geometría se basa en las representaciones espaciales.

En matemáticas, una demostración o bien una prueba es un argumento deductivo para asegurar la verdad de una proposición matemática. En la argumentación se pueden usar otras afirmaciones previamente establecidas, tales como teoremas o lemas. En principio una demostración se puede rastrear hasta afirmaciones generalmente aceptadas, conocidas como axiomas.

Las representaciones geométricas-visuales son de particular importancia en el proceso de solución de problemas matemáticos. No hay duda de que la forma geométrica del pensamiento es de alto grado de abstracción, y por lo tanto se trata de una colección de pensamiento espacial, proporcionando operación espacial con las imágenes, y el pensamiento lógico, que permite el establecimiento de relaciones adecuadas entre las imágenes.

Si bien no es una prueba formal, la prueba visual de una determinada declaración se denomina "demostración sin palabras". Generalmente, las pruebas sin palabras son imágenes o diagramas que lo ayudan a comprender por qué una afirmación puede ser cierta y brindan claves visuales para fomentar el pensamiento matemático. A veces, una demostración mediocre se puede complementar con un análogo geométrico

tan simple y elegante que la verdad de la afirmación es casi obvia en seguida. El propósito del artículo es mostrar cómo algunas formas geométricas se pueden utilizar para crear imágenes que ayudarán a entender ideas matemáticas, evidencias y argumentos. Con este fin, veremos algunos ejemplos.

Ejemplo 1 (Teorema de Pitágoras). La Figura 1 es un ejemplo de la histórica demostración visual del Teorema de Pitágoras para un triángulo rectángulo con lados (a, b, c)

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (1)$$

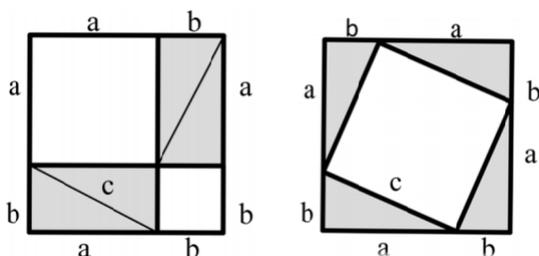


Fig. 1 (autor desconocido). Teorema de Pitágoras: $a^2 + b^2 = c^2$.

Ejemplo 2 (Suma de una progresión geométrica). La Figura 2 es otro ejemplo que demuestra el valor de la suma

$$S = \frac{1}{4} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{4^3} + \dots + \frac{1}{4^n} + \dots \quad (2)$$

de la progresión geométrica ($S = \frac{1}{3}$). En efecto, supongamos que el área del triángulo equilátero es uno, y dividamos el triángulo en cuatro triángulos equiláteros iguales. El área del triángulo central (blanco) es $\frac{1}{4}$. Luego vamos a repetir sin fin el mismo procedimiento con los triángulos superiores obtenidos. Cada término de la

progresión coincide con el área del triángulo correspondiente. Al sumar las áreas de los triángulos blancos obtenemos $S = \frac{1}{3}$ (Fig.2).

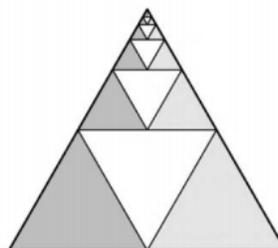


Fig.2 (Rick Mabry). Cálculo de la suma de la progresión geométrica (2) usando el triángulo equilátero con el área igual a uno.

Ejemplo 3 (Suma de cualquier progresión geométrica). En general, usando las relaciones entre los lados de triángulos semejantes es fácil demostrar que la suma de una progresión geométrica

$$S = 1 + r + r^2 + r^3 + \dots + r^n + \dots \quad (3)$$

es $1/(1-r)$. En efecto (véase Fig.3),

$$\frac{1+r+r^2+r^3+\dots+r^n+\dots}{1} = \frac{1}{1-r}$$

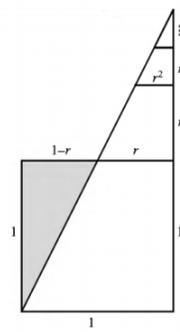


Fig.3 (Benjamin G. Klein & Irl C. Bivens). Suma de una progresión geométrica usando triángulos semejantes.

Ejemplo 4 (Desigualdad de las medias aritmética y geométrica). Sean $a > 0$ y $b > 0$. La desigualdad

$$\frac{a+b}{2} \geq \sqrt{ab} \quad (4)$$

se demuestra sin palabras.

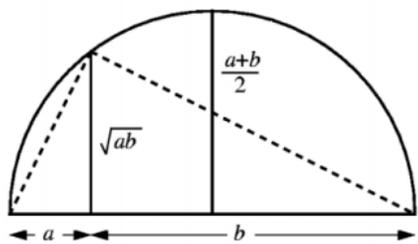


Fig.4 (Charles D. Gallant). Desigualdad de las medias aritmética y geométrica.

En otra demostración geométrica, basta construir un triángulo rectángulo cuya hipotenusa sea $(a + b)/2$ y un cateto sea $(a - b)/2$. Entonces, por el teorema de Pitágoras, el otro cateto será \sqrt{ab} .

Ejemplo 5 (Las fórmulas de la tangente del ángulo mitad). Las formulas

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta} = \frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} \quad (5)$$

se deducen directamente de la figura 5.

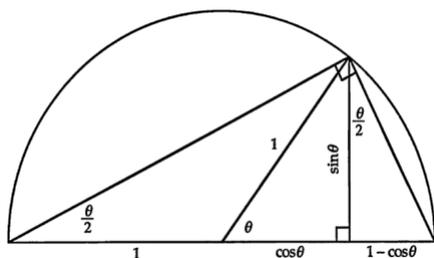


Fig.5 (R.J. Walker). Las fórmulas de la tangente del ángulo mitad

Ejemplo 6 (La distancia entre un punto y una línea). La distancia d entre un punto (a, b) y una línea se obtiene de dos triángulos rectángulos (Fig.6):

$$\frac{d}{1} = \frac{|ma+c-b|}{\sqrt{1+m^2}} \quad (6)$$

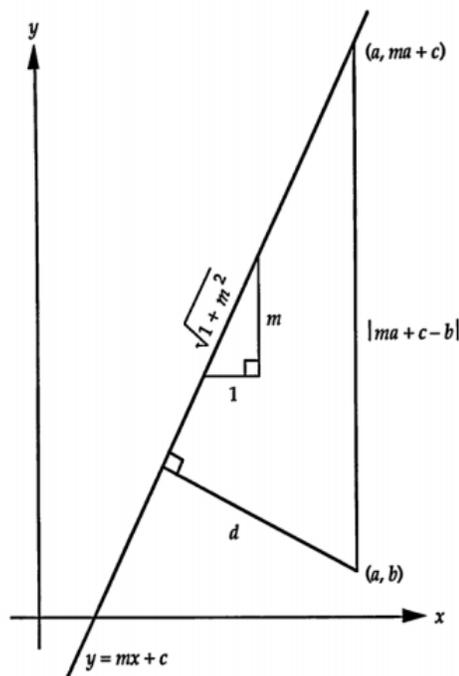


Fig.6 (R.L. Eisenman). La distancia entre un punto y una línea.

Ejemplo 7 (Las fórmulas de doble ángulo). Los triángulos ACD y ABC son semejantes. Por lo tanto, $CD/AC = BC/AB$, es decir, $\sin 2\theta/2 \cos \theta = 2 \sin \theta/2$, y $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$ (Fig.7). Por otra parte, $AD/AC = AC/AB$, es decir, $(1 + \cos 2\theta)/2 \cos \theta = 2 \cos \theta/2$, y $\cos 2\theta = 2 \cos^2 \theta - 1 = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$.

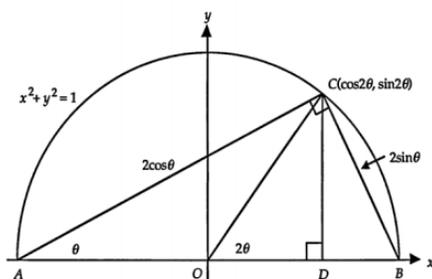


Fig.7 (Roger B. Nelsen). Las fórmulas de doble ángulo.

Se pueden encontrar más ejemplos en Nelsen (1993, 2000).

Ejemplo 8 (Teorema de Napoleón). Si sobre cada lado de un triángulo arbitrario se construyen respectivos triángulos equiláteros, tanto hacia el exterior (Fig.8) como hacia el interior del triángulo, entonces los centros de dichos triángulos forman un triángulo equilátero NMP.

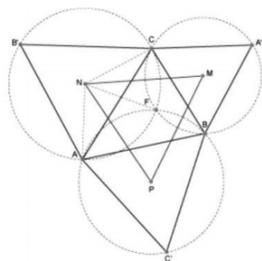


Fig.8 (Mario Dalcín, 2005). Teorema de Napoleón.

Es preciso notar que los círculos circunscritos a los triángulos equiláteros pasan por un mismo punto F , la línea NP es mediatriz del ángulo ANF , la línea NM es mediatriz del ángulo FNC , el ángulo ANC es 120° y, por lo tanto, el ángulo PNM es 60° (Fig.8). De la misma manera se demuestra que los otros dos ángulos del triángulo NMP

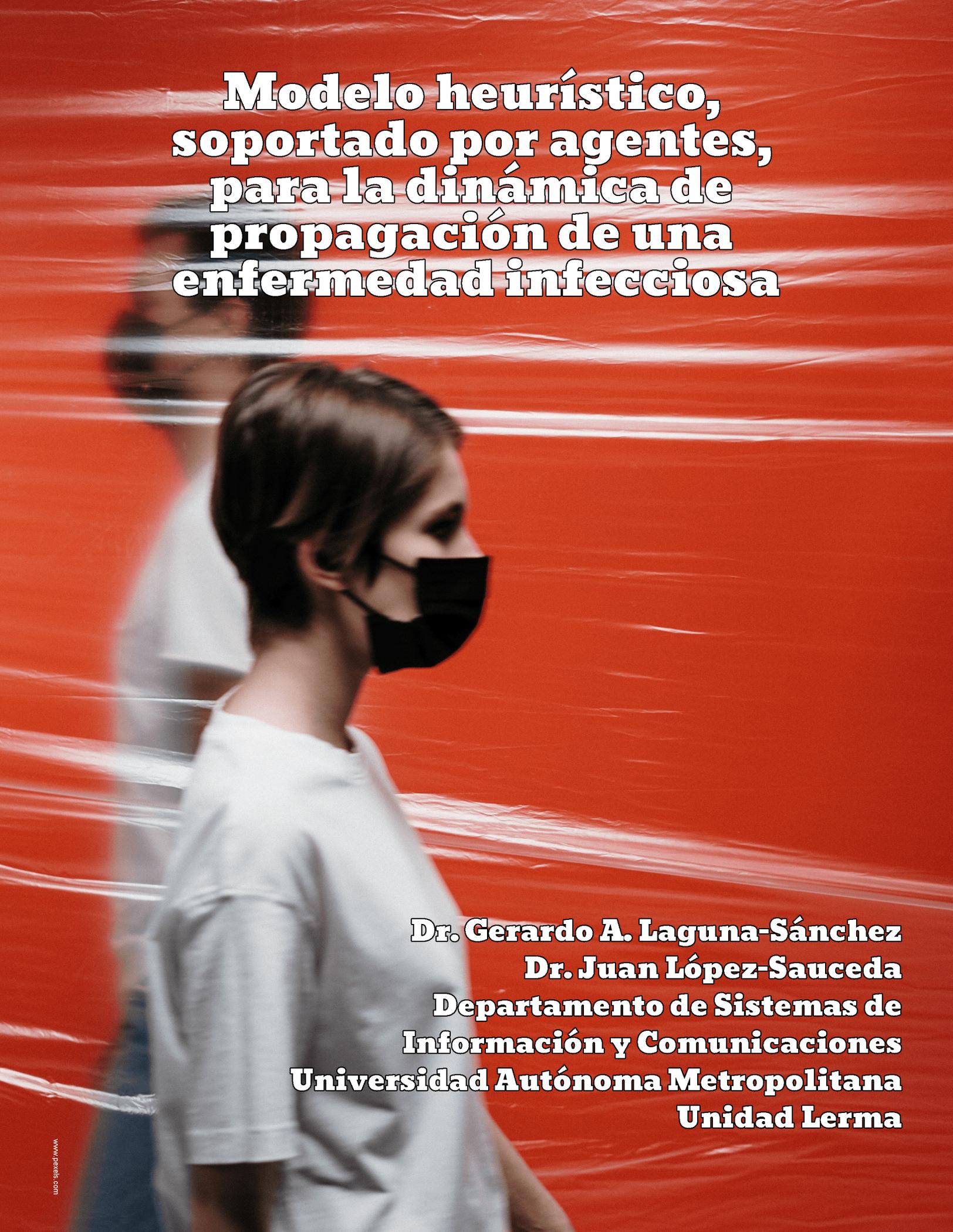
también son iguales a 60° .

Referencias

Dalcín, M., El Teorema de Napoleón. Instituto de Profesores Artigas. Uruguay, 2005 (archivo 2121-6240-1-PB.pdf online).

Nelsen, R.B., Proofs Without Words: Exercises in Visual Thinking. The Mathematical Association of America, 1993.

Nelsen, R.B., Proofs Without Words II: More Exercises in Visual Thinking. The Mathematical Association of America, 2000.



**Modelo heurístico,
soportado por agentes,
para la dinámica de
propagación de una
enfermedad infecciosa**

**Dr. Gerardo A. Laguna-Sánchez
Dr. Juan López-Sauceda
Departamento de Sistemas de
Información y Comunicaciones
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Lerma**

Extracto

En este artículo se presenta un modelo epidemiológico soportado por agentes, con base en reglas heurísticas y el enfoque de la Ciencia de la Complejidad. El modelo se implementó en el entorno de programación NetLogo y queda a disposición de los interesados para su aprovechamiento. Se comprueba que la dinámica que emerge de las simulaciones corresponde a un perfil de crecimiento exponencial aplanado en el número total de infectados y se aprovechó el modelo propuesto para evaluar el desempeño de dos estrategias para la contención de la propagación de una enfermedad infecciosa: a) evitar encuentros cercanos y b) detección y aislamiento oportuno de los nuevos infectados. Los resultados de las simulaciones demuestran que la mejor estrategia es la de detección y aislamiento oportuno.

Palabras clave

Modelos de epidemias, modelos soportado por agentes, modelos heurísticos, NetLogo.

Abstract

This article presents an epidemic model supported by agents and heuristic rules, using the Science of Complexity approach. The model was implemented in the NetLogo programming environment and is available for use. It is verified that the dynamics that emerge from the simulations correspond to a profile of exponential growth in the total number of infected. The proposed model was used to evaluate the performance of two strategies for the containment of the propagation of an infectious disease: a) avoidance of close contacts and, b) detection and timely isolation of the newly infected people. The results of the simulations show that the best strategy is that of timely detection and isolation.

Key words

Epidemic modelling; Agent-Supported modelling; Heuristic modelling; NetLogo.

1. Introducción

Recientemente hemos presenciado el fenómeno de la pandemia de enfermedad por coronavirus (COVID-19), en la que la interacción entre miles de personas involucradas constituye uno de los principales factores para su propagación. Por lo tanto, se trata de un fenómeno complejo que puede ser estudiado con el enfoque de la ciencia de la complejidad (Mitchell, 2009), ya que se ve involucrada una red de relaciones y encuentros, entre múltiples elementos, que derivan en la dinámica de la evolución de la propagación de la enfermedad por contagios del COVID-19.

Aquí se presenta un modelo computacional, soportado por agentes y un conjunto de reglas heurísticas, para la simulación de la dinámica de propagación de una enfermedad infecciosa, que puede bien ser el COVID-19 o cualquier otra con características similares, y se presenta un análisis comparativo sobre la efectividad de dos estrategias ampliamente adoptadas por los países afectados por la pandemia del COVID-19: 1) evitar los encuentros cercanos y 2) la oportuna detección de los infectados para su correspondiente aislamiento o confinamiento.

La Ciencia de la Complejidad contempla, al menos, tres enfoques para el estudio de los fenómenos complejos, a saber: el análisis teórico, el estudio experimental y la modelación por computadora. Todos estos enfoques se complementan entre sí. La ventaja de la modelación por computadora, soportada por agentes, es que se parte del supuesto de que a partir de reglas

relativamente simples es posible simular el surgimiento de fenómenos emergentes tales como la adaptación y la auto-organización, entre otros (Mitchell, 2009).

También es bien conocido que la Ciencia de la Complejidad se apoya en disciplinas auxiliares como los son la dinámica, la teoría de la información, la evolución y la computación. En esencia se trata de modelar los fenómenos complejos, partiendo de la teoría de los sistemas, mediante una abstracción en la que se los considera como una configuración de partes unidas por una red de relaciones. De esta red de relaciones y los múltiples elementos que enlaza se asume lo siguiente (Mitchell, 2009):

- El número de elementos es muy grande.
- La comunicación ente los elementos es limitada.
- No existe un control central.
- Las reglas de operación son simples.

En este trabajo no se pretende inventar ni descubrir nada que no exista o que no se sepa. De antemano, se reconoce que la disciplina de la epidemiología cuenta con una gran cantidad de modelos formales [ver (Daley & Gani, 1999), (Diekmann & Heesterbeek, 2000) y (Xia & Ma, 2008)], estudios experimentales [ver (Herrera-Valdez et al., 2009)] y modelos computacionales para toda clase de fenómenos epidemiológicos [ver (Yang & Wilensky, 2011)]. El único propósito de este trabajo es compartir una experiencia interesante sobre la modelación por computadora, de un fenómeno que nos afecta a todos, mediante la representación computacional de los elementos que intervienen, de forma simple e intuitiva y con la ayuda de entorno de programación NetLogo que se encuentra al alcance de

todo el mundo.

Este trabajo se compone de las siguientes secciones: en la sección 2 se presentan los elementos, las reglas y los parámetros que componen al modelo propuesto; en la sección 3 se bosqueja el funcionamiento del código NetLogo desarrollado y la metodología para las simulaciones; en la sección 4 se presentan y discuten los resultados del modelo en los escenarios considerados; finalmente, en la sección 5, se presentan las conclusiones.

2. Modelo epidemiológico heurístico desarrollado con NetLogo

El fundamento del modelo propuesto lo constituye la posibilidad de representar una población de agentes con la capacidad para moverse libremente e interactuar, de forma aleatoria, dando como resultado la propagación de una enfermedad infecciosa. El entorno de programación NetLogo cumple satisfactoriamente con los requisitos, además de emplear un lenguaje de programación sencillo e intuitivo (Wilensky, 1999). Dado que el entorno de programación está orientado a la programación soportada por agentes, este entorno de programación incluye, de manera natural, la representación gráfica tanto de los agentes como del espacio en el que interactúan (el “mundo” de los agentes).

2.1. Parámetros del modelo

El modelo considera los siguientes parámetros globales:

- a) Número inicial de individuos sanos. El número de individuos de la población que no han sido infectados.
- b) Número inicial de individuos infectados. El número de individuos de la po-

blación que son portadores de la enfermedad y se vuelven propagadores de la misma.

- c) El periodo infeccioso de la enfermedad. El periodo en el que un individuo infectado puede infectar a otro.
- d) Periodo de incubación. El tiempo que toma la manifestación de los primeros síntomas de la enfermedad a partir del contagio.
- e) Probabilidad de sobrevivencia a la fase crítica de la enfermedad. La probabilidad de sobrevivir a la fase más grave de la enfermedad.

Después de revisar estos parámetros globales, evidentemente se trata de un modelo muy simplificado, pero se puede complicar tanto como se quiera. Por ejemplo, la probabilidad de sobrevivir a la fase crítica de la enfermedad claramente depende de la edad y la historia clínica de cada individuo, aunque aquí se adopta una probabilidad para todos los individuos de la población bajo estudio.

Por otro lado, cada individuo posee parámetros específicos que lo caracterizan, a saber:

- a) El individuo está vivo. Puede ser falso o verdadero.
- b) El individuo está infectado. Puede ser falso o verdadero.
- c) Número de días que faltan para la recuperación. Para propósitos prácticos, la enfermedad dura justamente el tiempo que esta se encuentra en su fase infecciosa.
- d) El individuo está aislado. Puede ser falso o verdadero.

- e) El individuo está inmunizado. Puede ser falso o verdadero.
- f) El individuo tiene un encuentro con otro. Puede ser falso o verdadero.
- g) Identificador del interlocutor. Para saber quién es el otro individuo con el que se está interactuando al momento de un encuentro.

Algunos de estos parámetros se inicializan para todos los individuos con los mismos valores y otros dependiendo de si un individuo está infectado o no. Por ejemplo, al inicio, todos los individuos de la población se encuentran vivos, no se encuentran aislados, ni inmunizados, ni tampoco tienen encuentro alguno, pero algunos están infectados y el resto no. Para los que inicialmente se encuentran infectados, se asume que todos se infectan en el instante cero y, por lo tanto, les falta completar todo el periodo infeccioso de la enfermedad.

De nueva cuenta, con base en estos parámetros individuales, es claro que el modelo está muy simplificado. Por ejemplo, se asume que los encuentros van a ser, como máximo, entre dos personas. No obstante la simplicidad del modelo, como se verá en los resultados, el modelo funciona razonablemente bien.

2.2. Inicialización del modelo y valores asumidos para la ejecución del mismo

Como ya se comentó, se establece una población inicial que resulta de la suma del número de individuos sanos más el número de individuos infectados. Por defecto, el número de muertes debidas a la enfermedad inicia con valor de cero. Para propósitos de demostración de la funcionalidad del

modelo propuesto, en este trabajo se asume una probabilidad de supervivencia a la fase crítica de la enfermedad de 75 %, lo que definitivamente es completamente subjetivo. En relación con esto, los expertos epidemiólogos pueden definir este valor en forma más exacta. La distribución espacial de los individuos se realiza de forma aleatoria, siguiendo una distribución de probabilidad uniforme, en un espacio de dos dimensiones.

Respecto de las estrategias para contener la propagación de la epidemia, en este trabajo se evalúa el desempeño de dos de las más utilizadas:

- A) Evitar encuentros cercanos. En este caso, se define una distancia mínima que se recomienda mantener en los encuentros entre individuos a fin de minimizar el riesgo de un posible contagio. A fin de introducir el factor de libre albedrío en la adopción de esta medida, se incorpora el parámetro de la probabilidad de desobediencia en el cumplimiento de esta recomendación.
- B) Identificación oportuna de los nuevos infectados y aislamiento inmediato. En este caso, se asume que existen filtros sanitarios suficientes para detectar los primeros síntomas de la enfermedad y, de resultar positivo el diagnóstico, remitir al infectado a una zona de confinamiento o aislamiento en forma oportuna. A fin de introducir la evasión voluntaria o el error en estos diagnósticos, se introduce el parámetro de la probabilidad de escape para la detección y aislamiento justo el día que inician los síntomas de la enfermedad (periodo de incubación).

El código NetLogo para el modelo propuesto permite habilitar, en forma incluyente,

cada una de estas estrategias, de tal forma que las simulaciones se pueden ejecutar en las cuatro posibles combinaciones, a saber: con ninguna de las dos estrategias habilitadas, habilitada sólo una de las dos estrategias, o con ambas estrategias habilitadas. De esta forma, se puede comparar la efectividad de cada una de estas combinaciones para mitigar los efectos perniciosos de la propagación de la infección simulada.

2.3. Reglas de interacción y posibles estados para los individuos

Los individuos pueden estar vivos o morir debido a la enfermedad, si no superan la fase crítica de la misma. Si un individuo se encuentra vivo, ya sea que se encuentre sano o enfermo, y este no tiene un encuentro con algún otro, tiene la posibilidad de moverse libremente para buscar encuentros personales, siempre y cuando el individuo no se encuentre aislado. Cuando un individuo se mueve libremente se siguen las siguientes reglas:

- I. El Individuo se mueve aleatoriamente para buscar un interlocutor con quien establecer un encuentro. Mientras no tenga interlocutor asociado, el individuo se encuentra libre para establecer un encuentro.
- II. Una vez que se encuentra cerca de algún posible interlocutor, verifica que el posible interlocutor no se encuentre aislado ni muerto. Si el posible interlocutor está disponible, entonces se establece un encuentro con el mismo y se convierte en el interlocutor en turno.
- III. Una vez establecido un encuentro, a fin de minimizar la probabilidad de una infección, los interlocutores pueden considerar atender o no atender la recomendación de mantener una distancia

mínima.

- IV. Una vez que un par de individuos se han encontrado e interactuado, proceden a terminar el encuentro y prosiguen en la búsqueda de nuevos encuentros moviéndose en forma aleatoria.

Mientras tanto, los individuos enfermos pueden contagiar a los sanos de acuerdo con la función de probabilidad que se encuentra en términos del inverso de 2 elevado a la distancia entre los interlocutores:

$$P(d) = \frac{1}{2^d}$$

donde P es la probabilidad de contagio y d es la distancia entre los interlocutores.

Se ha adoptado esta regla heurística dado que, de esta forma, se asegura que la probabilidad de contagio sea 1.0, cuando la distancia entre los interlocutores es cero y disminuye, en términos de la curva con un perfil correspondiente al inverso de una función exponencial, cuando la distancia aumenta. Por su puesto, esta función para la probabilidad de contagio en un encuentro también es completamente subjetiva pero, de nueva cuenta, un epidemiólogo especialista podría proponer una función para la probabilidad de contagio más exacta, en términos de la distancia entre los interlocutores y de la enfermedad específica.

Existe también un patrón de comportamiento para los individuos enfermos. Con independencia de que se encuentren aislados o libres, estos individuos tienen que someterse a los diferentes retos que implican la evolución de la enfermedad y los efectos de la misma. Para empezar, una vez que se cumple el periodo de incubación, si se encuentra habilitada la estrategia de detección y aislamiento, se

someten al paso por un filtro sanitario en el que se pueden detectar los síntomas de un individuo enfermo y remitirlo a un aislamiento o confinamiento para evitar que se convierta en un portador de la infección. En este punto, existe la posibilidad que un individuo enfermo evada el filtro sanitario o falle la detección de la infección, lo que se expresa con una probabilidad de escape.

Por otra parte, durante el transcurso del periodo infeccioso, el individuo enfermo será sometido a la fase crítica de la enfermedad que, para propósitos prácticos, se asume exactamente a la mitad del periodo infeccioso. En el día más crítico de la enfermedad, el individuo enfermo se somete a una prueba de resistencia donde puede sobrevivir con una probabilidad de 75%. Este valor, como ya se comentó, es sólo para propósitos demostrativos y también puede modificarse dentro del código sin mayor problema. Finalmente, si un individuo enfermo logra concluir el periodo infeccioso, se le considera recuperado y adquiere la condición de inmunidad a la enfermedad.

3. Código resultante y metodología de simulación empleada

3.1. Codificación del modelo con NetLogo

Gracias a las facilidades otorgadas por el lenguaje del entorno de programación NetLogo, el código resultante sólo contiene alrededor de 200 líneas de código. Se tomó como punto de partida el código PD N-Person Iterated model de U. Wilensky (Wilensky, 2002) y se realizaron los ajustes necesarios para funcionar de acuerdo a lo especificado. El código resultante se encuentra disponible en el repositorio GitHub (Laguna-Sánchez, 2020):

<https://github.com/galaguna/heuristicEpiDem-Iterated>

En este código, la unidad de tiempo son los ticks del entorno de simulación de NetLogo, que hacen las veces de los días transcurridos. Así mismo, la distancia euclidiana entre los agentes es la proporcionada por la función `distance()` y, para propósitos de nuestro código, se asumirá que sus unidades son metros lineales dentro del “mundo” de los agentes.

Durante la ejecución del modelo, dentro del entorno de NetLogo, los individuos sanos se despliegan en color verde, los individuos infectados en color rojo, los individuos aislados en color cian, los individuos inmunizados en color amarillo y, finalmente, los individuos muertos en color café.

3.2. Metodología y visualización de los resultados

Como ya se mencionó, el modelo propuesto se puede ejecutar en una de las cuatro posibles combinaciones de las estrategias consideradas, a saber:

- Escenario I, donde no se evitan encuentros cercanos y no se detecta ni se aíslan a los infectados.
- Escenario II, donde se evitan encuentros cercanos pero no se detectan ni se aíslan a los infectados.
- Escenario III, donde no se evitan encuentros cercanos, pero se detectan y se aíslan a los infectados.
- Escenario IV, donde se evitan encuentros cercanos y se detectan y se aíslan a los infectados.

Se pueden identificar estos posibles escenarios, en forma gráfica, en la figura 1.

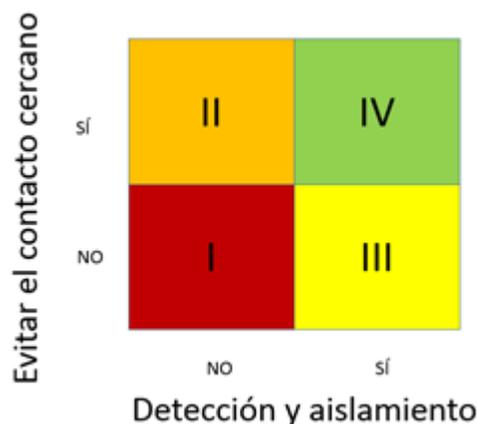


Figura 1. Posibles escenarios para las simulaciones con el modelo propuesto.

Entonces, la metodología para las simulaciones consiste básicamente en poner a prueba el modelo propuesto, con cada uno de los escenarios indicados, a fin de evaluar el desempeño de las estrategias involucradas. Para esto último, se hace especial énfasis en la tendencia del aumento o disminución de los nuevos casos de infectados por la enfermedad.

Aunque el entorno NetLogo permite obtener gráficas de las simulaciones con respecto del tiempo transcurrido durante la modelación, a fin de evaluar el desempeño de las estrategias empleadas de una forma más contundente, se ha optado por complementar las gráficas de tiempo con una gráfica donde se representan los nuevos casos contra el total de casos, tal y como lo hacen Aatish Bhatia y Henry Reich (Bhatia & Reich, 2020). En particular, en esta última gráfica de nuevos casos contra el total de casos, se emplea un promedio móvil de 7 muestras a fin de suavizar los efectos de las variaciones “diarias” y mostrar de forma más clara la tendencia de cada escenario.

4. Resultados de las simulaciones y discusión de los mismos

Las simulaciones se realizaron con los siguientes parámetros:

- I. Número inicial de individuos infectados (initial-positive-num): 10
- II. Número inicial de individuos sanos (initial-negative-num): 100
- III. Recomendación de mínima distancia (minimum-separation): 1.5
- IV. Probabilidad de no atender la recomendación de distancia mínima (disobedience-probability): 0.5
- V. Probabilidad de falla en la detección y aislamiento oportuno (detection-fault-probability): 0.5
- VI. Periodo infeccioso de la enfermedad (infective-period): 20
- VII. Periodo de incubación de la enfermedad (incubation-period): 5
- VIII. Probabilidad de sobrevivir a la fase crítica de la enfermedad (survive-probability): 0.75

En la figura 2 se presenta una dinámica representativa de la evolución de la epidemia para el escenario I, donde no se aplica ninguna estrategia para la contención de la propagación de la infección.

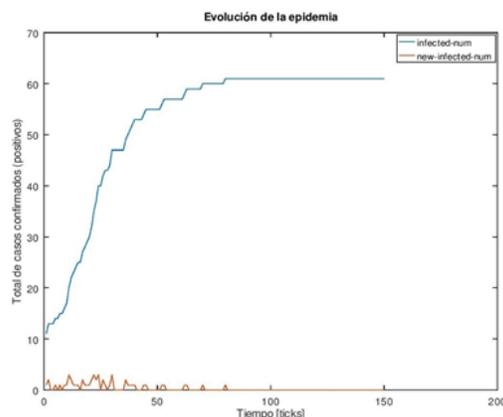


Figura 2. Evolución de la epidemia en el escenario I.¹

En la figura 3 se presenta una dinámica representativa de la evolución de la epidemia para el escenario II, donde se evitan los encuentros cercanos pero no se detectan ni aíslan a los individuos infectados.

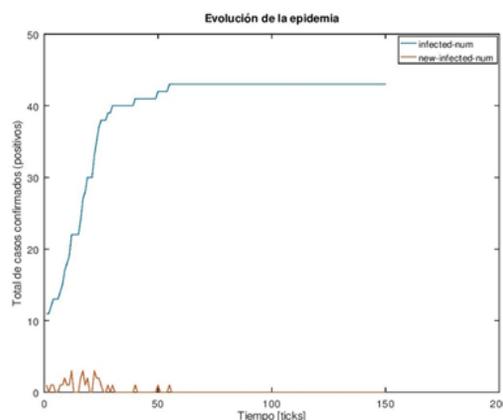


Figura 3. Evolución de la epidemia en el escenario II.

En la figura 4 se presenta una dinámica representativa de la evolución de la epi-

¹En las figuras 2, 3, 4 y 5, los ticks del modelo representan un lapso de tiempo que, para propósitos de este trabajo, pueden tomarse como días. Sin embargo, hay que aclarar que una equivalencia de tiempo más realista dependerá del ajuste del modelo respecto del evento real con el que se quiera empatar.

demia para el escenario III, donde no se evitan los encuentros cercanos pero sí se detectan y aíslan a los individuos infectados.

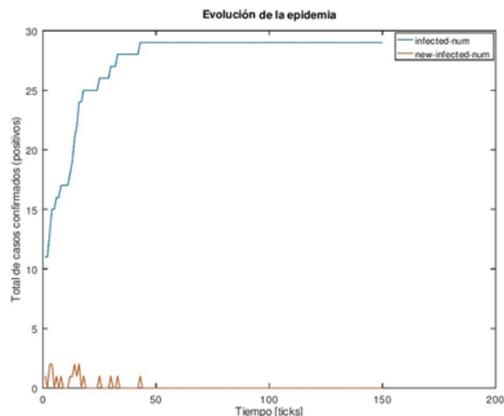


Figura 4. Evolución de la epidemia en el escenario III.

En la figura 5 se presenta una dinámica representativa de la evolución de la epidemia para el escenario IV, donde se evitan los encuentros cercanos y también se detectan y aíslan a los individuos infectados.

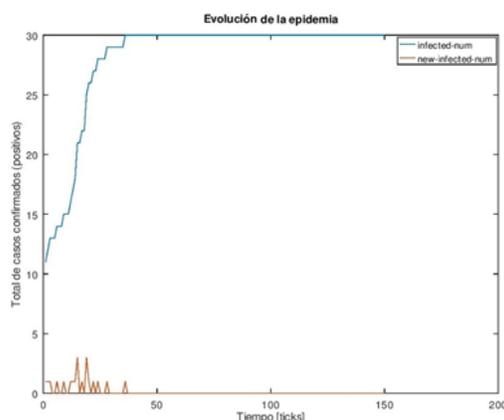


Figura 5. Evolución de la epidemia en el escenario IV.

Se puede observar que, en todos los escenarios, la dinámica para la evolución de los casos totales de infectados por la epidemia corresponde a un perfil exponencial

que repentinamente se aplana cuando el fenómeno concluye, es decir cuando ya no se presentan nuevos casos de infección. Así mismo, se observa que los nuevos casos siguen un patrón que no se encuentra correlacionado con el eje del tiempo, ya que los nuevos casos pueden surgir en cualquier momento.

Obsérvese que cuando el perfil se vuelve plano, ello indica que se ha alcanzado el número máximo de individuos infectados debidos a la propagación de la epidemia. Es conveniente hacer notar que en estas gráficas se puede determinar, en promedio, cuáles son las consecuencias de la epidemia para cada escenario, en relación al número total de individuos infectados. Por ejemplo, en las simulaciones realizadas con una población inicial de 110 individuos (100 sanos y 10 infectados), el promedio de casos totales de individuos infectados para el escenario I fue de 61, para el escenario II fue de 45, para el escenario III fue de 29 y para el escenario IV fue de 30. Esto, de entrada y como era previsible, indica que el peor escenario es el escenario I, donde no se aplica ninguna de las estrategias para contener la epidemia; seguido del escenario II, donde se evita el encuentro cercano pero no se detectan ni aíslan a los individuos infectados. Finalmente, se observa que los escenarios III y IV, para propósitos prácticos, pueden considerarse como equivalentes en lo relativo al número total de individuos infectados que alcanzan.

En este punto es importante hacer notar que, tanto el escenario III como el escenario IV, incluyen la estrategia de detección y aislamiento oportuno de los infectados. El comportamiento tan similar del modelo en ambos escenarios apunta a que la mejor estrategia para contener

la propagación de la epidemia es la que consiste en detectar y aislar los nuevos infectados, y esto prácticamente con independencia de si se adopta o no la estrategia de evitar los encuentros cercanos.

Aunque las gráficas de las figuras 2 a la 5 nos dan una idea general de la dinámica de la epidemia en los distintos escenarios, no muestran con mucha claridad cuál de los cuatro escenarios es el mejor. Esta es la razón por la que se decidió complementarlas con la gráfica de las variaciones respecto a los totales acumulados. La intuición detrás de esta última gráfica es que las variaciones (los nuevos casos de individuos infectados) son, de alguna manera, proporcionales a la cantidad total (el número acumulado de individuos infectados) en turno, de tal forma que esta nueva visualización nos proporciona una noción de la tendencia en la evolución de la epidemia (Reich, 2020). De esta forma, es posible comparar de una mejor forma el desempeño de las simulaciones en cada uno de los escenarios, tal y como se puede apreciar en la figura 6.

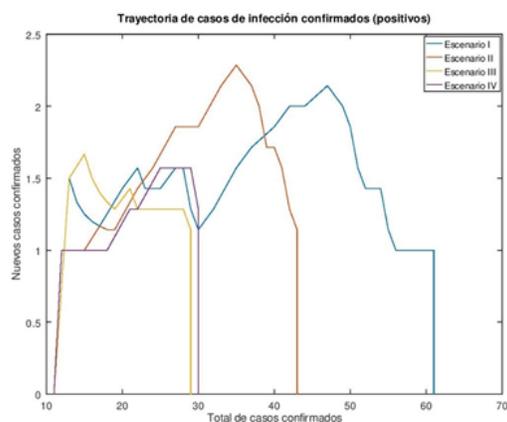


Figura 6. Comparación de las trayectorias de tendencia para los cuatro escenarios.

En la figura 6, es evidente que la combinación de estrategias que corresponden a los escenarios III y IV, son prácticamente equivalentes en tanto el punto de donde cambia la pendiente de la tendencia, respecto del número de nuevos casos de individuos infectados, y, más aún, el punto donde la epidemia encuentra su fin. En esta nueva gráfica, también se puede encontrar, en el eje de las abscisas, el punto donde cada escenario termina con un número total de casos de individuos infectados. En esta última gráfica, no sólo es posible comparar el número total de individuos infectados sino, sobre todo, el máximo nivel de los picos en las apariciones de nuevos casos de individuos infectados. De nueva cuenta, podemos confirmar que el peor escenario es el escenario I, seguido del escenario II, mientras que los escenarios III y IV son prácticamente equivalentes, representando a los escenarios más benévolos.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un modelo heurístico para simular la dinámica de una epidemia ocasionada por una enfermedad infecciosa. Se ha empleado un conjunto de reglas heurísticas relativamente simples y el modelo se ha soportado por agentes que se mueven aleatoriamente en un espacio bidimensional. Para la codificación del modelo heurístico, se empleó el entorno de programación para agentes conocido como NetLogo, que permite programar de una forma sencilla e intuitiva, y se realizaron simulaciones que evidenciaron que el modelo genera perfiles exponenciales, con secciones finales aplanadas, para la representación gráfica de la dinámica de propagación para una enfermedad infecciosa, tal y como ocurre en el mundo real.

Se aprovechó el modelo propuesto para

comparar el desempeño de dos estrategias que se han aplicado, sobre todo recientemente, para contener la propagación infecciosa derivada del fenómeno de pandemia atribuido al COVID-19, a saber: a) evitar los encuentros cercanos y b) detectar y aislar en forma oportuna los nuevos casos de infección. Los resultados de las simulaciones con el modelo propuesto muestran que la estrategia más efectiva, incluso si esta se aplica como medida única, es la detección y el aislamiento oportuno de los nuevos infectados.

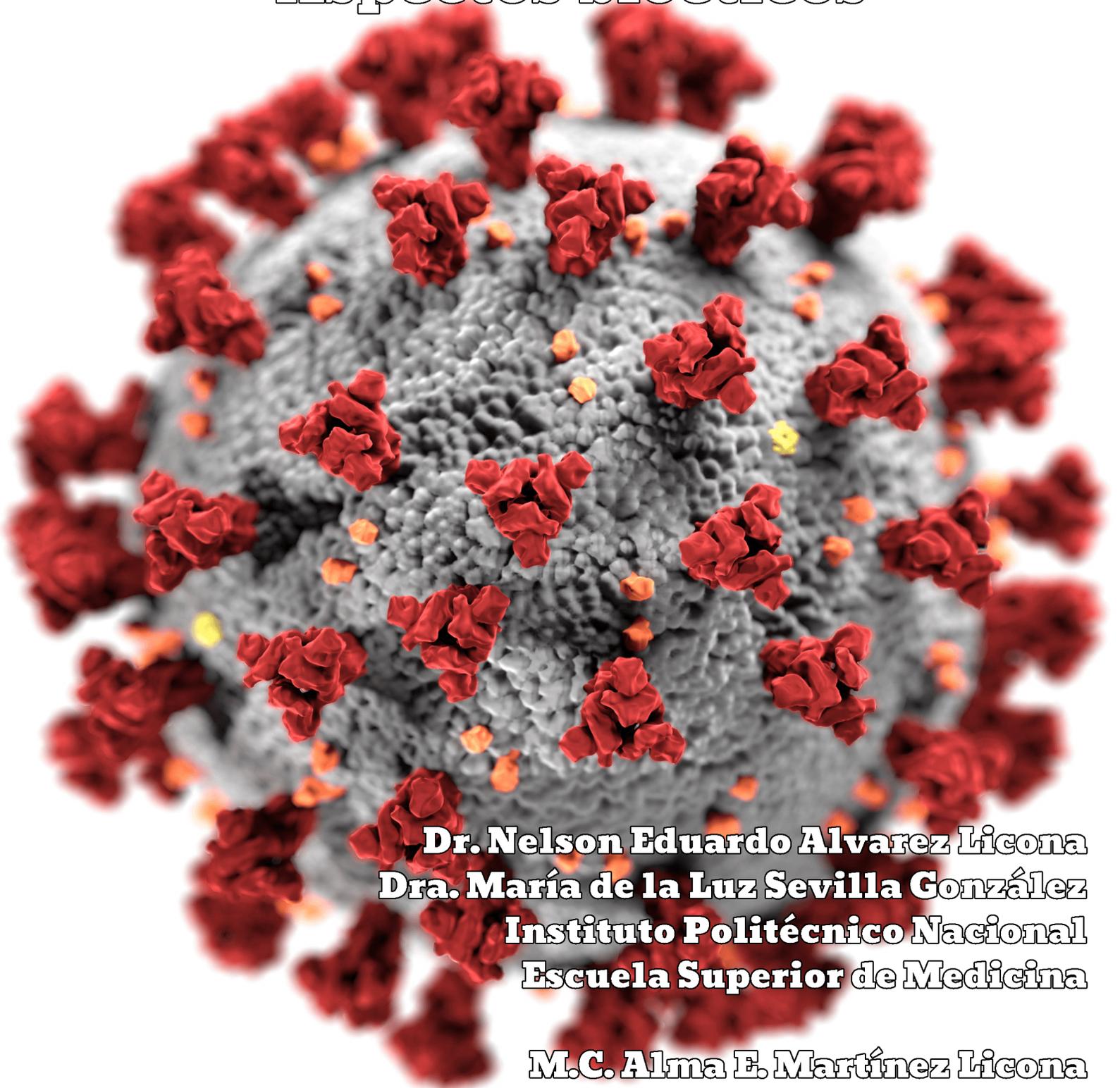
Los autores esperan que este trabajo sea de interés para los especialistas de la ciencia epidemiológica, pero también para el público en general, en tanto estamos ante una problemática compleja que nos afecta a todos, de manera global, y que demanda contribuciones que ofrezcan herramientas para la mejor toma de decisiones en el ámbito de las políticas de salud pública.

Bibliografía

- Bhatia, A. and Reich, H. Covid Trends. 2020. <https://aatishb.com/covidtrends/>
- Daley, D. J. and Gani, J. Epidemic Modelling: An Introduction, Cambridge Studies in Mathematical Biology. Cambridge University Press, USA, 1999.
- Diekmann, O. and Heesterbeek, J.A.P. Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases: Model Building, Analysis and Interpretation. John Wiley & Sons, USA, 2000.
- Herrera-Valdez, M. A.; Cruz-Aponte, M. and Castillo-Chavez, C. Multiple outbreaks for the same pandemic: Local transportation and social distancing explain the different waves of AH1N1PDM cases observed in Mexico during 2009. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 8 [1], p.p. 21-48, 2009.
- Laguna-Sánchez, G. A. NetLogo heuristicEpiDem Iterated model, GitHub, 2020. github.com/galaguna/heuristicEpiDem-Iterated
- Mitchell, M. Complexity: A Guided Tour. Oxford University Press, USA, 2009.
- Reich, H. How to tell if we're beating COVID-19. 2020. MinutePhysics. <https://youtu.be/54XLXg4fYsc>
- Wilensky, U. NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1999.
- Wilensky, U. NetLogo PD N-Person Iterated model. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 2002. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PDN-PersonIterated>.
- Xia, Yingcun and Ma, Stefan. Mathematical Understanding of Infectious Disease Dynamics (Lecture Notes Series, Institute for Mathematical Sciences: Volume 16). National University of Singapore, Singapore, 2008.
- Yang, C. and Wilensky, U. NetLogo epiDEM Basic model. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 2011. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/epiDEMBasic>.

Pandemia COVID-19

Aspectos bioéticos



Dr. Nelson Eduardo Alvarez Licona
Dra. María de la Luz Sevilla González
Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Medicina

M.C. Alma E. Martínez Licona
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa

A partir de la aparición del SARS COV2 o COVID-19, en el panorama mundial, se han generado cambios en muy diversos a partir de la emergencia sanitaria mundial. Primeramente deseamos precisar que denominaremos COVID-19 para evitar confusión o temor con la designación, “Desde el punto de vista de la comunicación de riesgos, utilizar el nombre «SRAS» puede tener consecuencias no deseadas, en el sentido de generar un temor innecesario en algunas poblaciones, especialmente en Asia, que fue la región más afectada por el brote de SRAS en 2003”¹

El imperativo fue, el salvar vidas humanas y generar estrategias de atención, prevención, diagnóstico, acceso a los sistemas de salud. El investigar más acerca del comportamiento del virus, de personas contagiadas, el evaluar costos y acceso a los equipos y medicamentos, el mapear el número de hospitales para la atención de pacientes con COVID-19, implicó no solo la participación de médicos y enfermeras, sino varias decenas de profesionistas, especialistas y técnicos civiles, militares y navales que han realizado su trabajo de forma anónima, responsable y solidaria. En este camino vertiginoso que a partir del 1 de Marzo del 2019, se modificó la vida cotidiana de todo ser humano en el planeta. La salud, la educación, la administración, la economía, el ejercicio laboral, la producción industrial y las relaciones personales. Todo ello se orientaron al mismo al mismo fin: Tratar de salvar el tesoro máspreciado por todos, que es la vida misma, **“quien soy yo... un verdadero tesoro”**, como reflexionaba el filósofo español Pedro Lain Entralgo² en su discurso en la Real Academia Española en 1953.

1.-El trabajo multidisciplinario de un sistema sanitario.

1.- La congruencia como aspecto bioético.

El ingeniero biomédico al igual que otras profesiones y especialidades médicas están regulados por las obligaciones éticas internacionales y la regulación nacional en Salud de cada país. El trabajo multidisciplinario que realiza ingeniero biomédico es multidisciplinario en las ciencias de la salud, es diverso en cuanto a que su trabajo se centra en diseñar o ajustar un equipo médico para devolver la funcionalidad al paciente. Asesorar al profesional de salud acerca de los equipos, mantenimiento y funcionalidad. Como el caso de “Joseph Habiyaemye, uno de los ingenieros que trabaja en el prototipo, aseguró que la idea de hacer ventiladores surgió el mes pasado: ”Tras ver cómo la pandemia ha asolado el mundo y la importancia de los respiradores en el tratamiento del virus, nos desafiamos a tratar de producirlos localmente. Los ingenieros están probando dos tipos de respiradores, uno destinado al tratamiento de los pacientes de los hospitales y otro portátil para usar en los traslados en ambulancia. Llevamos trabajando en este proyecto ocho días. En un principio comenzamos a recoger materiales para desarrollar el equipo y llamamos a profesores de universidades especializados en el campo de la salud para que vinieran a verificar el equipo. Ahora tenemos equipos que parecen un respirador normal” declaró el investigador e ingeniero biomédico a la prensa The new times Rwanda³. La articulación entre la ingeniería y la medicina hacen que la profesión tenga un amplio espectro de participación en la atención médica y hospitalaria. Su conocimiento sobre el funcionamiento tecnológico aplicado al equipo médico, a

dispositivos de diagnóstico, o de imagen hace del ingeniero biomédico un profesionalista con una amplitud de participación en las instituciones de salud. Y qué decir de la ingeniería de tejidos celulares, que tiene una estrecha relación con la bioética en relación a la seguridad y riesgo biológico y prácticas y guías de protección del manejo de agentes biológicos y patógenos, otras líneas de investigación trabajan sobre normas de actuación de bioseguridad frente al manejo de residuos de tejido celular y cultivos. El trabajo transdisciplinario entre la ingeniería, la medicina y la biología en los proyectos del cultivo de piel humana, son una alternativa maravillosa para pacientes cuyas quemaduras requieren de cubrir gran parte de la superficie de su cuerpo. Cuando se habla de un sistema sanitario, se reconocen diversos actores y funciones de los miembros, tan importante en un sistema de salud es la enfermera, el médico, el camillero, la trabajadora social, el químico, el farmacéutico, el personal de archivo. . . . No es posible la ponderación de un actor sobre otro, su relación vinculada con el paciente o sujeto de estudio es el objetivo principal.

Nunca antes como ahora frente a la pandemia de COVID-19, la presencia del Ingeniero biomédico, ha quedado claro dentro del sistema sanitario su quehacer está comprometido con la seguridad y la calidad de vida del paciente por tanto su ejercicio profesional y de investigación está regulado por los mismos principios éticos que la medicina.

Si es así, entonces surge una pregunta: ¿por qué durante décadas el Ingeniero biomédico se ha encontrado invisibilizado? dentro de una institución de salud. Es importante reconocer el papel estructural

que juega el ingeniero biomédico. No solo en las áreas de diagnóstico, y tratamiento, también en las áreas de rehabilitación y trabajo con pacientes crónicos como salas de diálisis o banco de sangre en áreas de transfusión.

Frente a la pandemia, nuevamente la figura del ingeniero biomédico se hace presente en el sistema sanitario, que requiere de realizar procesos de desinfección del lugar, el responsable de cumplir con procesos de bioseguridad en de salas de cirugía, pabellones de tratamiento a pacientes COVID-19, consultorios, áreas de terapia intensiva, consultorios y salas de espera, será un ingeniero o equipo de trabajo multidisciplinario.

Dentro de las Buenas Prácticas que tenemos que reconocer aquellos que nos ha tocado vivir la experiencia del COVID-19 en este año 2020, es reconocer que todos los actores en un sistema sanitario son igualmente necesarios e importantes. Abrir los oídos a tener un discurso de la inclusión nos permitirá tener una actitud justa frente a todos los actores sociales y mecanismos y procesos que configuran un sistema sanitario. Si deseamos una sociedad justa, empecemos por no destacar personas, profesiones, grados académicos, que solo marcan categorías entre los sujetos sociales. Tenemos que aprender el discurso de la inclusión, decir que el equipo sanitario es el héroe en esta pandemia. Hay que practicar el discurso incluyente donde prive la igualdad, la justicia y el reconocimiento a todos los actores sanitarios.

“En reconocimiento al trabajo desarrollado durante la pandemia el Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS) entregará reconocimiento y remuneración económica a personal sanitario: “El director

del Seguro Social mencionó que la presea en Grado Cruz se entregará con 50 mil pesos a **500 médicos y enfermeras** postulados por la comunidad de los Hospitales COVID más productivos, es decir, donde han estado los casos y las jornadas más pesadas. . . Para el caso de premiación en Grado Banda, el premio será de 30 mil pesos a mil médicos y enfermeras integrantes de equipos COVID-19, postulados por las Instituciones por su conducta ejemplar, señaló. . . Comentó que los recursos para premiar a los **médicos, enfermeras** y todos los trabajadores de la salud que atienden pacientes COVID-19⁴. . .”

La figura médica desde Galeno siempre ha sido centro de atención y respeto. Por supuesto que no hay duda de esto, lo es y seguirá siendo, pero también es necesario reconocer que hay distintos profesionistas, especialistas y técnicos que son invisibles a los ojos del tomador de decisiones o del directivo en el sistema sanitario, hace falta un discurso integrador del sistema sanitario. Héroe de la pandemia son todos: el camillero, el radiólogo, el químico, el ingeniero, la enfermera, la técnico en lavandería, el cocinero, el ingeniero, el médico, el experto en rehabilitación. . . Tenemos que ampliar nuestro discurso reconociendo a los actores que también forman parte del mismo sistema de salud. Y retomamos unas palabras de Azucena Couceiro⁵: cuando dice: “El diálogo es el único procedimiento capaz de respetar la individualidad de las personas y, a la vez, su innegable dimensión solidaria. Por lo tanto cuando hablamos de un sistema sanitario hay que mencionar a todos por igual, ya que todos somos “interlocutores válidos . . . no puede excluirse a priori a ninguna de las personas afectadas por la norma”⁵. Esta pandemia ha dejado grandes

enseñanzas una más puede ser quitar la opacidad o el velo que existe al hablar de un sistema sanitario en el que todos los actores entran y son igualmente valiosos en una estructura de equidad, de solidaridad, responsabilidad, y de humanismo.

Estamos aprendiendo a trabajar en equipo, por un objetivo. Ayudar al paciente. Tenemos que asimilarlo e integrarlo a nuestro conocimiento diario. Solo en ese sentido podremos avanzar a estadios superiores de diálogo y comunicación efectiva.

En 1981 cuando apareció en el mapa mundial la pandemia del Síndrome de Inmuno Deficiencia Adquirida (sida) o Aids (Acquired Immune Deficiency Syndrome), varios testimonios en todo el mundo reconocían que **“el sida sacó lo mejor y lo peor de cada persona”**⁶. En el año 2000 se decía: “La enfermedad del sida plantea aspectos bioéticos a tratar en tres áreas de trabajo: 1.- área preventiva, 2.-área terapéutica y 3.-área de investigación⁷” si hacemos una analogía con COVID-19 el fenómeno se repite.

2.-El individualismo como visión antropocéntrica:

Hay que reconocer que COVID-19 ha sacado lo mejor y lo peor de los seres humanos. En una sociedad tan individualizada como la sociedad occidental, entre miembros de una comunidad, ha prevalecido también, el egoísmo, la indiferencia, la falta de solidaridad y humanismo frente a las personas vulnerables, que no están inmersas en un modelo de contratación laboral fijo, ya sea estatal o privado. En Centroamérica y Sudamérica quienes han sido afectados de forma superlativa es casi el 50% de la población en un país. La pobreza, la marginación, el aislamiento son un esquema que

favorece la propagación del virus. Deseamos hacer notar las diferencias de trabajadores que existen del centro del Continente Americano y Sudamérica. Dejamos de lado a empresarios, políticos y funcionarios de alto nivel ya que ellos tienen holgura económica y el problema de acceso a la salud está resuelto. En América Latina tenemos tres tipos de empleados o trabajadores. Primero aquellas personas que de forma segura reciben su salario y trabajan una o dos veces por semana, o bien desarrollan su trabajo de manera virtual. Reciben su salario o parte del mismo pero pueden cumplir con el slogan de: **“Quédate en casa”**, tienen mayor posibilidad de cuidar la salud sin salir de casa, trabajan si pero con un margen de seguridad del 100%. El segundo tipo de trabajadores son aquellos que tienen un pequeño negocio: el zapatero, del panadero, el cartero, el mecánico, el fontanero, el carnicero, el farmacéutico o el dependiente de una tienda. Ellos no pueden permitirse cumplir con **la recomendación de quédate en casa** ya que si el pequeño negocio o tienda no abre entonces no se genera el dinero para subsistir. Luego hay un tercer tipo de trabajador el campesino que si no siembra, no cosecha, del trabajador de la construcción, que si no se presenta no le pagan, la mujer que realiza trabajos de costura o limpieza de casas si no se presenta no recibe pago alguno, en ellos su economía familiar es más frágil, no pueden cumplir la recomendación de quedarse en casa, ya que si no trabajan ese día no se come en casa. Y que hay de los que están en paro debido a que han sido despedidos antes durante o después de COVID-19, las necesidades de la familia se tienen que buscar, transportándose en medios públicos donde hay mayor riesgo de contagio, solicitar trabajo, ¿dónde si todo el mundo tiene miedo al contagio del otro?,

las caretas, cubrebocas y geles protectores tienen un costo, sin embargo no se tiene acceso a ello, por tanto se encuentran en doble o triple riesgo al contagio. Estas son las consecuencias económicas de vivir en un país donde existen grandes desigualdades económicas. La pandemia mundial ha desvelado un esquema de inequidades que se magnifican en América Latina.

La visión antropocéntrica ha sido una práctica siglos atrás y ahora mismo incluso cuando creemos que la naturaleza y el medio ambiente, nos pertenece que hemos domado a la naturaleza, explotando los bosques, contaminando las rías, y el subsuelo, cambiando los cauces naturales para construir y edificar grandes ciudades. El costo y los resultados de esta gran equivocación la tenemos en puerta.

“El orden del mundo no ha sido establecido por la razón humana, no pudiendo llegar a dominarlo totalmente”⁸ El cambio climático y los efectos que de él se desprenden. La visión bioética de Van Renselaer Potter visionario en los años 70s tuvo a bien promover la bioética global, una disciplina que generó la alerta al mundo sobre los peligros presentes y futuros de afectar a la tierra, único lugar de los seres vivos. Potter creía que de seguir con las prácticas antropocéntricas sin entender que se debe cambiar hacia una visión biocéntrica, donde no solo él hombre no se ubique en el centro u ombligo del mundo sino la vida en general, humana, animal, vegetal.

“La ética ambiental, que a la vez se encuadra dentro de la Bioética Global, debe preocuparse de los siguientes problemas: De los efectos potenciales del cambio climático y de la intensificación del efecto invernadero: La principal causa del cambio

climático es el calentamiento global del planeta, a consecuencia del efecto invernadero; provocándose transformaciones climáticas regionales y locales y un ascenso del nivel del mar. Se sospecha que el cambio climático podría anegar unas 300 islas del Pacífico, y referente a los efectos en los ecosistemas terrestres, son menos conocidos los referentes a las cosechas y los bosques”⁸.

En el mes de Junio de 1992 se realizó por parte de naciones Unidas en Rio de Janeiro la Declaración sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo esta se conoce como la Declaración de Rio, son 27 principios o postulados bioéticos relativos a los derechos de la tierra y de los seres vivos en estos postulados dejan patente que los recursos naturales deben ser utilizados de forma racional y que deben generarse prácticas para su conservación y mantenimiento para un presente y futuro inmediato. “El objetivo de establecer una alianza mundial nueva y equitativa mediante la creación de nuevos niveles de cooperación entre los Estados, los sectores claves de las sociedades y las personas, ...para que se proteja la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial”⁹.

Resulta interesante analizar el principio No 22 el cual dice: “Las poblaciones indígenas y sus comunidades, así como otras comunidades locales, desempeñan un papel fundamental en la ordenación del medio ambiente y en el desarrollo debido a sus conocimientos y prácticas tradicionales. Los estados deberían reconocer y apoyar debidamente su identidad, cultura e intereses y hacer posible su participación efectiva en el logro del desarrollo sostenible”¹⁰. reconoce que son los Pueblos Indígenas quienes durante siglos han reconocido el equilibrio que requiere la “Madre tierra”

para perpetuar sus beneficios”. La reforestación, el uso racional de los productos y el mantenimiento de los mismos es una práctica empírica que por generaciones las comunidades realizaban. Al cambiar la visión de equilibrio por la explotación irracional es que se ha deteriorado el ambiente en el que vivimos. Habrá que regresar los pasos y reconocer la sabiduría que por generaciones los campesinos han practicado.

Fernando Lolas Stepke llama la atención al puntualizar que hace falta crear una dimensión humana sobre el tema del medio ambiente “los problemas medioambientales no se perciben siempre de la misma manera y que su percepción es función de un aparato perceptor entrenado y sensibilizado. La dimensión bioética que destacamos agrega a eso la necesidad de una alfabetización general en los asuntos científicos para calibrar con precisión las amenazas y los desafíos. De otro modo, se cae fácilmente en las prédicas moralizantes, en las descripciones de amenazas apocalípticas o en las vocinglerías teatrales de la industria que pasa por .ecológica”¹¹.

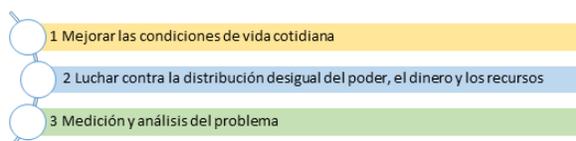
En una conferencia realizada por Van Rensselaer Potter en 1962 en Dakota del sur ya destacaba su interés filosófico por encima de su especialidad en medicina y estudios sobre el Cáncer, “lo que me interesaba en ese entonces, era el cuestionamiento del progreso y hacia dónde estaban llevando a la cultura occidental todos los avances materialistas propios de la ciencia y la tecnología. Expresé mis ideas de lo que de acuerdo a mi punto de vista se transformó en la misión de la bioética: un intento por responder a la pregunta que encara la humanidad: ¿Qué tipo de futuro tenemos por delante? ¿Tenemos alguna opción?”¹². El interés de Van Rensselaer

Potter queda patente en los postulados que más tarde publicará en sus libros en 1970-1971: *Bioethics: the science of survival* and *Bioethics: Bridge to the Future* y dónde demuestra su preocupación e interés por el devenir del futuro del planeta. La soberbia del ser humano ha sido tal que considerábamos que la naturaleza estaba a los pies del hombre, sin darnos cuenta que el desarrollo biotecnológico ha traído consigo también grandes peligros en cuanto a la contaminación del aire, agua, mares y territorio. Tenemos que considerar que el desarrollo tiene obligatoriamente que ser sostenible y que tenga en cuenta el cuidado del medio ambiente de lo contrario, acabaremos con la única casa que tenemos: “La tierra”.

3.-Inequidades en salud reflejo de Condiciones Sociales.

Hace ya más de 15 años que la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2005 la estableció la Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud¹³, en la que se impartió formación, capacitación y asesoramiento en distintos países e instituciones de salud, educativas y de gobernanza, con el objeto de disminuir las brechas de inequidades en salud.

El informe final de ésta Comisión fue publicado en 2008 desde entonces la OMS emitió tres recomendaciones urgentes.



Nunca es demasiado tarde para medir la desigualdad existente en los países a nivel

mundial y tomar decisiones en torno a generar un estado de bienestar a partir de generar Políticas Públicas que integren a las poblaciones vulnerables a un sistema productivo. El COVID-19 ha servido para desvelar la brecha de inequidades en muchos espacios de la vida cotidiana. No solo en salud, en educación, en espacios laborales, en identificar que la mitad de la población, no cuenta con un salario fijo y que carece de mínimos indispensables para vivir.

El Dr Lazcano¹⁴ ha hecho énfasis en que la salud es un privilegio de clase, y el coronavirus ha demostrado que es cierto. Este esquema debe cambiar como deben cambiar la filosofía de los esquemas de privilegios para unos cuantos y una explotación laboral indiscriminada que se aprovecha de los grupos más vulnerables.

En la información oficial de Naciones Unidas, Michael Ryan¹⁵ experto de la OMS sobre el tema de COVID-19 comentó la preocupación en la OMS que la pandemia de coronavirus se encuentra especialmente activa en las Américas y de manera intensa en América Latina el problema es que aún no se alcanza el punto máximo de contagios, “aseguró durante la conferencia habitual de la Organización, que el país norteamericano es el número tres de la lista de 10 naciones **con el mayor número de muertes** desde el jueves, La situación de México es claramente difícil y desafiante. Un 37% de las pruebas que se están haciendo están saliendo positivas”, aseguró Ryan.

La aparición de COVID-19 ha sacado a relucir la enorme desigualdad que hay en los países de América latina, “a esa condición se agrega la de una enorme desigualdad, en parte debida a la misma expansión industrial acelerada. Hay des-

igualdad entre países ricos y pobres, entre hombres y mujeres, entre viejos y jóvenes, entre poblaciones estables y poblaciones migrantes y desplazadas. Hay desigualdad en el ingreso, en el acceso a la educación o a la cultura, en el disfrute de bienes tan necesarios como la electricidad, el internet, el drenaje y el agua potable y, desde luego, en la atención a la salud. No se trata solamente de que haya hospitales o no, sino del estado de salud diferenciado de quien ha tenido acceso a alimentos sanos, medicinas y visitas al médico durante toda su vida y quien ha atravesado por una vida o largos periodos de penuria y abandono¹⁶”.

Si volteamos la mirada hacia la historia COVID-19 ha dejado grandes aprendizajes si que qué sí, y solo sí sabemos escuchar con sabiduría, lograremos entender que es inevitablemente y urgente ¡cambiar! algunos procedimientos, prácticas y modos de pensar. El Dr. Anthony Fauci¹⁷ y el Dr. David Morens, del Instituto Nacional de Alergias y Enfermedades Infecciosas en Estados Unidos, analizan la pandemia de COVID-19 y hacen la siguiente reflexión: “La pandemia de COVID-19 es otro recordatorio, agregado a la larga lista mortal de recordatorios históricos, de que en un mundo dominado por humanos, en el que las actividades del hombre representan integraciones agresivas, dañinas y desequilibradas con la naturaleza, provocaremos cada vez más nuevas enfermedades emergentes. COVID-19 se encuentra entre las llamadas de atención más vívidas en más de un siglo” Tomemos esta reflexión no en un sentido catastrófico sino como una llamada de atención ya que aún es tiempo.

Valga la siguiente cita de un hombre sabio escritor, filósofo, lingüista y estudioso y maestro de la semiótica Estonia/Rusa:

Iuri M. Lotman “Sobreviviremos si somos sabios: La tierra en la que vivimos no es nada grande. Antes sí parecía enorme. Todavía cuando yo era joven parecía que era interminable. Pero ahora vemos que es pequeña. Por eso, no debemos vernos aislados de los armenios, no debemos vernos aislados de los acontecimientos en el Cáucaso, no debemos vernos aislados de los acontecimientos en todo el mundo. Estamos en la misma barca: o nos hundimos todos juntos o nos salvamos todos juntos. Salvase aisladamente, sin embargo, no puede nadie. La única manera de salvarse es tener ánimo y ayudar al prójimo¹⁸”.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Los nombres de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y del virus que la causa [https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it)
- 2.-Lain Entralgo Pedro. La memoria y la esperanza. Ed. Real Academia de España 1953.
- 3.- <http://www.africafundacion.org/ingenieros-biomedicos-ruandeses-inician-la-produccion-de-respiradores-locales>
- 4.- <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/202005/327>
- 5.-Couceiro Azucena. La ética en el diálogo del mundo sanitario. Humanidades médicas Jano: Medicina y humanidades, ISSN-e 0210-220X, N^o. 1586, 2005, pág. 72
- 6.-Sevilla González María de la Luz. Discriminación, discurso y SIDA, Revista Cuicuilco versión impresa, ISBN 0185-1659,

2010 México.

7.- Sevilla González María de la Luz. Modelos de análisis lingüísticos aplicados al Discurso de la salud. Identidad, Discurso y SIDA. Ed. Instituto Politécnico Nacional. ISBN:978-607-414-442-0

8.- 1. Ruiz A. Fundamentos éticos de la relación del hombre con la naturaleza. In: López A, Ruiz A, Llano F. Deontología Biológica. Pamplona: Facultad de Ciencias de la Universidad de Navarra; 1987. p. 243-53. 9.- Capó Andrés, Drane James. Planteamientos Bioéticos del Medio Ambiente Revista - Centro Universitario São Camilo - 2014; vol 8, (No1):46-52

10.- <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm#:text=Los%20seres%20humanos%20constituyen%20el,en%20armon%C3%ADa%20con%20la%20naturaleza>.

11.- Lolas Stepke Fernando. Bioética global y el problema del medio ambiente. Rev. Estudios Internacionales. Revista de Estudios Internacionales. (Santiago, en línea) vol.48 no.185 Santiago 2016. versión On-line ISSN 0719-3769 <http://dx.doi.org/10.5354/0719-3769.2016.44517> .

12.- Schmidt, Ludwing. 2008. “Van Rensselaer Potter: Un paradigma de vida”. En Revista de Bioética Latinoamericana. Vol. 001, N^o. 1. Mérida, Venezuela.

13.- https://www.who.int/social_determinants/es/ Reducir las inequidades sanitarias actuando sobre los determinantes sociales de la salud

14.- Lazcano Araujo Antonio, Mitos y

Realidades.

<https://www.youtube.com/watch?v=6CGf3ti119Q>

15.- Sede de Naciones Unidas. <https://coronavirus.onu.org.mx/mexico-necesita-unidad-nacional-para-derrotar-el-coronavirus>

16.- <https://www.who.int/es/news-room/detail/29-06-2020-covidtimeline>

17.- COVID-19 is a rapidly evolving emerging. Publications and articles by Dr. Anthony Fauci .<https://www.niaid.nih.gov/director/publications>

18.- Iuri M. Lotman. Sobreviviremos si somos sabios. Entretextos Revista Electrónica Semestral de Estudios Semióticos de la Cultura N^o 10 Granada, Noviembre 2007 ISSN 1696-7356 <http://www.ugr.es/local/mcaceres/entretextos.htm>

El problema de horarios y cursos basado en currículum

A person is sitting on a green lawn, working on a laptop. They are wearing a black long-sleeved shirt and tan pants. A white backpack is on the grass next to them. In the foreground, another person's hands are visible, holding a spiral-bound notebook. The person in the foreground is wearing a dark blue sweater and a black watch. The background is a blurred green lawn.

**Ing. Jorge Carlos González González
M.C. Alma Edith Martínez Licona
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa**

Los problemas de horarios surgen en diversos campos donde se tenga la necesidad de administrar diversos recursos (infraestructura, personas, tiempo, etc.) e.g. hospitales (nurse rostering problem) [1], compañías (personnel scheduling) [2], instituciones educativas, por mencionar algunos.

Particularmente para las instituciones universitarias es un problema de interés, debido a que cada nuevo periodo escolar, deben de generar o reajustar sus horarios para ofrecer una serie de asignaturas y eventos en los salones que poseen durante el periodo escolar. Es en este tipo de escenario donde entra el problema de horarios y cursos basados en currículum [3].

El problema de horarios y cursos basado en currículum (por sus siglas en inglés, CBCT) abre una oportunidad como un acercamiento a las dificultades que tienen las instituciones educativas para resolver los problemas relacionados con la generación de calendarios. El esquema CBCT fue propuesto por la Competencia Internacional de Horarios (por sus siglas en inglés, ITC) en el año 2007, y es hasta la fecha un problema que continúa siendo estudiado [4].

El planteamiento propuesto por CBCT no es el primer esquema para abordar los problemas de calendarización para instituciones educativas [5] [6], pero se diferencia de otros modelos debido a que su enfoque se encuentra hacia el lado de la institución, generando el horario con base en los cursos que deben ser ofertados en el ciclo escolar, a diferencia de otros acercamientos como lo podría ser el problema de UCTP (por sus siglas en inglés: el problema de horarios y cursos universitarios), el cual propone la elaboración de horarios con relación a los alumnos y sus cursos [7].

La idea esencial de CBCT, es el alojar un conjunto de lecturas de cursos (la lectura en el contexto del problema es el equivalente a una clase) en diferentes periodos de tiempo, mientras se respetan una serie de restricciones de carácter duras y blandas que deben ser cumplidas al momento de proponer un horario [8] [9].

Variables

El problema de horarios y cursos basado en currículum, maneja diversas variables que representan recursos que una institución educativa debe administrar: profesores, cursos, salones, tiempo, etc., por lo que, para una clara ilustración del problema, se hará una descripción de cada una [10].

La forma de dividir el tiempo puede ser manejado con las siguientes variables: día y hora. Los días representan la semana de trabajo de la institución educativa (típicamente 5 a 6 días), mientras que las horas son los periodos de actividad que tiene la institución para realizar las labores [4] [9].

Los cursos son las materias que oferta la institución educativa en cada nuevo periodo escolar. Cada curso consta de un número fijo de lecturas que deben ser programadas en distintos periodos de tiempo, además cada lectura es atendida por un número definido de estudiantes y es impartida por un profesor. Como última característica, cada curso tiene un número mínimo de días en los que debe de ser extendidas las clases en el calendario [4] [8].

Los salones son las estancias donde se ofrecen las clases, de acuerdo al planteamiento del problema, cualquier cuarto puede albergar a cualquier lectura. Cada habitación cuenta con diferente número de sillas, lo que constituye la propiedad

principal de las aulas [8] [9].

Los profesores son las personas que ofrecen los cursos que propone la institución educativa. Cada maestro puede tener uno o más cursos asociados. Como última propiedad, existen profesores que no estarán disponibles a determinadas horas dentro del calendario [7] [10].

La última variable del problema es la currícula, la cual se define como un grupo de cursos que poseen la propiedad de que, al tomar cualquier par del conjunto, tienen un grupo de estudiantes que cursan ambas materias [4] [7].

Restricciones

El problema CBCT posee una serie de limitaciones que se deben considerar al momento de proponer un horario. Las restricciones se pueden dividir en dos categorías: restricciones duras y restricciones blandas (también llamadas restricciones suaves) [9].

Una restricción dura se define como un requisito que debe ser cumplido de manera obligatoria. Las restricciones duras son las que hacen que una solución sea válida si cumple con todas las limitantes, y en caso contrario, no es viable y carece de valor para el problema. Particularmente para CBCT, se tiene las siguientes restricciones duras [4]:

- 1) Todas las lecturas pertenecientes a los cursos deben de ser asignadas en el calendario.
- 2) Dos lecturas no pueden ocurrir en el mismo periodo de tiempo y salón.
- 3) Lecturas pertenecientes a una currícula o impartidas por el mismo profesor,

deben de ser asignadas en periodos diferentes.

- 4) Si un profesor no está disponible para impartir una lectura de un curso en un periodo de tiempo específico, entonces, no es posible asignar la lectura a esa hora.

Una restricción blanda es un requisito de carácter opcional, por lo que no es necesario cumplir con todas al momento de proponer una solución. Sin embargo, cada restricción blanda no satisfecha genera un impacto sobre el valor del calendario al ser evaluado por la función objetivo. Por lo que cumplir con un mayor número de restricciones blandas ofrece al calendario un mejor valor y por tanto un candidato superior a ser empleado [4]. Para el problema CBCT se tienen las siguientes restricciones suaves:

- 1) Para cada lectura; el salón asignado debe contar con número de asientos igual o mayor a los estudiantes.
- 2) Las lecturas de un curso deben ser extendidas en un mínimo de días.
- 3) Las lecturas pertenecientes a la misma currícula, deben de estar adyacentes una de otra.
- 4) Todos los cursos deben de estar en un sólo salón.

Evaluación

Dado que es posible obtener más de un calendario que intente resolver el problema CBCT, se ve la necesidad de poder calificar la utilidad que tiene cada horario propuesto. Por lo anterior descrito la ITC2007 proporciona una serie de pautas que dictan cómo se debe realizar la valoración de una solución [4].

Dependiendo de la representación de la solución, es posible que la forma de realizar la evaluación cambie, sin embargo, en esencia lo que se realiza, es la ponderación de restricciones duras y restricciones blandas que no son satisfechas en el horario propuesto (Fórmula 1) [11].

$$CostoTotal = \left[\sum_{i=1}^{RD} P_D \cdot CostoD_i \right] + \left[\sum_{j=1}^{RB} CostoB_j \right]$$

Ecuación 1. Evaluación de una solución.

Donde:

RD: Son todas las restricciones duras a revisar en el calendario.

RB: Son todas las restricciones blandas a revisar en el calendario.

P_D: Es la penalización por romper una restricción dura.

CostoD_i: Es el costo asociado por romper una restricción dura.

CostoB_j: Es el costo asociado por romper una restricción dura.

Propuestas para abordar el problema de horarios y cursos basados en currículum

El primer intento para abordar el problema CBCT, fueron los algoritmos propuestos en la primera competencia del año 2007. El ganador fue Tomás Müller, quien utilizó una estrategia híbrida donde se implementaban diferentes algoritmos que trabajaban en conjunto de los que destacan: Gran Diluvio, Recocido Simulado y Ascenso de la Colina [4].

Sin embargo, desde la publicación de los resultados iniciales de la competencia han surgido diferentes propuestas para abordar el problema CBCT, con resultados variables, en la siguiente sección se hará

mención de algunos de los algoritmos más recientes para hacer frente a la tarea.

Recocido simulado

La metaheurística llamada recocido simulado fue propuesta por Kirkpatrick [12], está inspirada en un método empleado en la metalurgia denominado recocido. La técnica del recocido de metales consiste en elevar la temperatura del elemento y después de manera lenta, bajar la temperatura propiciando un arreglo de moléculas equilibrado y generando un estado de energía mínima [13].

De manera general, la metaheurística emula el proceso del recocido, al comienzo del algoritmo se inicia con una solución a una temperatura muy alta, lo cual, produce candidatos en los que se generan grandes cambios en su “estructura”. Conforme la temperatura desciende, los cambios son cada vez más finos hasta llegar a la temperatura de enfriado, simulando la configuración de baja energía [14] [15].

Gran diluvio

El algoritmo de gran diluvio es una estrategia de búsqueda propuesta por el investigador Duek, el cual funciona utilizando tres componentes principales: nivel de agua, ratio de decaimiento y solución esperada [16].

La técnica funciona de manera similar a recocido simulado, aceptando soluciones mejores a la actual y con la posibilidad de permitir soluciones peores. A diferencia de recocido simulado que se inspira de la técnica metalúrgica del recocido de metales, gran diluvio hace una analogía del ascenso y descenso del nivel de agua durante una lluvia prolongada [13][17].

Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos fueron propuestos por John Holland los años 70s [18]. Reciben el nombre de algoritmo genético debido a la forma en que trabajan. En su diseño tienen mecanismos internos denominados operadores genéticos [18], los cuales intentan emular el proceso de selección natural, la modificación genética, la evolución de las especies entre otros, con el fin de mejorar la población con el pasar de las generaciones [19].

A diferencia de otras heurísticas como la escalada de la colina donde una solución inicial es mejorada en cada iteración [14] [15], los algoritmos genéticos producen un conjunto de posibles candidatos en cada iteración que realizan [20].

La capacidad de generar soluciones distintas desde el comienzo de la ejecución, permite al algoritmo el no estancarse de manera prematura en un óptimo local, además de generar una exploración más amplia del campo solución, debido a que idealmente cada solución se encuentra en regiones diferentes [20].

Hiper-heurísticas

Las hiper-heurísticas buscan ser una técnica de mayor grado de generalización que las metaheurísticas. En los algoritmos hiper-heurísticos se plantea obtener resultados consistentes en diferentes instancias de diversos problemas, en lugar de obtener resultados excelentes en pocas instancias de un solo problema de dominio [1] [21].

En el esquema básico de las hiper-heurísticas existen dos componentes principales: el nivel alto y el nivel bajo. En el nivel inferior se encuentra las heurísticas de bajo nivel, las cuales trabajan directamente con el problema. Mientras que en el nivel

superior se encuentra una estrategia que guía el proceso de búsqueda. Por último, existe el componente denominado barrera de dominio, el cual tiene el objetivo de separar ambos niveles. así como ser el medio de intercambio de información entre los mismos [22][23].

Bibliografía

[1] N. Pillay, R. Qu, “Hyper-Heuristics: Theory and Applications”, Springer, Natural Computing Series, 2018.

[2] K. Smith-Miles, L. Lopes, “Measuring instance difficulty for combinatorial optimization problems”, *Computers & Operations Research*, vol. 39, pp. 875–889, 2012.

[3] C. K. Teoh, A. Wibowo, M. S. Ngadiman, “Review of state of the art for metaheuristic techniques in Academic Scheduling Problems”, *Artificial Intelligence Review*, vol. 44, pp. 1–21, 2015.

[4] Competencia Internacional de Horarios, problema de horarios 2007 y cursos basados en currículum, <http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/curriculumcourse/course...>

[5] V. Králev, R. Králeva, “A local search algorithm based on chromatic classes for university course timetabling problem”, *International Journal of Advanced Computer Research*, Vol 7, 2016.

[6] M. Alzaqebah, S. Abdullah, “Hybrid bee colony optimization for examination timetabling problems”, *Computers & Operations Research*, vol. 54, pp. 142–154, 2015.

[7] N. Pillay, E. Özcan, “Automated generation of constructive ordering heuristics for educational timetabling”, *Annals of*

- Operations Research, vol. 275, pp. 181–208, 2019.
- [8] N. C. F. Bagger, M. Sørensen, T. R. Stidsen, “Benders’ decomposition for curriculum-based course timetabling”, *Computers and Operations Research*, vol. 91, pp. 178–189, 2018.
- [9] M. Lindahl, A. J. Mason, T. Stidsen, M. Sørensen, “A strategic view of University timetabling”, *European Journal of Operational Research*, vol. 266, pp. 35–45, 2018.
- [10] T. Chong Keat, H. Haron, A. Wibowo, M. S. Ngadiman, “A Heuristic Room Matching Algorithm in Generating Enhanced Initial Seed for the University Course Timetabling Problem”, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 10, pp. 882-889, 2015.
- [11] H. Babaei, J. Karimpour, A. Hadidi, “A survey of approaches for university course timetabling problem”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 86, pp 43-59, 2015.
- [12] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, “Optimization by simulated annealing”, *Science*, vol. 220, issue 4598, pp. 671-680, 1983.
- [13] I. Boussaïd, J. Lepagnot, P. Siarry, “A survey on optimization metaheuristics”, *Information Sciences*, vol. 237, pp. 82–117, 2013.
- [14] T. Song, S. Liu, X. Tang, X. Peng, M. Chem, “An iterated local search algorithm for the University Course Timetabling Problem”, *Applied Soft Computing*, Volume 68, pp. 597-608, 2018.
- [15] M. Kalender, A. Kheiri, E. Özcan, E. K. Burke, “A greedy gradient-simulated annealing selection hyper-heuristic”, *Soft Computing*, vol. 17, pp. 2279–2292, 2013.
- [16] G. Dueck, “New optimization heuristics: the great deluge algorithm and the record-to-record travel”, *Journal of Computational Physics*. Vol. 104, pp. 86–92, 1993.
- [17] C. Weng Fong, H. Asmuni, B. McCollum, P. McMullan, S. Omatu, “A new hybrid imperialist swarm-based optimization algorithm for university timetabling problems”, *Information Sciences* vol. 283, pp. 1–21, 2014.
- [18] L. Araujo, C. Cervigón, “Algoritmo evolutivos: un enfoque práctico”, RA-MA, México, 2009.
- [19] J. B. Matias, A. C. Fajardo, R. M. Medina, “Examining Genetic Algorithm with Guided Search and Self-Adaptive Neighborhood Strategies for Curriculum-Based Course Timetable Problem”, *IEEE, Fourth International Conference on Advances in Computing, Communication & Automation (ICACCA)*, pp. 1-6, 2019.
- [20] S. Sivanandam, & S. Deepa, “Introduction to Genetic Algorithms”, Springer., 2008.
- [21] N. R. Sabar, M. Ayob, G. Kendall, R. Qu, “A Dynamic Multiarmed Bandit-Gene Expression Programming Hyper-Heuristic for Combinatorial Optimization Problems”, *European Journal of Operational Research*, *IEEE Transactions on Cybernetics*, Volumen 45, Número 2, pp. 217-228, 2015.
- [22] N. R. Sabar, M. Ayob, G. Kendall, R. Qu, “Automatic Design of a Hyper-

Heuristic Framework With Gene Expression Programming for Combinatorial Optimization Problems”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Volumen 19, Número. 3, pp. 309-325, 2015.

[23] E. K. Burke, M. Gendreau, M. Hyde, G. Kendall, G. Ochoa, E. Özcan, R. Qu, “Hyper heuristics: a survey of the state of the art”, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 64, pp. 1695–1724, 2013.



