

# ALGORITMOS, ESTRATEGIAS Y MODELOS EN LAS APLICACIONES DE MÉTODOS CUANTITATIVOS

TOMO 1

*Serie Métodos cuantitativos aplicados*



Editores:

Carlos N. Bouza Herrera  
José Félix García Rodríguez  
Agustín Santiago Moreno  
María del Mar Rueda García

# Algoritmos, estrategias y modelos en las aplicaciones de métodos cuantitativos

Tomo 1

**Serie *Métodos cuantitativos aplicados***

Editores:

Carlos N. Bouza Herrera  
José Félix García Rodríguez  
Agustín Santiago Moreno  
María del Mar Rueda García

Primera edición. Marzo del 2018.

© Universidad de la Habana, Cuba.  
Universidad de Granada, España  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México  
Universidad Autónoma de Guerrero, México

**ISBN: 978-607-9440-36-7**

ISBN: 978-607-9440-36-7



El contenido de este libro es responsabilidad de los autores.

La presentación y disposición en conjunto de este libro son propiedad de los editores.  
Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o trasmisita, mediante ningún sistema o  
método, electrónico o mecánico, sin consentimiento de los autores.

Comité Científico:

**Marco Negreiros**, Universidad Estatal, Fortaleza, Brazil.

**Pedro Monterrey**, Universidad del Rosario, Colombia.

**Amer Ibrahim Al-Omari** / Ph.D. of Statistics Vice Dean of the Academic Research  
Department of Mathematics, Faculty of Science Al al-Bayt University, P.O. Box 130095,  
Mafraq 25113, Jordan. Mobile: 00962777906433

**Marie Cottrell**, Professeur émérite - Université Paris1. Tel et fax(prof): 33 1 44 07 89 22  
SAMM, Université Paris 1, 90, rue de Tolbiac-75634, PARIS CEDEX 13-FRANCE. E-  
mail: cottrell@univ-paris1.fr

**Jesús E. Sánchez García**, departamento de física aplicada de ICIMAF, la Havana, Cuba.  
**Minerva Montero Díaz**, departamento de física aplicada de ICIMAF, la Havana, Cuba.

**Diseño de portada: Rosario Flores Sosa**

**Habana, Cuba, Marzo de 2018.**

## Índice de capítulos

CAPITULO	AUTORES	TÍTULO	PÁGINAS
1	Carmen Viada, Carlos Bouza, Javier Ballesteros y Martha Fors	REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS EMPLEADOS PARA ANALIZAR LOS DATOS DE CALIDAD DE VIDA EN ECA DE CÁNCER	1-20
2	Luis René Marcial Castillo, Marcela Rivera Martínez, Lourdes Sandoval Solís, Ana Laura Olguín Domínguez	CIFRADO SIMÉTRICO DE IMÁGENES DIGITALES USANDO OPERACIONES DE ALGORITMOS GENÉTICOS Y LA OPERACIÓN LÓGICA XOR	21-29
3	Julio César Pérez Hernández, Sergio Francisco Juárez Cerrillo, Luz Amelia Sánchez Landero, María Yesenia Zavaleta Sánchez, Sergio Hernández González.	ANÁLISIS DE VARIANZA A HOJAS Y FRUTOS DE ÁRBOLES DEL GENERO <i>PLATANUS</i> DE VERACRUZ, MÉXICO	30-37
4	Gabriela del Rocío Jaramillo-Loaiza, Jenny María Ordóñez-Ordóñez, Carmen Yot Domínguez & Valentín Alejandro-Martínez Fernández	DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES DE FORMACIÓN DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD LÍDER EN ENSEÑANZA A DISTANCIA EN AMÉRICA LATINA: ESTUDIO LONGITUDINAL APLICADO A LA UTPL.	38-60
5	Pedro Roura-Pérez, Vivian Sistachs-Vega y Raimundo Vega-González	MODELOS PROBABILÍSTICOS PARA CARACTERIZAR LA LLUVIA TOTAL MÁXIMA EN 24 HORAS	61-72
6	Yasser Vázquez Alfonso, Luis Efraín López Velastegui y Christian Geovanny Rivera García	SISTEMA DE INTELIGENCIA DE NEGOCIO PARA EL ESTUDIO DEL PERFIL DE TURISTA QUE VISITA LOS ATRACTIVOS TURÍSTICOS DE PASTAZA	73-79
7	Asiel Díaz Vasallo, Yasser Vázquez Alfonso, Orlenys López Pintado	ALGORITMOS PARA EL DESCUBRIMIENTO DE PROCESOS. ESTADO DEL ARTE	80-86
8	Betancourt Bethencourt José, Juan Jesús Llambias Peláez, Elizabeth Nicolau Pestana y Yarisnelli Torres Miranda	NECESIDAD DE INTEGRACIÓN TRANSDISCIPLINARIA PARA LA VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA	87-93
9	Miriem Mohamed El-Maslouhi, Miguel Ángel Pérez-Castro y Miguel Ángel Montero-Alonso	EL PROGRESO TECNOLÓGICO Y SU INFLUENCIA EN EL DESARROLLO HUMANO DEL ÁREA MEDITERRÁNEA	94-104

CAPÍTULO	AUTORES	TÍTULO	PÁGINAS
10	Ignacio Caamal Cauich, Verna Grisel Pat Fernández, José Félix García Rodríguez, David Martínez Luis, Abisai Serrano López	CARACTERIZACIÓN DEL COMERCIO DE MÉXICO Y EL SALVADOR	105-119
11	Mario Miguel Ojeda Ramírez y Fernando Velasco Luna	ESTADÍSTICA Y FINANZAS PÚBLICAS EN LA ERA DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO	120-129
12	José Félix García Rodríguez, Ignacio Caamal Cahuich, Oscar Priego Hernández, Jorge Rebollo Meza, Rilton Goncalvo Primo	PAPEL DE LAS START-UPS EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO ECONÓMICO. ESTUDIO DE PERCEPCIÓN DE DOCENTES UNIVERSITARIOS EN TABASCO, MÉXICO	130-139
13	Camilo Andrés Mesa Salamanca	MÉXICO, IMPERIO AZTECA Y COLONIZACIÓN: ¿PERSISTENCIA O REVERSO DE LA FORTUNA?	140-148
14	Alisva Cárdenas-Pérez, Mariela Chango Galarza y Amparo Álvarez Montalvo	LOS RETOS ACTUALES DE LA UNIVERSIDAD EN SU VÍNCULO CON LA SOCIEDAD PARA SU PROGRESO ECONÓMICO Y SOCIAL	149-157
15	Manuel Ignacio Balaguera, Jenny-Paola, Lis - Gutierrez, Mercedes Gaitán-Angulo, Paula Viviana Robayo	MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE LA MOVILIDAD DE UN DIENTE MEDIANTE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES SIMPLES	158-165
16	Gladys Linares Fleites, María de Lourdes Sandoval Solís, Karla Mildred Cigarroa Alonso y Miguel Ángel Valera Pérez	ÁNALISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELOS A TRAVÉS DE MODELOS OCULTOS DE MARKOV	166-176
17	Carlos N. Bouza-Herrera, Agustín Santiago-Moreno, Sira M. Allende-Alonso, José M. Sautto Vallejo	UN ANÁLISIS DEL AJUSTE DE LAS PROBABILIDADES DE RESPUESTA EN ENCUESTAS	177-183
18	Rilton Gonçalo B. Primo; José F. García Rodríguez; Marcelo Silva; Pieter de Jong; Ricardo de Araújo Kalid	CONSUMO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA COMO MACROSISTEMA ECOLÓGICO: RUTAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA HOGARES TROPICALES	184-199

## Afiliación

Nombre	Afiliación
<b>Agustín Santiago-Moreno</b>	Facultad de Matemáticas. Universidad Autónoma de Guerrero. México.
<b>Abisai Serrano-López</b>	Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.
<b>Alisva Cárdenas-Pérez</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
<b>Amparo Álvarez-Montalvo</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
<b>Ana Laura Olguín-Domínguez</b>	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>Asiel Díaz-Vasallo</b>	Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba.
<b>Camilo Andrés Mesa-Salamanca</b>	Docente Departamento de Economía Universidad Central. Colombia.
<b>Carlos N. Bouza-Herrera</b>	Universidad de La Habana, La Habana. Cuba.
<b>Carmen Viada-González</b>	Centro de Inmunología Molecular, Habana, Cuba.
<b>Carmen Yot-Domínguez</b>	Universidad de Sevilla, Dpto. de Didáctica y Organización Educativa. España.
<b>Christian Geovanny Rivera-García</b>	Agricultural University of Havana. Departamento de Matemáticas y Física. La Habana. Cuba
<b>David Martínez Luis</b>	Universidad Autónoma del Carmen. Ciudad del Carmen, Campeche, México.
<b>Elizabeth Nicolau-Pestana</b>	Universidad de Ciencias Médicas Carlos J. Finlay. Camagüey, Cuba.
<b>Fernando Velasco-Luna</b>	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
<b>Gabriela del Rocío Jaramillo-Loaiza</b>	Universidad Técnica Particular de Loja, Dpto. de Economía, Área Administrativa. Ecuador.
<b>Gladys Linares-Fleites</b>	Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>Ignacio Caamal-Cauich</b>	Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.
<b>Javier Ballesteros</b>	University of the Basque Country, Bilbao, Spain.
<b>Jenny María Ordóñez-Ordóñez</b>	Universidad Técnica Particular de Loja, Dpto. de Economía, Área Administrativa. Ecuador.
<b>Jenny-Paola Lis-Gutierrez</b>	CIEN, Escuela de Negocios, Fundación Universitaria Konrad Lorenz.
<b>Jorge Rebollo-Meza</b>	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Económico-Administrativas.
<b>José Betancourt-Bethencourt</b>	Universidad de Ciencias Médicas Carlos J. Finlay. Camagüey, Cuba.
<b>José Félix García-Rodríguez</b>	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco - UJAT, México.
<b>José M. Sautto-Vallejo</b>	Universidad Autónoma de Guerrero- UAGro, México.
<b>Juan Jesús Llambias-Peláez</b>	Dirección Provincial de Salud. Departamento de Vigilancia, Camagüey, Cuba.
<b>Julio César Pérez-Hernández</b>	Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana.
<b>Karla Mildred Cigarroa-Alonso</b>	Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>Luis Efraín López-Velastegui</b>	Agricultural University of Havana. Departamento de Matemáticas y Física. La Habana. Cuba.
<b>Luis René Marcial-Castillo</b>	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>Luz Amelia Sánchez-Landero</b>	Facultad de Ciencias Agrícolas campus Xalapa, Universidad Veracruzana.
<b>Manuel Ignacio-Balaguera</b>	CIMI, Facultad de Matemáticas e Ingenierías, Fundación Universitaria Konrad Lorenz.

<b>Marcela Rivera-Martínez</b>	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>Marcelo Silva</b>	Consulting of Centro de Estudios por la Amistad de Latinoamérica Asia y África - CEALA, Brazil.
<b>María de Lourdes Sandoval-Solís</b>	Facultad de Ciencias de la Computación. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>María Yesenia Zavaleta-Sánchez</b>	Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana.
<b>Mariela Chango-Galarza</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
<b>Mario Miguel Ojeda-Ramírez</b>	Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
<b>Martha Fors</b>	University of the Americas, Quito, Ecuador.
<b>Mercedes Gaitán-Angulo</b>	CIEN, Escuela de Negocios, Fundación Universitaria Konrad Lorenz.
<b>Miguel Ángel Montero-Alonso</b>	Universidad de Granada. Campus de Melilla.
<b>Miguel Ángel Pérez-Castro</b>	Universidad de Granada. Campus de Melilla.
<b>Miguel Ángel Valera-Pérez</b>	Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
<b>Miriem Mohamed El-Maslouhi</b>	Universidad de Granada. Campus de Melilla.
<b>Orlenys López-Pintado</b>	Universidad de Tartu, Estonia. Institute of Computer Science.
<b>Oscar Priego-Hernández</b>	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Económico-Administrativas.
<b>Paula Viviana-Robayo</b>	CIEN, Escuela de Negocios, Fundación Universitaria Konrad Lorenz.
<b>Pedro Roura-Pérez</b>	Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.
<b>Pieter de Jong</b>	Maestro y Doctor por el PEI-UFBA.
<b>Raimundo Vega-González</b>	Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.
<b>Ricardo de Araújo-Kalid</b>	Universidad Federal del Sur de Bahia (UFSB). Centro de Formación en Tecno-Ciencias e Innovación (CFTCI).
<b>Rilton Gonçalo B. Primo</b>	Centro de Estudios por la Amistad de Latinoamérica, Asia y Brasil (CEALA), Salvador Bahía, Brasil.
<b>Sergio Francisco Juárez-Cerrillo</b>	Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana.
<b>Sergio Hernández-González</b>	Universidad Veracruzana. Xalapa, México.
<b>Sira M. Allende-Alonso</b>	Universidad de La Habana, La Habana. Cuba.
<b>Valentín Alejandro Martínez-Fernández</b>	Universidad de La Coruña, Dpto. de Empresa. España.
<b>Verna Grisel Pat-Fernández</b>	Universidad de Chapingo, México.
<b>Vivian Sistachs-Vega</b>	Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.
<b>Yarisnelli Torres-Miranda</b>	Dirección Provincial de Salud. Departamento de Vigilancia, Camagüey, Cuba.
<b>Yasser Vázquez-Alfonso</b>	Agricultural University of Havana. Departamento de Matemáticas y Física. La Habana. Cuba.

## PRÓLOGO

Hace ya bastantes años, contacté con el profesor Carlos Bouza de la Universidad de La Habana, como experto que es, en mi área de investigación. Desde entonces comencé a colaborar con dicho profesor, quien me invitó a participar a una de las ediciones del TLAIO en la Habana. En dicha reunión tuve la suerte de conocer a muchos investigadores hispano-americanos, y fue el comienzo de diversas colaboraciones con grupos de investigación de varios países de ambos lados del océano. Poco a poco, gracias a la dirección entusiasta del profesor Bouza, se fue fraguando RIDECA (Red Iberoamericana de Estudios Cuantitativos Aplicados) una red conformada actualmente por universidades de Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, España y México y que tiene por objetivo lograr interactuar y establecer vínculos en pro de las actividades de nuestras instituciones.

En las diversas reuniones y actividades que hemos tenido los miembros de esta red, se plantea siempre el tema de la necesidad de fomentar vehículos para la difusión de las investigaciones realizadas en el seno de cada grupo, que sirva además de iniciación para los jóvenes investigadores que en sus comienzos tienen difícil acceder a publicaciones indexadas. Surge así la idea de promover una serie de libros en los que presentar, discutir y analizar métodos de solución a distintos problemas y que sea un escaparate internacional de las tareas desarrolladas en los distintos congresos y reuniones en los que esta red participa.

Surge así esta serie de libros titulada: *Métodos cuantitativos aplicados*. Este primer tomo con el título: ALGORITMOS, ESTRATEGIAS Y MODELOS EN LAS APLICACIONES DE MÉTODOS CUANTITATIVOS consta de 18 trabajos elaborados por investigadores de 26 universidades y centros de investigación de Cuba, México, España, Brasil, Estonia y Ecuador.

Espero que esta obra sea el inicio de una exitosa serie de libros que ponga en valor el trabajo de los investigadores iberoamericanos en su intento por desarrollar y aplicar nuevos métodos cuantitativos para conocer las realidades locales, regionales, nacionales, e internacionales con las que convivimos.

María del Mar Rueda

Universidad de Granada, España

## Capítulo 1

pp 1-22

### REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS EMPLEADOS PARA ANALIZAR LOS DATOS DE CALIDAD DE VIDA EN ECA DE CÁNCER

Carmen Viada<sup>1</sup>, Carlos Bouza<sup>2</sup>, Javier Ballesteros<sup>3</sup> y Martha Fors<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Center of Molecular Immunology, Havana, Cuba.

<sup>2</sup>Faculty of Mathematics and Computing, University of Havana, Cuba.

<sup>3</sup>University of the Basque Country, Bilbao, Spain.

<sup>4</sup>University of the Americas, Quito, Ecuador.

#### RESUMEN

Presentamos una revisión de las herramientas estadística más popularmente usadas en estudios de la calidad de los datos. Consideramos fundamentalmente aquellos de interés en estudios longitudinales de ECA en cáncer.

Palabras Clave: Calidad de vida, ECA, estudios longitudinales.

#### ABSTRACT

We present a review of the most popular statistical tools employed in the analysis of Data Quality in life studies. We considered mainly those of interest if ECA cancer longitudinal studies.

Key words: Life Quality, ECA, longitudinal studies

#### INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) definió hace ya varias décadas la salud como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no simplemente la ausencia de enfermedad o discapacidad (World Health Organization 1952). El modelo “biosicosocial” en medicina enmarca aspectos referidos al bienestar del paciente, como sus relaciones como persona, su comportamiento, el entorno en el que se desenvuelve y sus relaciones sociales, en lo que se conoce con el nombre de Calidad de Vida (CV) (Sanz 1991). Si bien el concepto de CV no es nuevo, en la década de los 80 se produjo un creciente e inusitado interés popular y médico por la CV, especialmente en los pacientes con cáncer. En 1973 eran únicamente 5 los artículos que aparecían en la base de datos Medline con la palabra clave “quality of life”. Este número se incrementó de forma casi exponencial, siendo durante los siguientes períodos de cinco años 195, 273, 490 y 1.252 los artículos localizados mediante el mismo criterio.

Lo que significa CV es una cuestión personal. Así, el sentido subjetivo de bienestar de cada persona derivado de la experiencia diaria de su vida, se abre camino entre la medicina y las ciencias sociales. La evaluación de la CV debe incluir todas las áreas de la vida impactadas por la enfermedad o su tratamiento: la física, la psicológica, la social y la espiritual. El problema para medir la CV estaba en la falta de un instrumento único y global capaz de acomodar todas las componentes que definen el concepto de CV. Desde mediados del siglo pasado, existen múltiples pruebas psicométricas objetivas que incluyen las diferentes categorías funcionales del paciente y calculan una puntuación global de CV. La más antigua es el índice funcional de Karnofsky (Karnofsky y Burchenal 1949), que es aplicado por el médico y sólo mide capacidad física. En 1976 Katz y Akpom describen el Activities Daily Living (ADL) Index que mide las actividades sociobiológicas de la vida diaria: bañarse, vestirse, alimentarse, etc. Durante la década de los años 80 se desarrollaron múltiples instrumentos para medir la CV en pacientes con cáncer, buscando el cumplimiento de las siguientes

características: (i) evaluar la morbilidad subjetiva e impacto del tratamiento sobre el enfermo en sus aspectos físicos, psíquicos y sociales; (ii) basarse en el paciente como fuente de información, reflejando su opinión; y (iii) ser válido, sensible, sencillo y convincente.

La calidad de vida es un tema importante en oncología y se utiliza como una variable principal en muchos ensayos clínicos aleatorios (ECA) de cáncer. Permite que las percepciones y los puntos de vista del paciente se integren al evaluar el estado de salud o la calidad de la atención.

El análisis de los datos de calidad de vida puede ser bastante complejo, siendo los principales aspectos relacionados con la multidimensionalidad de la calidad de vida (QoL) (el número de subescalas de los cuestionarios utilizados para su evaluación) y el manejo de los datos perdidos.

En la actualidad no existen recomendaciones formales sobre los métodos estadísticos para analizar los datos de calidad de vida en el marco de referencia de los ECA. Por lo tanto, podemos esperar una alta variabilidad de los planes de análisis de QoL. Esta variabilidad no refleja la gran disparidad de las situaciones clínicas estudiadas. Más bien, demuestra la confusión que los investigadores / estadísticos experimentan al analizar tales datos. Para comprender las razones de estas elecciones y sus respectivos intereses y límites es necesario conocer los métodos estadísticos utilizados comúnmente en ese contexto. Dicho estudio debería ayudar a identificar los procedimientos más adecuados para analizar los datos de calidad de vida en los ensayos clínicos sobre el cáncer, requisito previo para cualquier recomendación de análisis en este contexto.

## MÉTODOS

### **Teoría de respuesta al ítem y análisis factorial confirmatorio**

En la investigación transcultural es frecuente la necesidad de realizar traducciones y adaptaciones de cuestionarios con el fin de realizar comparaciones entre poblaciones de sujetos que no comparten el mismo idioma. En estos casos, es conveniente utilizar los métodos y las recomendaciones que sugiere la literatura transcultural para llevar a cabo la traducción y adaptación de instrumentos de medida (Hambleton, 1994; Hambleton, 1996; Hambleton & Kanjee, 1995; Van de Vijver & Hambleton, 1996). Sin embargo, a pesar de seguir estas recomendaciones, no se puede asumir la equivalencia de las diferentes versiones traducidas. Es necesario confirmar dicha equivalencia llevando a cabo análisis que permitan detectar aquellos ítems que presentan funcionamiento diferencial.

El análisis factorial confirmatorio (AFC) y la teoría de respuesta al ítem (TRI), representan dos aproximaciones para abordar el estudio de la equivalencia de versiones en distinto idioma de un mismo cuestionario. Trabajos previos han comparado estos dos procedimientos para el estudio del Funcionamiento Diferencial de los Ítems (FDI) (Reise, Widaman, & Pugh, 1993; Maurer, Raju, & Collins, 1998). Estos trabajos ofrecen interesantes conclusiones sobre las semejanzas y diferencias tanto a nivel teórico como práctico entre ambos procedimientos, y las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Una de las principales conclusiones que se deriva de estos trabajos, es que ambos procedimientos ofrecen resultados muy similares, con diferencias mínimas en la identificación de los ítems que presentan funcionamiento diferencial. Estas diferencias se atribuyen a que los procedimientos basados en la TRI imponen más restricciones de invarianza en el estudio del FDI. Ambos trabajos han utilizado AFC con estructura de covarianzas, que únicamente permite analizar la invarianza de la saturación factorial o parámetro lambda, que representa el parámetro de discriminación del ítem; mientras que la TRI analiza conjuntamente la invarianza del parámetro de discriminación y del parámetro de dificultad del ítem. La incapacidad del AFC con estructura de covarianzas de ofrecer información respecto al parámetro b, resulta todavía más limitante si se tiene en cuenta que este procedimiento solamente permite detectar el FDI no uniforme. Sin embargo, esta importante limitación del AFC puede resolverse si se utiliza el modelo de estructura de medias latentes (Millsap & Everson, 1993). Este modelo permite expresar el valor esperado de las variables observables en función de las medias de las variables latentes:

$$E(X) = \tau_x + \Lambda_x \kappa$$

donde  $\tau_x$  es un vector de orden ( $q \times 1$ ) de parámetros interceptos,  $\Lambda_x$  es una matriz de orden ( $q \times r$ ) compuesta por las saturaciones factoriales, y  $\kappa$  es un vector de orden ( $r \times 1$ ) que contiene las medias de las variables latentes ( $E(\xi) = \kappa$ ). Para estimar este modelo es necesario introducir una serie de modificaciones con respecto al modelo general. Como se puede observar, el modelo de AFC con medias latentes introduce dos nuevos vectores de parámetros: el vector  $\tau_x$  de parámetros interceptos ( $\tau_x$ ), y el vector  $\kappa$  de medias de las variables latentes ( $\kappa$ ). También es necesario incluir las medias de las variables observables en la matriz de entrada de datos.

Desde este enfoque, el estudio del FDI implica analizar la invarianza de las matrices de saturaciones factoriales y de los vectores de parámetros interceptos entre los grupos a comparar. Según Mellenbergh (1994), la saturación factorial ( $\lambda_x$ ) puede ser interpretada como el parámetro de discriminación del ítem, y el intercepto ( $\tau_x$ ) puede ser interpretado como el parámetro de dificultad del ítem. Se debe tener en cuenta que esta interpretación del intercepto como el parámetro de dificultad del ítem se hace en el contexto de un modelo de respuesta continua al ítem (Mellenbergh, 1994; Fer rando, 1996). Sin embargo, se puede considerar que la escala de respuesta continua representa un caso extremo de la escala de respuesta graduada con un elevado número de opciones de respuesta. Por lo tanto, esta interpretación sobre el intercepto es extrapolable a escalas de respuesta graduada, como la escala tipo Likert (Mellenberg, 1994). Los trabajos de Thissen, Steinberg, Pyszczynski, & Greenberg (1983), Millsap & Everson (1991), y Everson, Millsap, & Rodriguez (1991), representan algunos ejemplos del uso del AFC con medias latentes utilizando escalas de respuesta tipo Likert.

En el contexto de la TRI, la curva característica de un ítem (CCI) representa la relación entre el valor de respuesta esperado en el ítem y el valor en el rasgo o aptitud medida por el test al que pertenece dicho ítem. Considerando la problemática de la traducción de instrumentos de medida, un ítem presenta funcionamiento diferencial si sus parámetros (y por lo tanto su curva característica) difieren de forma significativa en cada uno de los grupos a los que se han administrado las diferentes versiones del cuestionario. Ello indica que sujetos con el mismo nivel en la aptitud pero que pertenecen a grupos diferentes (y que por lo tanto han completado versiones diferentes del cuestionario), no tienen la misma respuesta esperada en ese ítem. El cuestionario traducido y analizado en este trabajo está compuesto por ítems polítómicos, que se responden en una escala con seis categorías de respuesta, graduadas desde «totalmente verdadero» a «totalmente falso», por ello, el modelo utilizado para el análisis de los datos es el Modelo de Respuesta Graduada (MRG) de Samejima (1969).

El objetivo general de este trabajo fue comparar el AFC y la TRI como procedimientos alternativos para evaluar la equivalencia psicométrica en el contexto de la traducción de instrumentos de medida. Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos: a) mostrar la aplicación del AFC con estructura de medias latentes para detectar tanto el FDI no uniforme como el FDI uniforme; y b) comparar los resultados obtenidos con los dos métodos alternativos de detección del FDI: AFC con estructura de medias latentes, y TRI utilizando el modelo de respuesta graduada de Samejima. El punto a representa una aportación novedosa al estudio del FDI en el contexto de la traducción de instrumentos de medida. Su propósito es superar algunas de las limitaciones de trabajos previos respecto a la comparación entre métodos de detección del FDI (el AFC y la TRI). Viada (2013) propuso una reducción de los cuestionarios de calidad de vida a través del análisis no paramétrico de Mokken. Viada (2014) validó la reducción propuesta a través del análisis factorial confirmatorio. Viada (2015) mostró la invarianza de los mismos en otras poblaciones.

Los datos longitudinales son observaciones registradas en los mismos individuos a través del tiempo. Así, los diseños longitudinales de medidas repetidas constan de uno o más grupos de sujetos medido(s) en una o más variables a lo largo de dos o más puntos temporales. A diferencia de lo que ocurre en el contexto experimental, donde las medidas repetidas corresponden a los tratamientos, en las situaciones no-experimentales tales medidas representan las ocasiones temporales en las que se realizan las mediciones. Las curvas de crecimiento constituyen un ejemplo típico de este tipo de datos. En ellas, el investigador registra una serie de medidas en sucesivos intervalos temporales de amplitud constante, en una o más muestras de sujetos, con el fin de examinar el proceso de desarrollo de cada individuo y las posibles diferencias existentes en dicho proceso entre distintas muestras de individuos.

Desde una perspectiva clásica, los datos longitudinales han sido analizados mediante el modelo del análisis de la varianza univariado (ANOVA) o multivariado (MANOVA) de medidas repetidas. Sin embargo, recientemente, han emergido una serie de modelos de análisis que superan, en múltiples aspectos, a los modelos clásicos. Todos ellos se subsumen bajo un modelo más amplio, conocido como modelo general lineal mixto. En el presente trabajo, exponemos los principales modelos de análisis que se han utilizado tradicionalmente para examinar los datos de diseños longitudinales y abordamos los modelos que, a nuestro juicio, están adquiriendo gran relevancia y se perfilan como pilares básicos de la investigación longitudinal en el futuro. Así, comenzamos describiendo las características y los supuestos esenciales de los modelos ANOVA y MANOVA clásicos, para proseguir con el modelo MANOA generalizado, y finalizamos analizando distintos modelos multinivel o jerárquicos y su relación con el modelo general lineal mixto. De esta forma, pretendemos poner de manifiesto la evolución que se ha producido en las estrategias de análisis asociadas a los datos longitudinales y las importantes posibilidades que brindan los nuevos modelos de análisis para realizar investigaciones de carácter aplicado en el ámbito de las ciencias sociales y del comportamiento.

### **Modelos de análisis clásicos en el ámbito del diseño longitudinal**

#### **Análisis univariado de la varianza (ANOVA)**

En el análisis univariado de la varianza, las medidas repetidas se analizan siguiendo el enfoque del diseño multimuestra de medidas repetidas, conocido también como modelo mixto (Lindquist, 1953). En dicho modelo, los sujetos son considerados como un factor aleatorio y las ocasiones y los grupos como factores fijos. Básicamente, esta estrategia estima las medias de las observaciones de los sujetos y las compara a través de los distintos grupos, o a lo sumo, examina si se ajustan a polinomios conocidos. De esta forma, constituye un procedimiento adecuado cuando el interés del investigador radica en analizar el efecto global que ejerce el tiempo o determinadas variables de crecimiento, tales como la edad, sobre el desarrollo y su posible interacción con factores entre-grupos (o entre-sujetos).

La aplicación del ANOVA a esta clase de datos requiere el cumplimiento de una serie de supuestos (Boik, 1981; Huynh, 1978). En primer lugar, las observaciones de los diferentes sujetos han de ser independientes entre sí. En segundo lugar, en cada grupo, las puntuaciones de las diferentes ocasiones o variables han de seguir una distribución normal multivariada. En tercer lugar, las matrices de varianza-covarianza de las medidas de cada grupo han de ser iguales entre sí (supuesto de homogeneidad). Por último, la matriz de varianza-covarianza intragrupo ha de satisfacer el supuesto de esfericidad, es decir, las varianzas de las diferencias entre los distintos pares de medidas repetidas deben ser homogéneas (Huynh y Feldt, 1970; Rouanet y LePine, 1970). La ausencia de homogeneidad de las matrices de varianza-covarianza intra-grupo puede incrementar la distancia entre el nivel de significación real y el nominal, afectando a la potencia de la prueba estadística. De la misma forma, el incumplimiento del supuesto de esfericidad lleva a un sesgo positivo en el estadístico F (Box, 1954). En tal caso, para que la prueba estadística sea válida, debe utilizarse algún procedimiento que permita ajustar los grados de libertad de la F. Así, cabe realizar el ajuste a partir del límite inferior de e o mediante el factor de corrección de Greenhouse y Geisser (1959) o la versión adaptada de Huyhn y Feldt (1976). A su vez, el procedimiento de aproximación general mejorada (IGA) de Huynh (1978), la prueba de Welch-James propuesta por Johansen (1980), la aproximación multivariada o el enfoque del modelo mixto también permiten corregir el sesgo derivado de la violación del supuesto de esfericidad (las principales alternativas de análisis ante el incumplimiento de este supuesto pueden consultarse en Keselman, Algina y Kowalchuk, 2001, 2002, y en Keselman, Algina, Kowalchuk y Wolfinger, 1999).

#### **Análisis multivariado de la varianza (MANOVA)**

El análisis multivariado de la varianza, aplicado a datos longitudinales, asume que las medidas son múltiples variables dependientes que están correlacionadas en los mismos sujetos. Como señaló Finn (1969), cuando se dispone de medidas repetidas, el MANOVA constituye una buena alternativa al análisis univariado.

Normalmente, los modelos multivariados se centran en el componente entre-grupos (o entre-sujetos) del análisis, tratando de explicar la varianza total de las variables dependientes en función de las diferencias existentes entre los miembros de los distintos grupos. Las pruebas de significación se llevan a cabo transformando las variables originales en contrastes de interés. Mediante esta transformación de las medidas repetidas es posible verificar si se produce algún tipo de cambio lineal, cuadrático, cúbico o de otro orden en función del tiempo pero, como destacan Wu, Clopper y Wooldridge (1999), el factor intra-sujeto, en sí mismo, es eliminado del análisis.

Los modelos MANOVA enfatizan la parte fija del modelo. Se estima un modelo que explica la estructura de las medias, considerando las covarianzas intra-grupo/sujeto como errores aleatorios, es decir, como la parte de la varianza de las variables dependientes que no puede ser explicada por la pertenencia a un determinado grupo. En su aplicación a las medidas repetidas, la parte fija del modelo es expandida. A fin de ajustar curvas de crecimiento polinómicas de un determinado grado, el conjunto de variables explicativas, entre las que la primera solo representa la pertenencia a un grupo concreto, se amplía con variables intra-sujeto que corresponden a los diferentes puntos temporales, tales como la edad.

El MANOVA se define, en notación matricial, por la expresión

$$Y = XB + E \quad (1)$$

En la ecuación (1), Y es la matriz ( $n \times p$ ) de observaciones ( $n$  observaciones y  $p$  medidas repetidas por sujeto a intervalos temporales fijos), X es la matriz ( $n \times k$ ) del diseño, la cual toma los valores 1 y 0 para representar la pertenencia o no pertenencia del sujeto a un determinado grupo, B es la matriz ( $k \times p$ ) de parámetros y E es la matriz ( $n \times p$ ) que incluye las fuentes de variación aleatorias. El modelo de la ecuación (1) asume que los errores de la  $i$ -ésima fila de E siguen una distribución normal multivariada,  $N_p(0, \Sigma_p)$ . Para su correcta aplicación, el MANOVA requiere que las respuestas de los sujetos sean independientes entre sí, que la distribución de las múltiples variables dependientes sea normal multivariada, y que el conjunto de datos sea completo, a saber, sin valores ausentes (Stevens, 1966).

El modelo de respuesta media o valor esperado de los valores observados viene dado por

$$E(Y) = XB \quad (2)$$

A fin de comprobar si las medias de  $p$  ocasiones son iguales entre sí, el enfoque multivariado utiliza una prueba derivada del estadístico  $T^2$  de Hotelling (1951). Mediante el estadístico  $T^2$  se pone a prueba la siguiente hipótesis de nulidad:

$$H_0: \mu_1 = \dots = \mu_p \quad (3)$$

Que es equivalente a:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \dots = \mu_{p-1} - \mu_p \quad (4)$$

El cálculo del estadístico multivariado,  $T^2$ , se obtiene del vector de medias de diferencias,  $Y_d$ , y de la matriz de varianzas y covarianzas de las diferencias entre las puntuaciones,  $S_d$ . De forma que,

$$T^2 = n Y_d' S_d^{-1} Y_d \quad (5)$$

El valor de  $T^2$  puede transformarse en la distribución conocida F, con  $(n-1)$  y  $(n-1)(p-1)$  grados de libertad.

Es importante señalar que el MANOVA clásico define la estructura entre-sujetos de los valores esperados de las observaciones sin tomar en consideración las relaciones entre las variables o medidas repetidas. Sin embargo, desde la perspectiva longitudinal, el principal interés radica en modelar los perfiles de las respuestas medias, es decir, en obtener información sobre el efecto del tiempo. Mediante el modelo de análisis de la varianza multivariada generalizada es posible obtener ese tipo de información.

### **Análisis multivariado de la varianza generalizado (GMANOVA)**

Para modelar los perfiles de las respuestas medias, en el modelo MANOVA, es necesario aplicar restricciones a las observaciones en función de los intervalos temporales. Una forma simple de conseguir este objetivo consiste en asumir que la matriz de parámetros (matriz B) de la ecuación que representa el modelo de respuesta media (ecuación 2), se deriva del modelo

$$B = HT \quad (6)$$

De esta forma, el nuevo modelo multivariado de la varianza se expresa, en notación matricial, por

$$Y = XHT + E \quad (7)$$

donde X representa, como en el MANOVA clásico, la matriz ( $n \times k$ ) del diseño, H es la matriz ( $k \times q$ ) de parámetros y T corresponde a la matriz ( $q \times p$ ) que describe el perfil de los valores esperados de cada sujeto, es decir, el patrón de cambio de las observaciones a lo largo del tiempo. Esta matriz se denomina matriz intra-individuos o intra-grupos. La ecuación (7) representa el modelo GMANOVA o modelo de curva de crecimiento. Este modelo, propuesto por Pott-hoff y Roy (1964), surgió del intento de integrar los métodos alternativos al ANOVA mixto, es decir, los modelos MANOVA clásicos, dentro de un modelo más amplio: el modelo lineal general multivariado, el cual constituye una buena alternativa al modelo lineal clásico. A diferencia del MANOVA clásico, el GMANOVA incluye el ajuste polinómico de la curva como función del tiempo, permitiendo describir los perfiles con coeficientes aleatorios y generar la estructura de correlación entre las observaciones repetidas.

El valor esperado de los valores observados (matriz de observaciones) viene dado por

$$E(Y) = XHT \quad (8)$$

donde los elementos de H son los coeficientes polinómicos que representan el efecto del tiempo. La matriz T, con estructura Van-dermonde, define el modelo de cambio que se postula en el diseño longitudinal. Con ello, se constata que el MANOVA es una generalización de los principios del ANOVA (Bartlett, 1947; Tukey, 1949). El modelo de curva de crecimiento resulta muy útil en el ámbito longitudinal, dado que trata de explicar la variación intra-individual en función del desarrollo natural o proceso de maduración. Además, permite trabajar con datos correlacionados y, en algunos casos, brinda la posibilidad de modelar estructuras de datos de ocasiones de medida fijas no balanceadas (Jennrich y Sch-luchter, 1986).

### **Modelos multinivel: una apuesta de futuro**

Los modelos multinivel (Goldstein, 1995; Hox, 1996, 2002; Plewis y Hurry, 1998; Snijders y Bosker, 1999), conocidos también, en la literatura estadística, como modelos lineales jerárquicos (Bryk y Raudenbush, 1992; Raudenbush y Bryk, 2002), modelos de efectos o coeficientes aleatorios (De Leeuw y Kreft, 1986; Longford, 1993) o modelos de componentes de la varianza (Longford, 1989), son una extensión de los modelos de efectos mixtos descritos por Rao (1965) para las curvas de crecimiento y por Laird y Ware (1982) para el análisis de datos longitudinales.

Timm y Mieczkowski (1997) señalan que el crecimiento puede representarse mediante un modelo lineal jerárquico de dos niveles, donde los parámetros poblacionales, los efectos individuales y la variación intra-sujeto se definen en el primer nivel y la variación entre-sujetos es modelada en el segundo nivel. En el modelo multinivel de dos niveles para datos de medidas repetidas, se considera que tales datos configuran una estructura jerárquica a dos niveles: las observaciones son las unidades del primer nivel y los sujetos son las unidades del segundo nivel (Cnaan, Laird y Slasor, 1997; Van der Leeden, Vrijburg y De Leeuw, 1996). Se parte del supuesto de que la distribución de probabilidad de las medidas repetidas tiene la misma forma para cada sujeto, de modo que los parámetros de esta distribución varían a través de los sujetos. En el primer nivel se define una regresión lineal para las observaciones registradas en cada individuo. En el segundo nivel, los coeficientes de regresión o los parámetros de las curvas de crecimiento individuales

modelados en el primer nivel son considerados como variables dependientes aleatorias. El propósito del segundo nivel radica en analizar la distribución de estos parámetros o efectos aleatorios en la población. A diferencia de los modelos ANOVA y MANOVA clásicos, el modelo multinivel para medidas repetidas no enfatiza la variación entre-sujetos, sino que persigue, como principal objetivo, modelar las curvas de crecimiento individuales y analizar, posteriormente, las posibles diferencias entre los individuos en los parámetros que describen los patrones de crecimiento. De esta forma, permite definir y examinar la variación intra y entre-sujetos. De hecho, aunque el predictor de regresión lineal para la respuesta media no presente ninguna peculiaridad, existen dos tipos de términos de error: los errores intra-sujeto y los errores entre-sujetos. Todas las observaciones del mismo sujeto tienen el mismo error entre-sujetos, pero los errores intra-sujeto difieren y pueden estar correlacionados. En relación con este hecho, otra diferencia relevante que presenta el modelo de dos niveles respecto al modelo multivariado general es que requiere definir un patrón específico para la matriz de covarianza de las observaciones.

Es importante señalar que el modelo general lineal mixto constituye la integración de las dos ecuaciones correspondientes a las dos etapas del modelo de dos niveles. Además, como veremos posteriormente, una extensión directa del modelo jerárquico de dos niveles es su aplicación a datos longitudinales y de curvas de crecimiento. No obstante, antes de abordar el modelo general lineal mixto y el modelo multinivel para datos longitudinales, describiremos el modelo general de dos niveles partiendo de una situación de naturaleza jerárquica en la que no se toman medidas repetidas.

### **Modelo multinivel de dos niveles**

Este modelo puede conceptualizarse como un sistema jerárquico de ecuaciones de regresión. Cuando los datos son de naturaleza jerárquica, el modelo de regresión clásico induce a estimaciones sesgadas de los errores estándar e incrementa la probabilidad de cometer un error de Tipo I (Goldstein, 1995). A diferencia de la regresión clásica, la regresión multinivel asume, de forma más realista, que los coeficientes de regresión son estocásticos (es decir, aleatorios). Como señalan Cnaan, Laird y Slasor (1997), es un modelo muy flexible que permite examinar la variación que se produce a nivel individual (micro) y a nivel grupal (macro), y en el que las diferencias inter-grupos no se conciben como una mera diferencia entre las medias grupales, sino que se modelan como distribuciones distintas dentro de cada grupo.

A fin de ilustrar el modelo, describimos en primer lugar su estructura fuera del contexto longitudinal y dejamos, para más adelante, su estudio dentro del marco de datos de medidas repetidas. Supongamos que tenemos N individuos (nivel-1) anidados en J grupos (nivel-2). En un primer nivel (nivel-1 o modelo intra-grupo) se define una ecuación de regresión para cada grupo, siendo las unidades de este nivel los individuos. Si el modelo consta de una variable dependiente continua y, y de una única variable predictora o covariable del nivel-1, X, también de naturaleza continua, la ecuación del nivel-1 se expresa por

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{ij} + e_{ij} \quad e_{ij} \cong N(0, \sigma_e^2) \quad (9)$$

donde  $y_{ij}$  es la variable de respuesta del  $i$ -ésimo sujeto (nivel-1) dentro del  $j$ -ésimo grupo (nivel-2),  $\beta_{0j}$  es el intercepto del  $j$ -ésimo grupo del nivel-2,  $\beta_{1j}$  es el coeficiente de regresión asociado a la variable predictora  $X_{ij}$  del modelo a nivel-1 (por ejemplo, la edad de los sujetos), y  $e_{ij}$  es el error aleatorio asociado al  $i$ -ésimo sujeto. Se asume que los errores al nivel individual, en cada grupo, son independientes y tienen una distribución normal con media cero y varianza constante.

En notación matricial, el modelo del primer nivel adopta la siguiente expresión:

$$Y_j = X_j \beta_j + e_j \quad (10)$$

donde  $e_j$  es un vector de errores aleatorios y se distribuye como  $N(0, R)$ . Así, para cada grupo, existe un modelo a nivel-1 (intra-grupo) de la regresión con las mismas variables predictoras, pero con distintos coeficientes  $\beta_{0j}$  y  $\beta_{1j}$ .

En el segundo nivel (modelo entre-grupos), los coeficientes de regresión de los grupos actúan de variables dependientes que han de ser explicadas por variables predictoras del nivel-2. En el caso de tener una sola variable predictora Z (por ejemplo, un determinado tratamiento terapéutico), las ecuaciones del nivel-2 se expresan como sigue,

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_j + u_{0j} \quad u_{0j} \cong N(0, \tau_{00}) \quad (11)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}Z_j + u_{1j} \quad u_{1j} \cong N(0, \tau_{11}) \quad (12)$$

$$\text{Cov}(u_{0j}, u_{1j}) = \tau_{10}$$

donde  $\beta_{0j}$  y  $\beta_{1j}$  son los parámetros para el intercepto y la pendiente del  $j$ -ésimo grupo (nivel-2), que actúan de variables dependientes en las ecuaciones (11) y (12). A su vez,  $\gamma_{00}$  y  $\gamma_{10}$  son las correspondientes medias poblacionales de estos parámetros, y  $\gamma_{01}$  y  $\gamma_{11}$  los correspondientes coeficientes de regresión sobre la variable predictora Z asociados, también, a estos parámetros. Por último,  $u_{0j}$  y  $u_{1j}$  son las desviaciones aleatorias, tanto respecto del intercepto como de la pendiente de la parte fija, en una y otra ecuación del nivel-2. Se asume que ambos errores tienen una distribución normal con media cero y varianzas  $\tau_{00}$  y  $\tau_{11}$ .

En notación matricial, el modelo del segundo nivel viene dado por la expresión:

$$\beta_j = Z_j \gamma + u_j \quad (13)$$

donde  $\beta_j$  es el vector de coeficientes de la regresión,  $Z_j$  es la matriz del diseño con coeficientes fijos conocidos,  $\gamma$  es el vector de parámetros fijos y  $u_j$  es el vector de componentes de error aleatorios, con media cero y varianza  $G$ .

Los modelos del nivel-1 (intra-grupo) y del nivel-2 (entre-grupos), que acabamos de describir, adquieren mayor sentido cuando se integran en un solo modelo. De hecho, el análisis multinivel combina ambos modelos en un modelo más general conocido como modelo general lineal mixto (Harville, 1977). Cabe señalar que el trabajo de Kreft, De Leeuw y Van der Leeden (1994) describe exhaustivamente los principales paquetes estadísticos que permiten llevar a cabo análisis multinivel, a excepción del SAS, cuya exposición puede consultarse, entre otros, en el artículo de Singer (1998).

### **Modelo general lineal mixto**

Sustituyendo las ecuaciones (11) y (12) en la ecuación (9) obtenemos el modelo siguiente:

$$y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_j + \gamma_{10}X_{ij} + \gamma_{11}Z_j X_{ij} + u_{0j} + u_{1j} X_{ij} + e_{ij} \quad (14)$$

En el modelo de regresión multinivel representado en la ecuación (14), que constituye un caso particular del modelo general lineal mixto, cabe distinguir dos partes: una parte fija que no varía a través de los grupos y una parte aleatoria susceptible de variar de grupo a grupo. La parte fija está formada por los coeficientes de regresión  $\gamma$  y por sus variables asociadas:  $[\gamma_{00} + \gamma_{01}Z_j + \gamma_{10}X_{ij} + \gamma_{11}Z_j X_{ij}]$ . La parte aleatoria está compuesta por los términos de error del nivel 1 y del nivel 2:  $[u_{0j} + u_{1j} X_{ij} + e_{ij}]$ . Dentro de este contexto, los coeficientes  $\gamma$  se conocen por efectos fijos y los parámetros aleatorios incluyen los componentes de varianza/covarianza de los términos de error de ambos niveles. Así, se tiene, la varianza del intercepto  $\beta_{0j}(\tau_{00})$  y de la pendiente  $\beta_{1j}(\tau_{11})$  no explicadas por  $X_{ij}$  y  $Z_j$ , la covarianza entre el intercepto y la pendiente tras tener en cuenta los efectos de  $X_{ij}$  y  $Z_j$  ( $\tau_{01}$ ) y la varianza residual del nivel individual ( $\sigma_e^2$ ). Cabe señalar que el término de interacción  $\gamma_{11}Z_j X_{ij}$  se conoce como interacción transnível, debido a que incluye variables predictoras de distintos niveles.

En notación matricial, la ecuación (14) se expresa mediante los siguientes términos:

$$Y_{ij} = X_{ij} Z_j \gamma + X_{ij} u_{ij} + e_{ij} \quad (15)$$

Si partimos del modelo completo expresado en notación matricial, ecuación (15), la parte fija,  $X_{ij}Z_j\gamma$ , define los valores esperados de las observaciones, mientras que la parte aleatoria,  $X_{ij}u_{ij} + e_{ij}$ , establece la estructura de covarianza de los datos, asumiéndose que los elementos de  $e_{ij}$  y de  $u_{ij}$  tienen distribuciones independientes entre sí. De este modo, el modelo de respuesta media de los valores observados (matriz de observaciones) es:

$$E(Y) = XH \quad (16)$$

y las covarianzas entre los elementos de  $y_{ij}$  no explicadas por la parte fija del modelo (matriz de varianza de la parte aleatoria) se expresan por

$$\text{Var}(Y) = ZGZ' + R = ZGZ' + N^2I \quad (17)$$

En su formulación final, el modelo general lineal mixto adopta la siguiente expresión:

$$Y_j = X_j\gamma + Z_ju_j + e_j \quad (18)$$

donde  $Y_j$  es el vector de respuestas para la  $j$ -ésima unidad o grupo,  $X_j$  y  $Z_j$  son las matrices del diseño conocidas. La matriz  $Z_j$  puede constar de variables continuas o de variables dummy, como las que incluye  $X_j$ ,  $\gamma$  es el vector de parámetros de efectos fijos,  $u_j$  es el vector de parámetros de efectos aleatorios, con distribución  $N(0, G)$ , y  $e_j$  es un vector de errores residuales con distribución  $N(0, R)$ . El modelo de la ecuación (18) se denomina, con frecuencia, modelo lineal jerárquico o modelo lineal mixto anidado (Goldstein, 1986; Longford, 1987). El nombre de modelo mixto se debe a que incluye parámetros de efectos fijos (los elementos de  $\gamma$ ) y parámetros de efectos aleatorios o componentes de varianza ( $\sigma_e^2$  al nivel 1 y los elementos de  $G$  al nivel 2). Es importante señalar que la varianza de  $Y$  (ecuación 17) se define especificando la matriz del diseño de efectos aleatorios,  $Z$ , y las estructuras de covarianza para las matrices  $G$  y  $R$ .

Llegados a este punto, cabe destacar que los coeficientes  $\beta_j$  intra-grupo, o coeficientes de regresión aleatorios, no forman parte de este modelo combinado. Así, en lugar de estimar una gran cantidad de parámetros  $\beta$ , se asume que éstos siguen una distribución normal en todos los grupos y se estiman los parámetros de dicha distribución:  $\gamma$  y  $G$ . Ello convierte al modelo general lineal mixto en un modelo que aporta mayor cantidad de información que los modelos clásicos basados en el análisis de todo el conjunto de datos ignorando los grupos, y mucho más parsimonioso que los modelos que realizan análisis aislados para cada grupo, como pueden ser los modelos de coeficientes variables.

Para finalizar con la descripción del modelo general lineal mixto, y antes de abordar los modelos multinivel para datos longitudinales, citaremos las principales asunciones de este modelo cuando se dispone de datos continuos que siguen una distribución normal (Bryk y Raudenbush, 1992). Así, para el nivel-1, se asume que los términos aleatorios  $e_{ij}$  son independientes y siguen una distribución normal con media cero y varianza constante  $\sigma_e^2$ . Al nivel-2, se asume que los parámetros  $\beta_{0j}$  y  $\beta_{1j}$  tienen una distribución normal multivariada con medias  $\gamma_{00}$  y  $\gamma_{10}$  y varianzas  $\tau_{00}$  y  $\tau_{11}$ , respectivamente. A su vez, se parte del supuesto de que los errores del nivel-1 y del nivel-2 no están correlacionados. Por último, se presupone que las variables predictoras de cada nivel son independientes de los errores de ese mismo nivel.

### **Modelo multinivel para datos longitudinales**

Como se ha señalado anteriormente, los datos longitudinales o de curvas de crecimiento pueden representarse mediante una estructura jerárquica de dos niveles, en la que las observaciones directas o medidas repetidas (nivel-1) se hallan anidadas en los sujetos (nivel-2) (Bock, 1989; Bryk y Raudenbush, 1987, 1992; Goldstein, 1989, 1995; Raudenbush, 1989). Por otra parte, dado que las curvas de crecimiento representan un proceso de desarrollo que se produce en función del tiempo, una forma adecuada de modelarlas radica en describir los valores esperados de las observaciones como funciones polinómicas del tiempo (Van der Lee-den, 1998a).

Como destaca Wu, Clopper y Wooldridge (1999), el modelo lineal jerárquico enfoca el análisis de los datos longitudinales de forma totalmente distinta a los métodos tradicionales. Así, en un primer nivel (modelo intra-

sujeto) se modelan los patrones de crecimiento de cada individuo en función de un único conjunto de parámetros. Habitualmente, la variable de respuesta se modela en función de la edad y de un componente de error residual intra-sujeto. El modelado puede seguir una función polinómica de orden  $p$ , expresada mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ti} = \beta_{0i} + \beta_{1i} T_{ti} + \beta_{2i} T_{ti}^2 + \dots + \beta_{pi} T_{ti}^p + e_{ti} \quad (19)$$

donde  $y_{ti}$  representa la medida de la variable dependiente para el sujeto  $i$  en la ocasión  $t$ . Los  $\beta_{pi}$ 's son los coeficientes de una función polinómica de grado  $p$  y los  $e_{ti}$ 's son los errores aleatorios. Se asume que los residuales  $e_{ti}$  tienen una distribución normal e independiente con media cero y varianza constante. Las  $T_{ti}$ 's son los vectores polinómicos o variables explicativas, como por ejemplo la edad. Nótese que los parámetros  $\beta_{pi}$  y la varianza residual  $N_e^2$  son específicos de la persona  $i$ . Por lo tanto, con el modelo del nivel-1, se describen las medidas repetidas de un proceso de crecimiento o de desarrollo en términos, por ejemplo, de la variable edad como una función polinómica de un determinado grado.

A un segundo nivel (modelo entre-sujetos), se asume que los parámetros del proceso de crecimiento varían aleatoriamente entre los individuos. Estos parámetros son considerados como variables dependientes aleatorias que pueden variar dependiendo de características del nivel-2 o de los sujetos. En este nivel, los parámetros de crecimiento se modelan en función de los promedios poblacionales (parámetros poblacionales) y de las desviaciones que presentan los sujetos respecto de dichos promedios (residuales). La complejidad de este modelo aumenta cuando se incluyen covariables con el fin de explicar la variación observada entre los sujetos en los parámetros de crecimiento. El correspondiente modelo del nivel-2 para datos de crecimiento es dado por

$$\beta_{pi} = Z_i \gamma_p + u_{pi} \quad (20)$$

donde  $Z_i$  es una matriz que contiene las variables entre sujetos. Cuando sólo se modela la variación aleatoria de los parámetros individuales de crecimiento,  $Z_i$  toma la forma de una matriz identidad. Por último,  $\gamma_p$  representa el efecto de  $Z_p$  en el parámetro de crecimiento  $p$  y  $u_{pi}$  es un vector de errores aleatorios.

En notación matricial, el modelo completo a dos niveles para datos de crecimiento es:

$$Y_i = T_i \beta_i + e_i \quad (21)$$

$$B_i = Z_i \gamma + u_i \quad (22)$$

En la ecuación (21) o modelo intra-sujeto,  $y_i$  es el vector de respuestas ( $t \times 1$ ) que contiene las medidas repetidas para el sujeto  $i$ ,  $T_i$  es una matriz ( $t \times p$ ) de variables conocidas (por ejemplo edad en años, número de meses, etc.) y de las transformaciones (cuadrática, cúbica, etc.) de tales variables,  $\beta_i$  es un vector ( $p \times 1$ ) de parámetros individuales que especifican la forma de la curva de crecimiento para el sujeto  $i$ , y  $e_i$  es un vector ( $t \times 1$ ) de errores aleatorios con distribución normal multivariada y una determinada matriz de covarianza. El modelo entre-sujetos, la ecuación (22), tiene también una formulación general (véase la ecuación 13), aunque su interpretación es diferente. De acuerdo con este modelo,  $Z_i$  es una matriz del diseño entre-sujetos ( $p \times q$ ) con elementos conocidos y fijos,  $\gamma$  es un vector de coeficientes fijos ( $q \times 1$ ) y  $u_i$  es un vector de errores aleatorios ( $p \times 1$ ). Sustituyendo la ecuación (22) en la (21), se deriva el modelo mixto completo para el diseño de medidas repetidas y viene dado por

$$Y_i = T_i Z_i \gamma + T_i u_i + e_i \quad (23)$$

Se asume que los elementos de  $e_i$  tienen una distribución independiente y normal con varianza constante,  $e_i \cong N(0, \sigma_e^2 I)$ , que los términos aleatorios del nivel-2, en  $u_i$ , siguen una distribución normal,  $u_i \cong N(0, G)$  y que los términos de error del nivel-1 ( $e_i$ ) se distribuyen independientemente de los del nivel-2 ( $u_i$ ). En el modelo completo, el término  $[T_i Z_i \gamma]$  constituye la parte fija, mientras que el término  $[T_i u_i + e_i]$  constituye la parte aleatoria. Los efectos fijos definen los valores esperados de las observaciones y los efectos aleatorios son

varianzas y covarianzas. La covarianza entre los elementos de  $Y_i$  o los datos longitudinales consta de la parte entre-sujetos e intra-sujeto, de forma que

$$\text{Var}(Y_i) = \text{Var}(T_{ui} + e_i) = TGT' + \sigma_e^2 I \quad (24)$$

Cabe señalar que los supuestos relativos a los errores, especialmente al término  $e_i$ , llevan a estructuras de covarianza muy simples al nivel individual del modelo (errores constantes y no correlacionados a través de los puntos temporales). No obstante, cuando se dispone de muchos puntos temporales por sujeto, los residuales presentan, frecuentemente, algún patrón de autocorrelación serial. Los modelos multínivel brindan la posibilidad de seleccionar una matriz de covarianza que represente adecuadamente la dependencia entre las observaciones. Así, el modelado de la estructura de covarianza intra-sujeto adquiere una relevancia esencial, dado que la precisión en la estimación de los parámetros de regresión depende, en gran medida, de la adecuada elección de dicha estructura (Littell, Pendergast y Natarajan, 2000; Park y Lee, 2002).

### **Tiempo al deterioro definitivo (TDD)**

Osoba y col demostró que un cambio medio de 5 a 10 puntos en un QLQ-C30 puntuación corresponde a un cambio "ligero" en la calidad de vida, un cambio de 10 a 20 puntos corresponde a un cambio "moderado", y un cambio de más de 20 puntos corresponde a un cambio "grande". Se utiliza esta definición en su caso para indicar la relevancia clínica de cualquier diferencia observada.

Para una línea de base dado cuenta, la encuesta QLQ-C30 se consideró el deterioro definitivo si existe disminución de más de 10 puntos (o 20 puntos) puntuación en comparación con el marcador la línea de base, sin mejoría posterior superior a 10 puntos (o 20 puntos) como en comparación con la línea base o sin la calificación disponible.

Por lo tanto, TDD para la calidad de vida scores fue definido como el tiempo desde la aleatorización a la primera observación de un deterioro definitivo de puntuación QLQ-C30. Del mismo modo, se volvieron a analizar TDD mediante la integración de la muerte como un evento. TDD se analizó con el uso del método Kaplan-Meier. Se utilizó la prueba de log-rank para comparar grupos de tratamiento.

Se utilizaron el cuerpo de artículos analizados en el estudio de Zikos E. & al. (2014), una revisión sistemática de los métodos de QoL relacionados con la salud reportados en ensayos controlados aleatorios de cáncer de pulmón de células pequeñas (SCLC). Los criterios de selección se detallan en Zikos E. & al. (2014).

## **RESULTADOS**

### **Estructura de los datos QoL**

Se seleccionaron 31 ECA publicados en 1991 y 2010 para su análisis, en los que participaron unos 10 000 pacientes. En estos estudios se utilizaron 14 diferentes cuestionarios de calidad de vida, siendo los más utilizados la Tarjeta Diaria Diaria (DDC), la Lista de Verificación de Síntomas de Rotterdam (RSC) y el Cuestionario de Calidad de Vida de la Organización Europea para la Investigación y el Tratamiento del Cáncer (QLQ- C30).

Todos los ensayos considerados utilizaron evaluaciones longitudinales de la calidad de vida. Los pacientes tenían regularmente cuestionarios completos durante un período de 2 a 36 meses dependiendo de los estudios. El período de evaluación de la calidad de vida incluyó sistemáticamente todo el período de tratamiento contra el cáncer.

Ninguno de los estudios presentó datos exhaustivos sobre la calidad de vida en todos los tiempos de medición planificados. Los datos perdidos podrían estar relacionados con una falta de cumplimiento o una muerte prematura de los pacientes. Las tasas de cumplimiento oscilaron entre el 45% y el 90%, y la tasa de mortalidad al final del período de seguimiento de la calidad de vida varió de 20% a 90%.

### **Diseño de análisis estadístico**

En la Tabla 1 se identificaron 14 estrategias estadísticas diferentes sobre los 31 ECAs considerados. Sólo 6 estudios correctamente tomó en cuenta la multidimensionalidad de los cuestionarios analizados: 4 a priori la selección de una dimensión única para ser analizado como variable primaria QoL y 2 adecuadamente ajustaron el error de tipo I al realizar comparaciones múltiples.

Sólo 7 estudios utilizaron métodos adecuados para los diseños longitudinales (análisis de varianza de medida repetida RM-ANOVA, modelos de estimación de ecuaciones generalizadas GEE y mixto modelo MM).

**Tabla 1.** Estrategias estadísticas diferentes

Autor/Año	Multidimensionalidad	Longitudinalidad		Reporte de datos faltantes		Análisis estadístico	
	Instrumento Usado	Duración del seguimiento	Tiempo de estimación	Tasa de supervivencia	Tasa de cumplimiento	Análisis de Calidad de Vida	Comparaciones múltiples
Le Péchoux 2010, 2009	QLQ-C30 BN20	36m	5	73%	50%	Modelo logístico en cada tiempo	Error de tipo I al 1%
Wolfson 2010	QLQ-C30 BN20	12m	3	27%	48%	Cambio con respecto al valor basal	Procedimiento paso a paso de Hommel
Lee 2009 Lee 2009	QLQ-C30 LC14	ns	5	-	ns	Modelo Mixto	Error de tipo I no ajustado
Slotman 2009	QLQ-C30 BN20	9m	5	29%	46%	Modelo Mixto	Error de tipo I al 1%
Hermes 2008	QLQ-C30 LC13	12m	10	28%	76%	Comparación de área bajo la curva	Error de tipo I al 1%
Bottomley 2008	QLQ-C30 LC13	18m	6	21%	64%	Modelo Mixto	Error de tipo I al 1%
Arnold 2007	QLQ-C30 LC13	ns	ns	-	50%	Cambio con respecto al valor basal	Error de tipo I no ajustado
O'Brien 2006	EQ-SD	ns	ns	-	ns	Modelo Mixto	No aplicable
Reck 2006, 2003	QLQ-C30	6m	8	80%	ns	Cambio con respecto al valor basal	Error de tipo I no ajustado

### **Datos faltantes**

No se realizó ninguna imputación de datos faltantes en caso de incumplimiento. Cuando los datos faltantes estaban relacionados con la muerte, 2 estudios planeaban imputar datos faltantes relacionados con la muerte por valores que correspondían a los valores más peyorativos.

### **Asistencia en la interpretación de resultados**

7 estudios indicaron referencia a la significación clínica de las diferencias estimadas en la calidad de vida, basándose en las diferencias clínicamente importantes mínimas validadas para los estudios y en la estimación de los tamaños de efecto para un estudio.

Se utilizaron gráficos y tablas para presentar y resumir los resultados de 14 y 20 de los estudios seleccionados, respectivamente. Todos los artículos que presentan gráficas mostraron la evolución de las diferentes subescalas de QoL con el tiempo. Para cinco de estos estudios, estos gráficos también propusieron una representación gráfica de la variabilidad de la mensajería (presentando otros intervalos de confianza del 95% o rangos inter-cuartiles en cada tiempo de evaluación).

## DISCUSIÓN

En el presente artículo se han examinado los principales modelos de análisis aplicados a datos longitudinales y de curvas de crecimiento, partiendo desde un enfoque clásico hasta llegar a los modelos lineales jerárquicos longitudinales. Se han abordado las características y los supuestos esenciales de cada modelo, tratando de poner de manifiesto las razones por las que han ido emergiendo los sucesivos modelos y de establecer las principales similitudes y diferencias existentes entre ellos. Dado que se han abordado los modelos con una variable dependiente continua, remitimos al lector interesado en la versión logística del modelo multinivel para variables dependientes categóricas a la excelente obra de Diggle, Liang y Zeger (1998).

A modo de conclusión, proporcionamos una serie de pautas que pueden resultar útiles para decantarse por uno u otro modelo, partiendo del análisis de las principales ventajas y limitaciones que presentan los modelos de más reciente aparición en psicología, es decir, los modelos multinivel, respecto a los modelos MANOVA clásicos de medidas repetidas. Para ello, tomamos como referencia básica los trabajos de Bryk y Raudenbush (1992) y de Vander Leeden (1998b).

La primera ventaja que presentan los modelos multinivel respecto a los MANOVA es que toman en consideración dos importantes características del crecimiento: a) que las respuestas de un mismo sujeto en diferentes ocasiones están correlacionadas entre sí, y b) que las covarianzas entre las observaciones, es decir, las variaciones entre-sujetos, son función del tiempo o de la edad. Las covarianzas entre las observaciones dependen tanto del modelo intra-sujeto como de las covarianzas entre los parámetros del modelo entre-sujetos. A diferencia del MANOVA de medidas repetidas, el modelo lineal jerárquico permite especificar distintas estructuras de covarianza para modelar los términos de error eti en el modelo intra-sujeto y proporciona métodos para examinar los posibles determinantes de dichas estructuras.

En segundo lugar, el modelo multinivel longitudinal tiene en cuenta explícitamente la trayectoria de crecimiento individual en el modelo intra-sujeto. Por el contrario, en los MANOVA de medidas repetidas, la variación individual no se modela directamente, sino que se refleja únicamente en la interacción entre las medidas repetidas y los sujetos.

En tercer lugar, el modelo jerárquico es más flexible que el MANOVA de medidas repetidas respecto a los requisitos que deben cumplir los datos (ser balanceados) y a los supuestos del modelo (por ejemplo, en cuanto a la matriz de covarianza intra-sujeto), debido a que se considera que las medidas repetidas están anidadas dentro del sujeto y no constituyen, como en el MANOVA, un conjunto fijo para todos los sujetos. Así, en el modelo multinivel, es posible formular diversas curvas de crecimiento así como incorporar covariables que varían a través del tiempo en el modelo intra-sujeto. Los efectos de tales covariables pueden ser fijos, de variación aleatoria o no-aleatoria. De la misma forma, la variable tiempo o edad no tiene por qué incluir una serie de puntos fijos, sino que puede ser continua. Por otra parte, los modelos multinivel tienen capacidad para modelar estructuras de datos de ocasiones de medida fijas no balanceadas, a saber, estructuras en las que tanto la cantidad de observaciones por sujeto como la amplitud de los intervalos temporales pueden ser variables y en las que algunos (o todos) los sujetos presentan valores perdidos. Hemos de señalar que este tipo de estructuras también pueden modelarse mediante algunos modelos MANOVA de medidas repetidas generalizados tales, como por ejemplo, el propuesto por Jennrich y Schluchter (1986).

Por último, cabe destacar que incluso cuando todos los requisitos de los datos y todos los supuestos necesarios para aplicar el MANOVA de medidas repetidas se cumplen, el análisis jerárquico proporciona los mismos estimadores puntuales, que el MANOVA, para los efectos fijos.

Sin embargo, los modelos multinivel también adolecen de ciertas deficiencias. Así, cuando se dispone de muestras pequeñas, los métodos máximo verosímiles, utilizados habitualmente para la estimación en este tipo de modelos, proporcionan estimaciones negativamente sesgadas de los componentes de varianza (Searle, Casella y McCulloch, 1992), y los errores estándar estimados pueden ser diferentes de los reales. En el mismo sentido, los resultados de las pruebas de hipótesis para los componentes de varianza y para los efectos aleatorios individuales deben interpretarse con cautela cuando el número de unidades s del nivel-2 es pequeño ( $J < 30$ ) o los datos son excesivamente no balanceados (Sullivan, Dukes y Losina, 1999). Por otra parte, a pesar de que también se pueden plantear modelos multinivel longitudinales multivariados (Goldstein, 1995), el modelado no resulta tan sencillo como el de los modelos univariados abordados en el presente artículo.

De cualquier forma, los modelos lineales jerárquicos han marcado un hito en el modelado de datos longitudinales y se perfilan como una alternativa que brinda excelentes posibilidades para realizar investigaciones no-experimentales en el ámbito de la psicología, donde su desarrollo dista mucho del alcanzado en otras ciencias de la salud como, por ejemplo, la epidemiología.

## CONCLUSIONES

A pesar de una estructura muy similar de los datos de la calidad de vida de los ensayos clínicos en oncología (sistemáticamente tanto multidimensional y longitudinal), el análisis estadístico enfoques difiere a través de los estudios.

Todos los estudios seleccionados se enfrentan a problemas relacionados con la naturaleza multidimensional y longitudinal de los datos analizados de QoL. Los datos que faltaban eran un problema común en todos los estudios considerados. Sin embargo, ninguno de estos estudios propone métodos para evaluar el proceso de la misalidad, lo que puede resultar altamente sesgado, especialmente cuando los datos faltantes son informativos (es decir, cuando una disminución de la capacitación puede estar directamente relacionada con una disminución de la calidad de vida).

La iniciativa "Establecimiento internacional en el análisis de la calidad de vida de datos" (SISAQOL) se ha establecido para abordar estas preocupaciones, mediante el desarrollo de un consenso internacional para analizar los datos QoL en ECA de cáncer. Este nuevo grupo estará compuesto por reguladores, académicos, investigadores, políticos y pacientes, y en los próximos 2 años comenzará a trabajar conjuntamente para generar recomendaciones internacionales para el análisis de los datos de QOL y PRO.

## REFERENCIAS

- [1] Aaronson, N.K. (1989). «Quality of life assessments in clinical trials: Methodological issues». Controlled Clinical Trials 10 (Suppl.), 195S-208S.
- [2] Aaronson, N.K., Acquadro, C., Alonso, J., Apolone, G., Bucquet, D., Bullinger, M., Bungay, K., Fukuhara, S., Gandek, B., Keller, S., Razavi, R., Sanson-Fisher, M., Sullivan, S., Wood-Dauphinee, S., Wagner, A., Ware, J.E. (1992). «International quality of life assessment (IQOLA) project». Quality of Life Research 1(5), 349-351.
- [3] Alonso, J., Prieto, L., Antó, J.M. (1995). «La versión española del SF-36 Health Survey (Cuestionario de Salud SF-36): Un instrumento para la medida de los resultados clínicos». Medicina Clínica 104(20), 771-776.
- [4] Anderson, J.P., Kaplan, R.M., Coons, S.J., Schneiderman, L.J. (1998). «Comparison of the Quality of Well Being Scale and the SF-36 results among two samples of ill adults: AIDS and other illnesses». Journal of Clinical Epidemiology 51(9), 755-762.
- [5] Anitua, C., Quintana, J.M. (1999). «Valores poblacionales del índice de salud SF-36 en el País Vasco: Importancia y aplicación en la práctica clínica». Osasunkaria 17, 10-17.

- [6] Apolone, G., Cifani, S., Liberati, M.C., Moscón, P. (1997). «Questionario sullo stato di salute SF-36. Traduzione e validazione della versione italiana: Risultati del progetto IQOLA». Metodologia e Didattica Clinica 5, 86-94.
- [7] Arostegui, I., Núñez-Antón, V., Quintana, J.M. (2007). «Analysis of the Short Form – 36 (SF-36): The beta-binomial distribution approach». Statistics in Medicine 26(6) 1318-1342.
- [8] Badía, X., Salamero, M., Alonso, J. (1999). «La Medida de la Salud.» Guía de Escalas de Medición en Español (2<sup>a</sup> edición). Edimac: Barcelona.
- [9] Bartlett, M.S. (1947). The general canonical correlation distribution. Annals of Mathematical Statistics, 18, 1-17.
- [10] Beaton, D.E., Bombardier, C., Katz, J.N., Wright, J.G. (2001). «A taxonomy for responsiveness». Journal of Clinical Epidemiology 54(12), 1204-1217.
- [11] Bock, R.D. (1989). Multilevel analysis of educational data. San Diego, CA: Academic Press.
- [12] Boik, R.J. (1981). A priori tests in repeated measures designs: effects of nonsphericity. Psychometrika, 46, 241-255.
- [13] Bowling, A. (1991). «Measuring Health: A Review of Quality of Life Measurements Scales». Open University Press: Philadelphia.
- [14] Box, G.E.P. (1954). Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems, II. Effects of inequality of variance and of correlation between errors in the two-way classification. Annals of Mathematical Statistics, 25, 484-498.
- [15] Brazier, J.E., Harper, R., Jones, N.M.B., O'Cathain, A., Thomas, K.J., Usherwood, T., Westlake, L. (1992). «Validating the SF-36 Health Survey questionnaire: New outcome measure for primary care». British Medical Journal 305(6846), 160-164.
- [16] Brislin, R.W. (1980). Translation and content analysis of oral and written material. En H. C. Triandis y J.W. Berry (eds.), Handbook of Cross-Cultural Psychology (Vol. 1, pp. 389-444). Boston: Allyn and Bacon.
- [17] Bryk, A.S. y Raudenbush, S.W. (1987). Application of hierarchical linear models to assessing change. Psychological Bulletin, 101, 147-158.
- [18] Bryk, A.S. y Raudenbush, S.W. (1992). Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- [19] Bubien, R.S., Knotts-Dolson, S.M., Plumb, V.J., Kay, G.N. (1996). «Effect of radiofrequency catheter ablation on health-related quality of life and activities of daily living in patients with recurrent arrhythmias». Circulation 94(7), 1585-1591.
- [20] Bullinger, M. (1995). «German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: Preliminary results from the IQOLA project, international quality of life assessment». Social Science and Medicine 41(10), 1359-1366.
- [21] Campbell, D., Fiske, D. (1959). «Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix». Psychological Bulletin 56(2), 81-105.
- [22] Cheung, Y.B., Thumboo, J., Machin, D., Feng, P.H., Boey, M.L., Thio, S.T., Fong, K.Y. (2004). «Modelling variability of quality of life scores: A study of questionnaire version and bilingualism». Quality of Life Research 13(5), 897-906.
- [23] Clancy, C.M., Eisenberg, J.M. (1998). «Outcomes research: Measuring the end results of health care» Science 282(5387), 245-246.
- [24] Cnaan, A., Laird, N.M. y Slasor, P. (1997). Using the general linear mixed model to analyze unbalanced repeated measures and longitudinal data. Statistics in Medicine, 16, 2.349-2.380.
- [25] Coulehan, J.L., Schulberg, H.C., Block, M.R., Madonia, M.J., Rodriguez, E. (1997). «Treating depressed primary care patients improves their physical, mental and social functioning». Archives of Internal Medicine 157(10), 1113-1120.
- [26] Cox, D.R., Fitzpatrick, R., Fletcher, A.E., Gore, S.M., Spiegelhalter, D.J., Jones, D.R. (1992). «Quality-of-life assessment: Can we make it simple?». Journal of the Royal Statistical Society: Series A 155(3), 353-393 (with discussion).
- [27] Cronbach, L.J. (1951). «Coefficient alpha and the internal structure of tests». Psychometrika 16(2), 297-334.

- [28] Davison, A.C. Y Hinkley, D.V. (1997). «Bootstrap Methods and Their Applications». Cambridge University Press: Cambridge.
- [29] Dawson, J., Fitzpatrick, R., Carr, A., Murray, D. (1996). «Questionnaire on the perceptions of patients about total hip replacement» The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume 78(2), 185-190.
- [30] De Leeuw, J. y Kreft, I.G.G. (1986). Random coefficient models for multilevel analysis. *Journal of Educational Statistics*, 11, 57-85.
- [31] De Vet, H.C., Bouter, L.M., Bezemer, P.D., Beurskens, A.J. (2001). «Reproducibility and responsiveness of evaluative outcome measures». *International Journal of Technology Assessment in Health Care* 17(4), 479-487.
- [32] Diggle, P. J., Liang, K.Y. y Zeger, A.L. (1998). Analysis of longitudinal data. Oxford: Oxford University Press.
- [33] Donovan, K., Sanson-Fisher, R.W., Redman, S. (1989). «Measuring quality of life in cancer patients». *Journal of Clinical Oncology* 7(7), 959-968.
- [34] Efron, B., Tibshirani, R.J. (1993). «An Introduction to the Bootstrap». Chapman & Hall: New York.
- [35] Etxebarria, Y., Pérez-Izquierdo, J., Badiola, C., Quintana, J.M., Padierna, A., Arostegui, I., Capelastegui, A. (2001). «Evaluación de la calidad de vida en pacientes con cáncer de pulmón». *Gaceta Sanitaria* 15 (1), 25-31.
- [36] Everson, H.T., Millsap, R.E., & Rodriguez, C.M. (1991). Isolating gender differences in test anxiety: A confirmatory factor analysis of the test anxiety inventory. *Educational and Psychological Measurement*, 51, 243-251.
- [37] Fairclough, D. (2002). «Design and Analysis of Quality of Life Studies in Clinical Trials». Chapman and Hall: London.
- [38] Fayers, P.M., Machin, D. (2000). «Quality of Life. Assessment, Analysis and Interpretation» Wiley: London.
- [39] Fayers, P.M., Groenvold, M., Hand, D.J., Bjordal, K. (1998). «Clinical impact versus factor analysis for quality of life questionnaire construction». *Journal of Clinical Epidemiology* 651(3), 285-286.
- [40] Fayers, P.M., Hand, D.J. (1997). «Factor analysis, causal indicators, and quality of life». *Quality of Life Research* 6(2), 139-150.
- [41] Ferrando, P.J. (1996). Calibration of invariant item parameters in a continuous item response model using the extended Lisrel measurement submodel. *Multivariate Behavioral Research*, 31 (4), 419-439.
- [42] Ferrer, M., Alonso, J., Morera, J., Marrades, R.M., Khalaf, A., Aguilar, M.C., Plaza, V., Prieto, L., Antó, J.M. (1997). «Chronic obstructive pulmonary disease stage and health-related quality of life. The quality of life of chronic obstructive pulmonary disease study group». *Annals of Internal Medicine* 127(12), 1072-1079.
- [43] Finn, J.D. (1969). Multivariate analysis of repeated measures data. *Multivariate Behavioral Research*, 4, 391-413.
- [44] Gandek, B., Ware, J.E. (1998). «Methods for validating and norming translations of health status questionnaires: The IQOLA project approach». *Journal of Clinical Epidemiology* 51(11), 953-959.
- [45] Garratt, A.M., Schmidt, L., Mackintosh, A., Fitzpatrick, R. (2002). «Quality of life measurement: Bibliographic study of patient assessed health outcome measures» *British Medical Journal* 324(7351), 1417-1421.
- [46] Goldsmith, S.B. (1972). «The status of health status indicators» *Health Services Reports* 87(3), 212-220.
- [47] Goldsmith, S.B. (1973). «A reevaluation of health status indicator». *Health Services Reports* 88(10), 937-941.
- [48] Goldstein, H. (1986). Multilevel mixed linear models analysis using iterative generalized least squares. *Biometrika*, 73, 43-56.
- [49] Goldstein, H. (1989). Models for multilevel response variables with an application to growth curves. En R.D. Bock (Ed.), *Multilevel analysis of educational data* (pp. 107-125). San Diego, CA: Academic Press.

- [50] Goldstein, H. (1995). Multilevel Statistical Models. New York: John Wiley and Sons.
- [51] González, N., Quintana, J.M., Arostegui, I., Padierna, A., Martínez E., Crespo, I., Vesga, M.A. (2005). «Translation and psychometric testing of the Basque version of the SF-36 health survey». *Quality of Life Research* 14(2), 549-554.
- [52] Greenhouse, S.W. y Geisser , S. (1959). On methods in analysis of profile data. *Psychometrika*, 24, 95-112.
- [53] Guyatt, G.H., Feeny, D.H., Patrick, D.L. (1993). «Measuring health-related quality of life». *Annals of Internal Medicine* 118(8), 622-629.
- [54] Guyatt, G.H., Walter, S.D., Norman, G.R. (1987). «Measuring change over time: Assessing the usefulness of evaluative instruments». *Journal of Chronic Diseases* 40(2), 171-178.
- [55] Hambleton, R.K. & Kanjee, A. (1995). Increasing the validity of cross-cultural assessments: Use of improved methods for test adaptations. *European Journal of Psychological Assessment*, 11 (3), 147-157.
- [56] Hambleton, R.K. (1994). Guidelines for adapting educational and psychological tests: A progress report. *European Journal of Psychological Assessment*, 10, 229-240.
- [57] Hambleton, R.K. (1996). Adaptación de tests para su uso en diferentes idiomas y culturas: fuentes de error, posibles soluciones y directrices prácticas. En J. Muñiz (coor.), *Psicometría* (pp. 208-238). Madrid: Universitas.
- [58] Harper, R., Brazier, J.E., Waterhouse, J.C., Walters, S.J., Jones, N.M.B., Howard, P. (1997). «Comparison of outcome measures for patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) in an outpatient setting». *Thorax* 52(10), 879-887.
- [59] Harville, D.A. (1977). Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. *Journal of the American Statistical Association*, 72, 320-340.
- [60] Hassan, I.S., Bannister, B.A., Akbar, A., Weir, W., Bofill, M. (1998). «A study of the immunology of the chronic fatigue syndrome: Correlation of immunologic parameters to health dysfunction». *Clinical Immunology and Immunopathology* 87(1), 60-67.
- [61] Hays, R.D., Anderson, R., Revicki, D. (1993). «Psychometric considerations in evaluating health-related quality of life measures». *Quality of Life Research* 2(6), 441-449.
- [62] Hemingway, H., Stafford, M., Stansfeld, S., Shipley, M., Marmot, M. (1997). «Is the SF-36 a valid measure of change in population health? Results from the Whitehall II study». *British Medical Journal* 315(7118), 1273-1279.
- [63] Hotelling, H. (1951). A generalized T test and measure of multivariate dispersion. *Proceedings of the second Berkeley Symposium of Mathematical Statistics and Probability*. Berkeley: University of California Press.
- [64] Hox, J.J. (1996). Applied multilevel analysis. New York: Springer-Verlag.
- [65] Hox, J.J. (2002). Multilevel analysis. Techniques and applications. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [66] Huynh, H. (1978). Some approximate tests for repeated measurement designs. *Psychometrika*, 43, 161-175.
- [67] Huynh, H. y Feldt, L.S. (1970). Conditions under which mean square ratios in repeated measurements designs have exact F-distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 65, 1.582-1.589.
- [68] Huynh, H. y Feldt, L.S. (1976). Estimation of the box correction for degrees of freedom from sample data in the randomized block and split plot designs. *Journal of Educational Statistics*, 1, 69-82.
- [69] Jacobson, A.M., De Groot, M., Samson, J.A. (1994). «The evaluation of two measures of quality of life in patients with type I and type II diabetes». *Diabetes Care* 17(4), 267-274.
- [70] Jennrich, R., Schluchter, M.D. (1986). Unbalanced repeated measures models with structured covariance matrices. *Biometrics*, 42, 805-820.
- [71] Johansen, S. (1980). The Welch-James approximation to the distribution of the residual sum of squares in a weighted linear regression. *Biometrika*, 67, 85-92.
- [72] Jöreskog, K.G., Sörbom, D. (1993). LISREL VIII: User's reference guide. Mooresville, IN: Scientific Software.
- [73] Juniper, E.F., Guyatt, G.H., Streiner, D.L., King, D.R. (1997). «Clinical impact versus factor analysis for quality of life questionnaire construction». *Journal of Clinical Epidemiology* 50(3), 233-238.

- [74] Karnofsky, D.A., Burchenal, J.H. (1949). «The clinical evaluation of chemotherapeutic agents in cancer». En: Evaluation of Chemotherapeutic Agents (C.M. McLeod ed.). Columbia University Press: New York, 191-205.
- [75] Katz, S., Akpom, C.A. (1976). «A measure of primary sociobiological functions». International Journal of Health Services 6(3), 493-507.
- [76] Keselman, H.J., Algina, J. y Kowalchuk, R.K. (2002). A comparison of data analysis strategies for testing omnibus effects in higher-order repeated measures designs. Multivariate Behavioral Research, 37(3), 331, 357.
- [77] Keselman, H.J., Algina, J. y Kowalchuk, R.K. (2001). The analysis of repeated measures design: A review. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 54, 1-20.
- [78] Keselman, H.J., Algina, J., Kowalchuk, R.K. y Wolfinger, R.D. (1999). A comparison of recent approaches to the analysis of repeated measurement. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 52, 63-78.
- [79] Komaroff, A.L., Fagioli, L.R., Doolittle, T.H., Gandek, B., Gleit, M.A., Guerreiro, R.T., Kornish, J., Ware, N.C., Ware, J.E., Bates, D.W. (1996). «Health status in patients with chronic fatigue syndrome and in general population and disease comparison groups». American Journal of Medicine 101(3), 281-290.
- [80] Kreft, I.G.G., De Leeuw, J. y Van der Leeden, R. (1994). Review of five multilevel analysis programs: BMDP-5V, GENMOD, HLM, ML3, VARCL. The American Statistician, 48(4), 324-335.
- [81] Laforge, R.G., Rossi, J.S., Prochaska, J.O., Velicer, W.F., Levesque, D.A., Mchorney, C.A. (1999). «Stage of regular exercise and health-related quality-of-life». Preventive Medicine 28(4), 349-360.
- [82] Laird, N.M. y Ware, J.H. (1982). Random effects models for longitudinal data. Biometrics, 38, 963-974.
- [83] Lall, R., Campbell, M.J., Walters, S.J., Morgan, K., Mrc CFAS (2002). «A review of ordinal regression models applied on health-related quality of life assessments» Statistical Methods in Medical Research 11(1), 49-67.
- [84] Lee, P.P., Spritzer, K., Hays, R.D. (1997). «The impact of blurred vision on functioning and well-being» Ophthalmology 104(3), 390-396.
- [85] Leech, N. L., Morgan, G. A., BARRETT K. C. (2004): SPSS FOR INTERMEDIATE STATISTICS: USE AND INTERPRETATION [WITH CDROM]. LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES, LONDON.
- [86] Leidy, N.K., Elixhauser, A., Vickrey, B., Means, E., Willian, M.K. (1999). «Seizure frequency and the health-related quality of life of adults with epilepsy». Neurology 53(1), 162-166.
- [87] Lindquist, E.F . (1953). Design and analysis of experiments in psychology and education. Boston MA: Houghton Mifflin.
- [88] Littell, R.C., Pendegast, J.P . y Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. Statistics in Medicine, 19, 1.793-1.819.
- [89] Lohr, K.N. (2002). «Assessing health status and quality-of-life instruments: Attributes and review criteria». Quality of Life Research 11(3), 193-205.
- [90] Longford, N.T . (1987). A fast scoring algorithm for maximum likelihood estimation in unbalanced mixed models with nested random effects. Biometrika, 74, 817-827.
- [91] Longford, N.T. (1989). Fisher scoring algorithm for variance component analysis of data with multilevel structure. En R.D. Bock (Ed.), Multilevel analysis of educational data (pp. 297-310). San Diego, CA: Academic Press.
- [92] Longford, N.T. (1993). Random coefficient models. Oxford, GB: Clarendon Press.
- [93] Lyons, R.A., Lo, S.V., Littlepage, B.N.C. (1994). «Comparative health status of patients with 11 common illnesses in Wales». Journal of Epidemiology and Community Health 48(4), 388-390.
- [94] Mahler, D.A., Mackowiak, J.I. (1995). «Evaluation of the Short-Form 36-item questionnaire to measure health-related quality of life in patients with COPD» Chest 107(6), 1585-1589.
- [95] Mangione, C.M., Phillips, R.S., Lawrence, M.G., Seddon, J.M., Orav, E.J., Goldman, L. (1994). «Improved visual function and attenuation of declines in health-related quality of life cataract extraction». Archives of Ophthalmology 112(11), 1419-1425.

- [96] Marsh, H.W., Richards, G.E., Johnson, S., Roche, L., & Tremayne, P. (1994). Physical Self-Description Questionnaire: Psychometric properties and a multitrait-multimethod analysis of relations to existing instruments. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16, 270-305.
- [97] MATHSOFT INC. (1999). «S-PLUS 2000 User's Guide». MathSoft, Data Analysis Products Division: Seattle, WA.
- [98] Maurer, T.J., Raju, N.S., & Collins, W.C. (1998). Peer and subordinate performance appraisal measurement equivalence. *Journal of Applied Psychology*, 83 (5), 693-702.
- [99] McCallum, J. (1995). «The SF-36 in an Australian sample: Validating a new generic health status measure». *Australian Journal of Public Health* 19(2), 160-166.
- [100] McDowell, I., Newell, C. (1996). «Measuring Health: A Guide to Rating Scales and Questionnaires» (2nd edition). Oxford University Press: New York.
- [101] McHorney, C.A. (1999). «Health status assessment methods for adults: Past accomplishments and future challenges». *Annual Review of Public Health* 20, 309-335.
- [102] Mellenberg, G.J. (1994). A unidimensional latent trait model for continuous item responses. *Multivariate Behavioral Research*, 29 (3), 223-236.
- [103] Mesbah, M.F., Cole, B., Ting LEE, M. (2002). «Statistical Methods for Quality of Life Studies. Design, Measurements and Analysis». Kluwer Academic Publishers: Boston, MA.
- [104] Millsap, R.E., Everson, H.T. (1991). Confirmatory measurement model comparisons using latent means. *Multivariate Behavioral Research*, 26, 479-497.
- [105] Millsap, R.E., Everson, H.T. (1993). Methodology review: Statistical approaches for assessing measurement bias. *Applied Psychological Measurement*, 17 (4), 297-334.
- [106] Montgomery, D. C. (2013): DESIGN AND ANALYSIS OF EXPERIMENTS. J. WILEY, HOBOKEN
- [107] Mozes, B., Maor, Y, Shmueli, A. (1999). «The competing effects of disease states on quality of life of the elderly: The case of urinary symptoms in men». *Quality of Life Research* 8(1-2), 93-99.
- [108] MULTILOG: Multiple, categorical item analysis and test scoring using item response theory (Version 5.1). Chicago: Scientific Software.
- [109] Murawski, M.M., Miederhoff, P.A. (1998). «On the generalizability of statistical expressions of the health related quality of life instrument responsiveness: A data synthesis». *Quality of Life Research* 7(1), 11-22.
- [110] O'Brien, P.C. (1984). «Procedures for comparing samples with multiple endpoints». *Biometrics* 40(4), 1079-1087.
- [111] Olschewski, M., Schumacher, M. (1990). «Statistical analysis of quality of life data in cancer clinical trials». *Statistics in Medicine* 9(7), 749-763.
- [112] Osoba D, Rodrigues G, Myles J, y col: Interpreting the significance of changes in health-related quality-of-life scores. *J Clin Oncol* 16:139-144, 1998
- [113] Padierna, A., Quintana, J.M., Arostegui, I., González, N., Horcajo, M.J. (2000). «The health-related quality of life in eating disorders». *Quality of Life Research* 9(6), 667-674
- [114] Padierna, A., Quintana, J.M., Arostegui, I., González, N., Horcajo, M.J. (2002). «Changes in health related quality of life among patients treated for eating disorders». *Quality of Life Research* 11(6), 545-552.
- [115] Park, T. y Lee, J. (2002). Covariance models for nested repeated measures data: analysis of ovarian steroid secretion data. *Statistics in Medicine*, 21, 143-164.
- [116] Patrick, D.L., Deyo, R.A., Atlas, S.J., Singer, D.E., Chapin, A., Keller, R.B. (1995). «Assessing health-related quality of life in patients with sciatica». *Spine* 20(17), 1899-1909.
- [117] Patrick, D.L., Deyo, R.A. (1989). «Generic and disease-specific measures in assessing health status and quality of life». *Medical Care* 27(3 Suppl.), S217-S232.
- [118] Perneger, T.V., Leplege, A., Etter, J.F., Rougemont, A. (1995). «Validation of a French language version of the MOS 36 item short form health survey (SF-36) in young healthy adults» *Journal of Clinical Epidemiology* 48(8), 1051-1060.
- [119] Plewis, I. y Hurry , J. (1998). A multilevel perspective on the design and analysis of intervention studies. *Education Research and Evaluation*, 4, 13-26.

- [120] Pocock, S.J., Geller, N.L., Tsiatis, A. (1987). «The analysis of multiple endpoints in clinical trials». *Biometrics* 43(3), 487-498.
- [121] Potthoff, R.F. y Roy, S.N. (1964). A generalized multivariate analysis of variance model useful especially for growth curve problems. *Biometrika*, 51, 313-323.
- [122] Quintana, J.M., Arostegui, I., Cabriada, J., López De Tejada, I., Pérdigo, L. (2003). «Predictors of health-related quality of life improvement among patients undergoing cholecystectomy». *British Journal of Surgery* 90(12), 1549-1555.
- [123] Quintana, J.M., Arostegui, I., Oribe, V., López De Tejada, I., Barrios, B., Garai, I. (2005). «Influence of age and gender on quality of life outcomes after cholecystectomy». *Quality of Life Research* 14(3), 815-825.
- [124] Quintana, J.M., Escobar, A., Arostegui, I., Bilbao, A., Azkarate, J., Goenaga, J.I., Arenaza, J.C. (2006). «Health-related quality of life and appropriateness of knee or hip joint replacement». *Archives of Internal Medicine* 166(2), 220-226.
- [125] Rao, C.R. (1965). The theory of least squares when the parameters are stochastic and its application to the analysis of growth curves. *Biometrika*, 52, 447-458.
- [126] Raudenbush, S.W. (1989). The analysis of longitudinal, multilevel data. *International Journal of Educational Research*, 13, 721-740.
- [127] Raudenbush, S.W., Bryk, A.S. (2002). Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods (2<sup>nd</sup> Ed.). Thousand: Sage Publications.
- [128] Reise, S. P., Widaman, K.F., & Pugh, R.H. (1993). Confirmatory factor analysis and item response theory: Two approaches for exploring measurement invariance. *Psychological Bulletin*, 114 (3), 552 - 566 .
- [129] Revicki, D.A., Wu, A.W., Murria, M.I. (1995). «Change in clinical status, health status, and health utility outcomes in HIV-infected patients». *Medical Care* 33(4), 173-182.
- [130] Rose, M.S., Koshman, M.L., Spreng, S., Sheldon, R. (1999). «Statistical issues encountered in the comparison of health-related quality of life in disease patients to published general population norms: Problems and solutions». *Journal of Clinical Epidemiology* 52(5), 405-412.
- [131] Rouanet, H. y LePine, D. (1970). Comparison between treatments in a repeated measurements design: ANOVA and multivariate methods. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 23, 147 -163.
- [132] Samejima, F. (1969). Estimation of latent ability using a response pattern of graded scores. *Psychometrika Monographs*, 34 (Suppl. 17).
- [133] Sanz, J. (1991). «Valor y cuantificación de la calidad de vida en medicina». *Medicina Clínica* 96, 66-69.
- [134] SAS INSTITUTE INC. (1994). «SAS Procedures Guide, Version 6». SAS Institute: Cary, NC. STANSFELD, S.A., ROBERTS, R. Y FOOT, S.P. (1997). «Assessing the validity of the SF-36 general Health Survey». *Quality of Life Research* 6(3), 217-224.
- [135] Searle, S.R., Casella, G. y McCulloch, C.E. (1992). *Variance components*. New York: Wiley .
- [136] Singer, J.D. (1998). Using SAS PROC MIXED to fit multilevel models, hierarchical models, and individual growth models. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 24(4), 323-355.
- [137] Snijders, T.A.B. y Bosker, R.J. (1999). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modeling*. London: Sage Publications.
- [138] SPSS Inc. (1993). *SPSS for Windows. Base System User's Guide (6.0)*. Thissen, D. (1988).
- [139] Stevens, J. (1996). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [140] Stiegler, S. M. (2016): THE SEVEN PILLARS OF STATISTICS. HARVARD UNIV. PRESS, MASSCHUSSETTS.
- [141] Streiner, D.L., Norman, G.R. (1992). «Health Measurement Scales». Oxford University Press: New York.
- [142] Sullivan, L.M., Dukes, K.A. y Losina, E. (1999). An introduction to hierarchical linear modeling. *Statistics in Medicine*, 18, 855-888.

- [143] Sullivan, M., Karlsson. J., Ware, J.E. (1995). «The Swedish SF-36 Health Survey. I. Evaluation of data quality, scaling assumptions, reliability and construct validity across general population in Sweden». *Social Science and Medicine* 41(10), 1349-1358.
- [144] Testa, M.A., Nackley, J.F. (1994). «Methods for quality of life studies». *Annual Review of Public Health* 15, 535-559.
- [145] Testa, M.A., Simonson, D.C. (1996). «Assessment of quality of life outcomes». *New England Journal of Medicine* 334(13), 835-840.
- [146] Thissen, D., Steinberg, L., Pyszczynski, T., & Greenberg J. (1983). An item response theory for personality and attitude scales: Item analysis using restricted factor analysis. *Applied Psychological Measurement*, 7, 211-226.
- [147] Timm, N.H. y Mieczkowski, T.A. (1997). Univariate and multivariate general linear models: theory and applications using SAS software. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- [148] Tomás, I. (1998). Equivalencia psicométrica de una traducción del cuestionario de autoconcepto físico PSDQ (Physical Self-Description Questionnaire) al castellano. Tesis doctoral no publicada. Valencia: Universitat de València.
- [149] Torrance, G.W. (1987). «Utility approach to measuring health-related quality-of-life». *Journal of Chronic Diseases* 40(6), 593-600.
- [150] Torres, X., Arroyo, S., Araya, S., De Pablo, J. (1999). «The Spanish version of the Quality of Life in Epilepsy Inventory (QOLIE-31): Translation, validity and reliability». *Epilepsia* 40(9), 1299-1304.
- [151] Tsevat, J., Solzan, J.G., Kuntz, K.M., Ragland, J., Currier, J.S., Sell, R.L., Weinstein, M.C. (1996). «Health values of patients infected with human immunodeficiency virus. Relationship to mental health and physical functioning». *Medical Care* 34(1), 44-57.
- [152] Tukey, J.W. (1949). One degree of freedom for nonadditivity. *Biometrics*, 5, 232-242.
- [153] Van Belle, G., Kerr K. F. (2012): DESIGN AND ANALYSIS OF EXPERIMNETS IN THE HEALTH SCIENCES, WILEY
- [154] Van de Vijver, F., Hambleton, R.K. (1996). Translating tests: Some practical guidelines. *European Psychologist*, 1 (2), 89-99.
- [155] Van der Kamp (Eds.), Longitudinal data analysis. Designs, models and methods (pp. 269-316). London: Sage publications.
- [156] Van der Leeden, R. (1998a). Multilevel analysis of repeated measures data. *Quality and Quantity*, 32, 15-29.
- [157] Van der Leeden, R. (1998b). Multilevel analysis of longitudinal data. En C.J.H. Bijleveld y L.T.
- [158] Van der Leeden, R. , Vrijburg, K.E. y De Leeuw, J. (1986). A review of two different approaches for the analysis of growth data using longitudinal mixed linear models: comparing hierarchical linear regression (ML3, HLM) and repeated measures designs with structured covariance matrices (BMDP5V). *Computational Statistics and Data Analysis*, 21, 583-605.
- [159] Van Knippenberg, F.C., De Haes, J.C. (1988). «Measuring quality of life of cancer patients: Psychometric properties of instruments». *Journal of Clinical Epidemiology* 41(11), 1043-1055.
- [160] Viada C., Ballesteros J., Fors M., Luaces P., Sánchez L. and Crombet T. "PCN168-A proposed 6-Item Reduction for the European Organization for the Research and Treatment of Cancer-Quality of Core Questionnaire (EORTC QLQ-C30)-Cuban Group of Trialists on Epidermal Growth Factor (CGT-EGF)". *Value in Health*, Vol. 16, Issue 7(2013):A422.
- [161] Viada C., Ballesteros J., Robaina M., Fors M., Luaces P., Sanchez L., Ramos M., Rodríguez C. and Crombet T. "PCN210-Validation of the Proposed Reduced Quality of Life Questionnaire to the EORTC QLQ-C30 in Cubans Patients with Cancer". *Value in Health*, Vol. 17, Issue 7(2014):A651.
- [162] Viada C., Ballesteros J., Fors M., Luaces P., Sanchez L., Alvarez M., Frias A. and Crombet T. "PCN130-Invariance of Quality of Life Questionnaire to the EORTC QLQ-C30 in Different Cancer Indications". *Value in Health*, Vol.18, Issue 3(2015):A212.
- [163] Vilagut, G., Ferrer, M., Rajmil, L., Rebollo, P., Permanyer-Miralda, G., Quintana, J.M., SANTED, R., Valderas, J.M., Ribera, A., Domingo-Salvany, A., Alonso, J. (2005). «El cuestionario

- de salud SF-36 español: Una década de experiencia y nuevos desarrollos». *Gaceta Sanitaria* 19(2), 135:150.
- [164] Wachtel, T., Piette, J., Mor, V., Stein, M., Fleishman, J., Carpenter, C. (1992). «Quality of life in persons with human immunodeficiency virus infection: Measurement by the Medical Outcomes Study instrument». *Annals of Internal Medicine* 116(2), 129-137.
- [165] Wahl, A., MOUM, T., HANESTAD, B.R. Y WIKLUND, I. (1999). «The relationship between demographic and clinical variables, and quality of life aspects in patients with psoriasis». *Quality of Life Research* 8(4), 319-326.
- [166] Walters, S.J., Campbell, M.J. (2005). «The use of bootstrap methods for estimating sample sizes and analyzing health related quality of life outcomes». *Statistics in Medicine* 24(7), 1075-1102.
- [167] Walters, S.J., Campbell, M.J., Lall, R. (2001). «Design and analysis of trials with quality of life as an outcome: A practical guide». *Journal of Biopharmaceutical Statistics* 11(3), 155-176.
- [168] Ware, J.E. Y Sherbourne, C.D. (1992). «The MOS 36-item Short Form Health Survey (SF-36): I. Conceptual framework and item selection». *Medical Care* 30(6), 473-483.
- [169] Ware, J.E., Bayliss, M.S., Rogers, W.H., Kosinski, M., Tarlov, A.R. (1996b). «Differences in 4-year health outcomes for elderly and poor, chronically ill patients treated in HMO and fee-for-service systems. Results from the MOS» *Journal of the American Medical Association* 276(13), 1039-1047.
- [170] Ware, J.E., Kosinski, M.A., Keller, S.K. (1994). «Physical and Mental Health» Summary Scales: A User's Manual. The Health Institute, New England Medical Center: Boston, MA.
- [171] Ware, J.E. (2000). «SF-36 Health Survey update». *Spine* 25(24), 3130-3139.
- [172] Ware, J.E., Keller, S.D., Gandek, B., Brazier, J.E., Sullivan, M. THE IQOLA Project Group (1995). «Evaluating translations of health status questionnaires: Methods from the IQOLA project». *International Journal of Technology Assessment in Health Care* 11(3), 525-551.
- [173] Ware, J.E., Gandek, B., Keller, S.D., THE IQOLA Project Group. (1996a). «Evaluating instruments used cross-nationally: Methods from the IQOLA» project. En: «Quality of Life and Pharmacoeconomics in Clinical Trials» (2nd edition) (B. Spilker ed.). Raven Press: New York, 681-692.
- [174] Ware, J.E., Kosinski, M.A., Dewey, J.E. (2000). «How to score version 2 of the SF-36 Health Survey» Quality Metric Incorporated: Lincoln, RI.
- [175] Ware, J.E., Snow, K.K., Kosinski, M.A., Gandek, B. (1993). «SF-36 Health Survey, Manual and Interpretation Guides». The Health Institute, New England Medical Center: Boston, MA.
- [176] Wilson, D., Parsons, J., Wakefield, M. (1999). «The health-related quality-of-life of never smokers, ex-smokers and light, moderate and heavy smokers». *Preventive Medicine* 29(3), 139-144.
- [177] Wilson, I.B., Kaplan, S. (1995). «Clinical practice and patients' health status: How are the two related?». *Medical Care* 33 (4 Suppl.), AS209-AS214.
- [178] World Health Organization (1952). En: «World Health Organization». Handbook of Basic Documents. (5th edition). Palais des Nations: Ginebra, 3-20.
- [179] Wu, Y.B., Clopper , R.R. y Wooldridge, P .J. (1999). A comparison of traditional approaches to hierarchical linear modelling when analysing longitudinal data. *Research in Nursing and Health*, 22, 421-432.
- [180] Zikos E1, Ghislain I2, Coens C2, Ediebah DE2, Sloan E3, Quinten C4, Koller M5, van Meerbeeck JP6, Flechtner HH7, Stupp R8, Pallis A9, Czimbalmos A10, Sprangers MA11, Bottomley A2. Health-related quality of life in small-cell lung cancer: a systematic review on reporting of methods and clinical issues in randomised controlled trials. *Lancet Oncol.* 2014 Feb;15(2):e78-89. doi: 10.1016/S1470-2045(13)70493-5.

## Capítulo 2

pp 23-31

### CIFRADO SIMÉTRICO DE IMÁGENES DIGITALES USANDO OPERACIONES DE ALGORITMOS GENÉTICOS Y LA OPERACIÓN LÓGICA XOR

Luis René Marcial Castillo, Marcela Rivera Martínez, Lourdes Sandoval Solís,  
Ana Laura Olguín Domínguez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Puebla, Puebla, México

[lmc@cs.buap.mx](mailto:lmc@cs.buap.mx), [marcela.rivera@correo.buap.mx](mailto:marcela.rivera@correo.buap.mx), [sandoval@cs.buap.mx](mailto:sandoval@cs.buap.mx),  
[ana.olguin@correo.buap.mx](mailto:ana.olguin@correo.buap.mx)

#### ABSTRACT

In this paper, it was designed and computationally implemented an algorithm for symmetric cryptography which is based on operations of genetic algorithms and the logical operation xor. The cryptographic system were implemented in the OCTAVE programming language, it is allows encrypting and decrypting images of any size. The tests show that the computational implementation encrypts and decrypts correctly.

KEYWORDS: Symmetric cryptography, Crossover, Mutation and xor.

#### RESUMEN

En este trabajo, se diseñó e implementó computacionalmente un algoritmo para criptografía simétrica el cual se basa en operaciones de algoritmos genéticos y la operación lógica xor. El sistema criptográfico implementado en el lenguaje de programación OCTAVE permite cifrar y descifrar imágenes de cualquier dimensión. Las pruebas realizadas muestran que la implementación computacional cifra y descifra de forma correcta.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Varios sistemas de protección de datos se basan en los estándares de la criptografía simétrica como lo son los algoritmos TDES (Three Data Encryption Standard) y AES (Advanced Encryption Standard), los cuales tienen la característica de ser cripto sistemas muy seguros. La desventaja de estos métodos es que son muy lentos en su proceso de cifrado y descifrado siendo un gran problema cuando se tienen grandes volúmenes de datos como sucede en el caso de las imágenes digitales. La criptografía se puede aplicar en diversos ámbitos tales como: los servicios de telemedicina en donde se requiere cifrar y descifrar de forma rápida imágenes digitales, con el objetivo dar confidencialidad sobre alguna enfermedad en un paciente [15]; también, se podría aplicar a imágenes del campo de la biología en donde podría resultar útil ocultar ciertas plagas de modo que solo los investigadores conozcan el contenido.

La propuesta de este trabajo, es desarrollar una implementación computacional bajo el ambiente del lenguaje de programación OCTAVE de un cripto sistema que se base en los operadores genéticos de cruce y mutación, así como la operación lógica xor. El cripto sistema desarrollado usará la misma llave en los operadores genéticos y en la operación xor. La finalidad de usar este esquema es cifrar y descifrar de forma rápida imágenes digitales sin la lentitud del estándar AES de la criptografía simétrica pero que de suficiente seguridad

El trabajo se organiza de la manera siguiente: la sección 2, describe conceptos usados en este trabajo, la sección 3, presenta los antecedentes del proyecto en lo que se refiere al uso de algoritmos genéticos en el campo de la criptografía, en la sección 4, se muestran los pasos de los algoritmos que realizan el cifrado y

descifrado de imágenes digitales, la sección 5, proporciona las pruebas del cripto sistema usando imágenes a color. En la sección 6, se presenta el análisis del criptosistema ante un ataque a fuerza bruta, la sección 7, presentan las conclusiones del trabajo y finalmente se listan las referencias.

## 2. CONCEPTOS

La confidencialidad de las comunicaciones es de suma importancia en la sociedad moderna. La industria, gobierno y particulares confían en que la tecnología les garantice que el intercambio de datos sea seguro de modo que no se permita a terceros acceder al contenido de tal comunicación, la cuestión de la confidencialidad ha sido dejada al campo de la criptografía [3]. Goldreich transcribe el planteamiento de la criptografía como "el problema de proveer comunicación secreta sobre medios inseguros" [9]. La criptografía es una herramienta muy útil cuando se desea tener seguridad informática, es decir, cuando se cuenta con un medio para garantizar las propiedades de confidencialidad, para lograrlo, se crean mecanismos que garanticen en cierta medida las propiedades de disponibilidad, integridad y confidencialidad. La disponibilidad se refiere a que la información siempre esté presente, la integridad es que no se pierda información y la confidencialidad se puede lograr usando mecanismos que aunque sea robada la información, permita que no se pueda acceder a esta o garanticé de alguna forma que no se pueda llegar a ella, hasta que pierda su valor. Estos mecanismos permiten ver si la información ya creada ha sufrido o no alguna modificación no autorizada. El criptoanálisis, también denominado "criptología" es la disciplina contraria a la criptografía, se encarga de analizar la información cifrada para revelar la información original, el criptoanálisis lo usan los investigadores como una forma de probar las fortalezas o debilidades de los cripto sistemas [7].

La criptografía se divide en dos grandes ramas, la criptografía de clave privada o simétrica y la criptografía de clave pública o asimétrica. La primera se refiere al conjunto de métodos que permiten una comunicación segura entre las partes siempre que con anterioridad se intercambie la clave correspondiente que se denomina clave o llave simétrica. La criptografía simétrica utiliza algún método matemático para cifrar o descifrar un mensaje utilizando únicamente la llave secreta, esta llave se debe compartir con las personas que se desea vean los mensajes. El problema de la criptografía simétrica es compartir la clave de forma confidencial, pero esto se resuelve con el uso de la criptografía asimétrica. Uno de los sistemas criptográficos simétricos más conocidos es el algoritmo DES (Data Encryption Standard), la U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST) lo estandarizó en los años 70, el mejor ataque conocido al algoritmo DES es la búsqueda exhaustiva de la llave, los especialistas en computo diseñaron una supercomputadora usando las PCs conectadas a la red y usando el poder de 100000 PCs fueron capaces de encontrar la llave usada por el algoritmo DES después de 22 horas y 15 minutos de usar la supercomputadora, después de este resultado, la opción que se tomó fue sustituir el algoritmo DES por el cifrado múltiple, que consiste en aplicar varias veces el mismo algoritmo con el fin de fortalecer la longitud de la clave, esto ha tomado forma como un nuevo sistema para el cifrado, conocido actualmente como el algoritmo TDES, aunque actualmente el estándar de la criptografía simétrica es el algoritmo AES, el cual fue adoptado desde 1997 por la U.S. NIST y el algoritmo usado es el propuesto por Rijndael en el año 2002 [3].

La criptografía de clave pública o asimétrica, es aquella que utiliza dos llaves o claves diferentes para cada usuario: una llave se usa para cifrar y la otra se usa para descifrar (conocida como clave o llave privada). El estándar de la criptografía asimétrica es el algoritmo RSA (en honor a sus inventores Rivest, Shamir y Adleman) publicado en 1978 [3].

### Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos fueron introducidos por John Holland a finales de los 60's inspirándose en el proceso observado en la evolución natural de los seres vivos. Son algoritmos de búsqueda basados en la mecánica de la selección natural y en la genética. Estos combinan la supervivencia de los individuos más aptos entre las cadenas de estructuras con un intercambio aleatorio para formar un algoritmo de búsqueda [10]. Los algoritmos genéticos están determinados por tres operaciones fundamentales: selección de parejas,

cruza y mutación. El objetivo de la crux es realizar una búsqueda local y el de la mutación una búsqueda global.

### **Operación lógica xor**

La operación booleana en las variables  $x, y$  se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Operación lógica xor.**

$x$	$y$	xor
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

La operación booleana es muy útil en el campo de la criptografía simétrica ya que constituye la base de los estándares como lo fue el algoritmo DES y ahora el algoritmo AES. Por ejemplo, si se desea cifrar el dato 173 (cuya representación binaria es: 10101101), con la llave 211 (cuya representación binaria es: 11010011). Al usar la operación binaria xor se obtiene el cifrado  $c$  igual a **01111110**, que corresponde al dato 126 en decimal. La operación de cifrado se muestra en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Cifrado del dato 173 con la llave 211.**

$x$	1	0	1	0	1	1	0	1
llave	1	1	0	1	0	0	1	1
$c = x \text{ xor llave}$	0	1	1	1	1	1	1	0

Para obtener el descifrado se utiliza la misma llave, obteniendo el descifrado  $d$  igual a 10101101 que corresponde en decimal al dato original 173. La operación se ilustra en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Descifrado del dato 126 con la llave 211.**

$c$	0	1	1	1	1	1	1	0
llave	1	1	0	1	0	0	1	1
$d = c \text{ xor llave}$	1	0	1	0	1	1	0	1

Como lo ilustran los cuadros 2 y 3, la operación xor permite cifrar y descifrar datos con la misma llave sin pérdida de información.

### **3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

El uso de algoritmos genéticos se utilizan en varios trabajos: Fadhil Al-Husainy M. en el 2012 [4], usa los operadores genéticos para cifrar imágenes digitales mostrando que el esquema es seguro ante ataques a fuerza bruta; Kumar y Nirmala en el 2012 [12] proponen un método criptográfico de tres estados. El primer estado, selecciona la secuencia de llave usando un generador pseudoaleatorio, el segundo estado desarrolla la operación de crux y el tercer estado realiza la mutación; Gamil y Sanjay en el 2013 [8], proponen el uso de

un algoritmo genético basado en secuencias pseudo aleatorias para cifrar imágenes digitales; Choudhary y Abrol en el 2017 [2], proponen un algoritmo genético para cifrar imágenes en donde la cruza se realiza mediante un desplazamiento circular; Sethi y Kapoor en el 2016 [13], usan los algoritmos genéticos en la esteganografía donde realizan ocultamiento de datos; Agarwal en el 2012 [1], propone un algoritmo genético para cifrar imágenes digitales donde explota las ventajas de la cruza y mutación en el esquema criptográfico.

Como lo muestran los trabajos mencionados los algoritmos genéticos se usan para realizar cifrados de imágenes digitales, en donde las diferencias de los trabajos radican en la forma en que se implementa la cruza y la mutación razón por la cual en este trabajo se plantea su uso en conjunción con la operación lógica xor.

#### **4. ALGORITMO**

El algoritmo de cifrado consta de los pasos siguientes:

1. Se ingresa la imagen digital  $\mathbf{I}$  de dimensión  $mxn$ .
2. Se genera la llave de forma aleatoria, donde la llave contiene una cadena de enteros tomados sobre el intervalo  $[0, 255]$ , donde la longitud  $t$  de la cadena debe ser una potencia de 2 (es decir,  $t$  puede ser 1, 2, 4, 8, 16, etc.). Se pasa a binario la llave usando 8 bits para cada uno de sus datos, se obtiene también el complemento a 1 de los valores binarios. Al final, la llave  $\mathbf{k}$  será una cadena de bits compuesta por los datos binarios y concatenando al final el complemento a 1.
3. Con la llave  $\mathbf{k}$  se toman consecutivamente cada  $\log_2(8t)$  bits, se convierte cada uno de ellos a su valor decimal y el resultado se deja en  $pcruza$  que al final contendrá las posiciones que va usar la operación de cruza del algoritmo genético.
4. Se apilan los valores de la imagen digital  $\mathbf{I}$  (tomando consecutivamente las columnas) en un vector  $\mathbf{v}$  que contiene  $mxn$  columnas.
5. Para cada bloque  $\mathbf{b}$  de tamaño  $t$  del vector  $\mathbf{v}$  se hace lo siguiente:
  - a. Se realiza operación cruzada de  $\mathbf{b}$  con  $pcruza$  obteniendo  $cc$ .
  - b. Se realiza la mutación de  $cc$  usando la segunda mitad de  $\mathbf{k}$ , obteniendo  $cag$ .
  - c. Se realiza la operación xor de  $cag$  con  $\mathbf{k}$ , obteniendo  $\mathbf{c}$ .
6. Se concatenan todos los resultados  $\mathbf{c}$  obteniendo  $\mathbf{C}$ .

El resultado final es la matriz  $\mathbf{C}$ , la cual es la imagen cifrada. A continuación se explican cómo se desarrollan las operaciones de cruza y mutación.

La cruza [14] se detalla mediante un ejemplo. Supóngase que:  $\mathbf{b}$  es igual a [63, 87, 253, 1, 212, 4, 90, 12] (cuyas posiciones van de 0 a 7) y  $\mathbf{k}$  es igual a 1011010101001010. Se toman cada 3 bits ya que  $\log_2(8)$  es 3, obteniendo 101=5, 101=5, 010=2, 100=4 y 101=5, por lo que  $pcruza$  es igual a [5, 5, 2, 4, 5] que son las posiciones que se van a usar sobre  $\mathbf{b}$  para realizar la rotación circular de izquierda a derecha, es decir, se intercambia el contenido de la posición 5 con 5 de  $\mathbf{b}$  quedando [63, 87, 253, 1, 212, 4, 90, 12], se intercambia los contenidos de las posiciones 5 con 2 se obtiene [63, 87, 4, 1, 212, 253, 90, 12], se intercambia ahora los contenidos de las posiciones 2 con 4 obteniendo [63, 87, 212, 1, 4, 253, 90, 12], se intercambia los contenidos de las posiciones 4 con 5 quedando [63, 87, 212, 1, 253, 4, 90, 12], finalmente se intercambia los contenidos de las posiciones 5 con 5 (elemento final e inicial de  $pcruza$ ), quedando [63, 87, 212, 1, 253, 4, 90, 12] mismo que será el resultado de la cruza. La cruza implementada en este trabajo toma como base el trabajo de Siva y Almas [14] y se generaliza de modo que funcione para cualquier tamaño de  $t$  que es una potencia de 2, tomando los primeros bits de  $\mathbf{k}$  y descartando los bits de la parte final que no se utilizan.

La mutación [14] también se ilustra con un ejemplo, supóngase que la cruza obtuvo el resultado [63, 87, 212, 1, 253, 4, 90, 12], se usa la mitad derecha de  $\mathbf{k}$  (la que obtuvo al realizar el complemento a 1) que en el ejemplo es: 01001010. Si aparece un 0 se modifica el valor de la posición respectiva por modulo del valor +  $r$  con 255 donde  $r$  es generada aleatoriamente de [0,255], siendo ésta una propuesta propia que no fue tomada

de [14], si aparece un 1, se toma 255-valor como el nuevo valor. Entonces para  $r$  con 128, se obtiene que 63 se cambia por 191 (ya que modulo  $(63+128, 256) = 121$ ), 87 por 168 (ya que  $255 - 87 = 212$ ), 212 se cambia por 85, 1 por 129, 253 por 2, 4 por 132, 90 por 165 y 12 por 140. Es decir la mutación obtiene la cadena [191, 168, 85, 129, 2, 132, 165, 140].

Para el algoritmo de descifrado se siguen los siguientes pasos:

1. Para cada bloque de  $C$  se realiza la operación xor con la parte izquierda de  $k$ , obteniendo  $dx$ .
2. Se aplica la mutación inversa a  $dx$  obteniendo  $dxi$ .
3. Se aplica la cruza inversa a  $dxi$  obteniendo  $cxi$ .

Al finalizar el algoritmo de descifrado,  $cxi$  debe contener a la imagen original.

La mutación inversa se realiza de la forma siguiente:

- Si el respectivo bit de la parte derecha es 0 entonces  
Se realiza la operación modulo de  $dato-r$  con 256.
- En otro caso  
Se realiza la operación **255-dato**.

Mediante el esquema de la mutación inversa se recuperan los datos originales que se tenían antes de aplicar la mutación. Para el ejemplo, [191, 165, 85, 129, 2, 132, 165, 140] la mutación inversa obtiene [63, 87, 212, 1, 253, 4, 90, 12], donde 191 se cambia por 63 debido a que el bit vale 0 y el resultado de modulo  $(191-128, 255)$  es 63, 168 se cambia por 87 debido a que el bit es 1 y el resultado de  $255-165$  es 87.

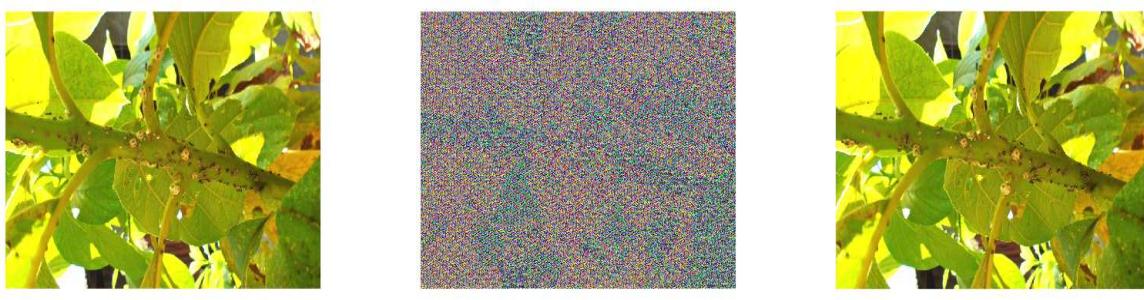
La cruza inversa se realiza en la dirección opuesta a la cruza, es decir, se intercambia primero los valores de las posiciones 0 y última de pcrusa, posteriormente los contenidos de la posición última con penúltima y así sucesivamente.

## 5. PRUEBAS

La implementación computacional se desarrolló bajo el lenguaje de programación OCTAVE [21] y las pruebas se realizaron en una computadora *hp* con 16 Gb de memoria RAM y un procesador intel core i7 a 2.6 GHz.

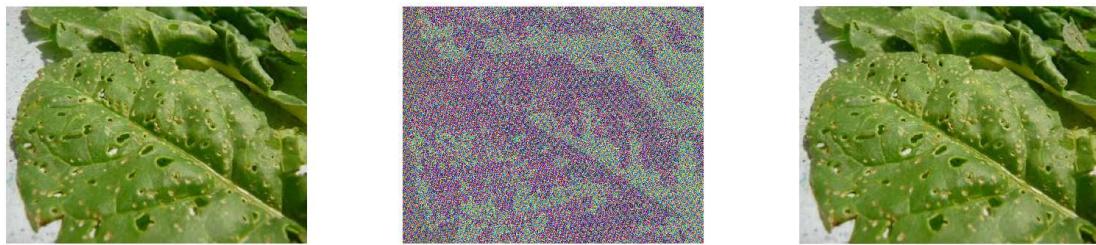
Todas las corridas se desarrollaron tomando bloques de tamaño  $t$  igual a 32, es decir, la llave  $k$  contiene 256 bits.

La figura 1a, muestra la imagen de la plaga de cochinillas en un árbol de aguacate [22], la imagen tiene una dimensión 1000 x 654, es decir, 1000 filas y 654 columnas. La figura 1b muestra el resultado del algoritmo de cifrado y la figura 1c muestra el resultado del algoritmo de descifrado.



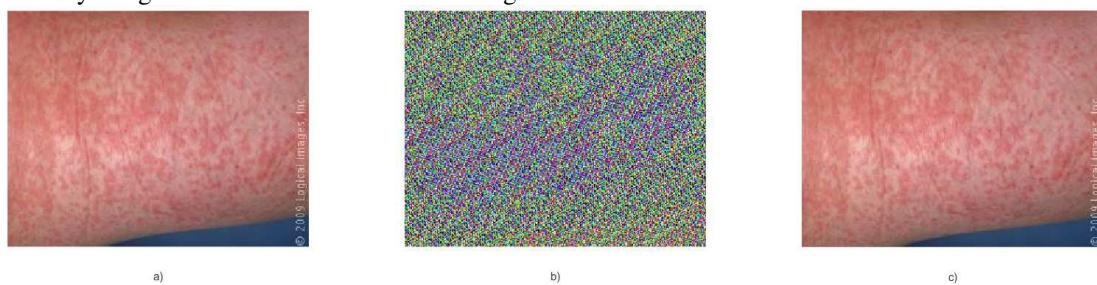
**Figura 1. a) Imagen original de cochinillas en una planta de aguacate, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

La figura 2a, muestra la imagen de una plaga desconocida en las hojas de un árbol frutal [23], la imagen tiene una dimensión 900 x 675, es decir, 900 filas y 675 columnas. La figura 2b muestra el resultado del algoritmo de cifrado y la figura 2c muestra el resultado del algoritmo de descifrado.



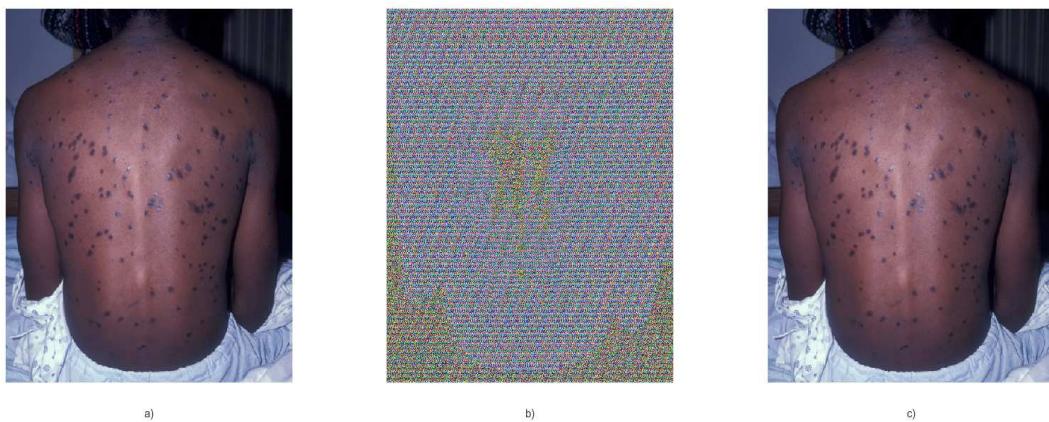
**Figura 2. a) Imagen original de una plaga desconocida en la hoja de un árbol frutal, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

La figura 3a, muestra la imagen de un paciente que presenta la enfermedad de rubeola [16], la imagen tiene una dimensión 210 x 280, es decir, 210 filas y 280 columnas. La rubeola es una enfermedad viral eruptiva, contagiosa y epidémica producida por un virus ultra filtrable. La figura 3b muestra el resultado del algoritmo de cifrado y la figura 3c muestra el resultado del algoritmo de descifrado.



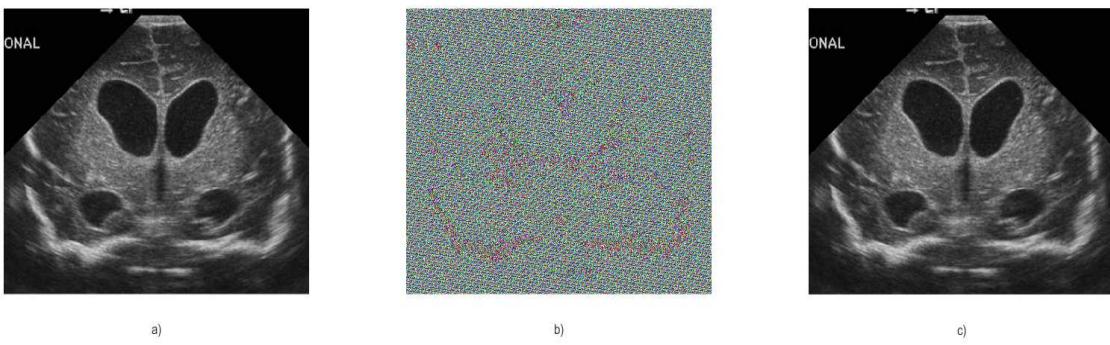
**Figura 3. a) Imagen original de un paciente que presenta rubeola, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

La figura 4a, muestra la imagen de un paciente que tiene la enfermedad de sífilis secundaria [19]. La imagen tiene dimensión de 600 x 503 pixeles. La sífilis es una enfermedad venérea contagiosa infectocontagiosa, provocada por la espiroqueta *Treponema pallidum*, que se manifiesta por un chancre y por lesiones viscerales y encefálicas a largo plazo. La figura 4b muestra la imagen cifrada y la figura 4c muestra el descifrado.



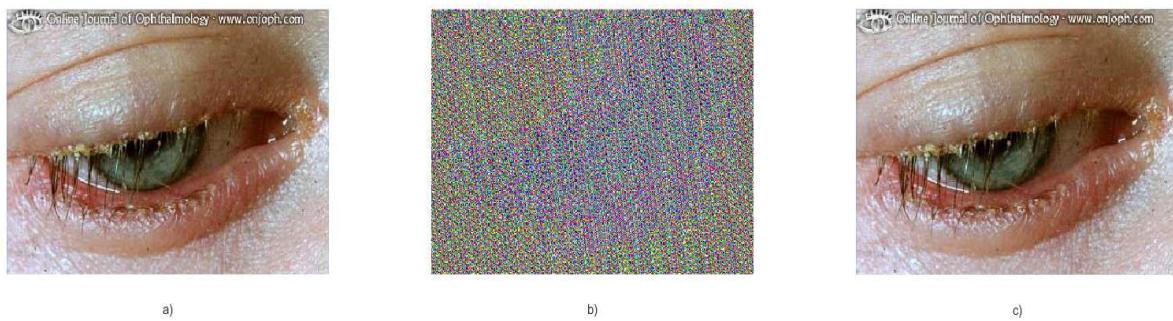
**Figura 4. a) Imagen original de la enfermedad sífilis secundaria, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

La figura 5a, muestra la imagen de un ultrasonido tiroideo en un paciente que presenta enfermedad en la tiroides, la imagen es de dimensión 327 x 430. Como su nombre lo indica el ultrasonido tiroideo es el estudio mediante ecografía de la Glándula Tiroideas, como en todos los ultrasonidos no se emplea ningún tipo de radiación obteniéndose la imagen del eco de sonidos de alta frecuencia en el tejido estudiado [17]. La tiroides, es una glándula endocrina situada delante de la tráquea que produce la tiroxina y la calcitonina. La figura 5b muestra la imagen cifrada y la figura 5c muestra el descifrado.



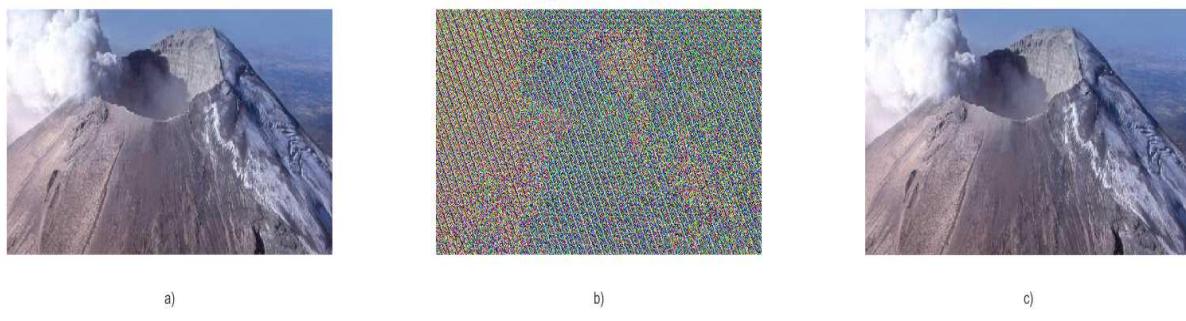
**Figura 5. a) Imagen original de la enfermedad tiroideas, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

La figura 6a, muestra la imagen de un paciente que presenta una enfermedad en los ojos [18], la imagen es de dimensión 249 x 350. La figura 6b muestra la imagen cifrada y la figura 6c muestra el descifrado.



**Figura 6. a) Imagen original de una enfermedad de los ojos, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

La figura 7a, muestra la imagen del volcán Popocatépetl [20], la imagen es de dimensión 646 x 350. La figura 7b muestra la imagen cifrada y la figura 7c muestra el descifrado.



**Figura 7. a) Imagen original del volcán Popocatépetl, b) Imagen cifrada, c) Imagen descifrada.**

## 6. SEGURIDAD DEL CRIPTOSISTEMA

El análisis que se presenta es el de ataque a fuerza bruta, que consiste en probar todas las posibles llaves hasta encontrar la llave con la cual se pueda recuperar el mensaje original. Para considerar que el espacio de llaves es adecuado para resistir un ataque de fuerza bruta, este espacio debe ser superior a  $2^{100} = 1.2677 \times 10^{30}$  [11]. El sistema criptográfico que aquí se presenta, depende de 2 llaves, la primera generada a partir del tamaño de  $t$ , y la segunda es sólo un valor  $r$  tomado del intervalo [0, 255]. Por lo tanto, el total de posibles llaves para  $t$  igual a 8 es:  $(2^{64}) \times (256) = 4.7224 \times 10^{21}$ , para  $t$  igual a 16 es:  $(2^{128}) \times (256) = 8.7112 \times 10^{40}$ , para  $t$  igual a 32 es:  $(2^{256}) \times (256) = 2.9643 \times 10^{79}$ . De esto se concluye que para que el criptosistema sea seguro el tamaño de  $t$  debe ser de al menos 32 datos, ya que algún valor menor como 16, 8, 4, 2 o 1 no darán seguridad ante el ataque a fuerza bruta.

## 7. CONCLUSIONES

El uso de las operaciones de crusa y mutación de los algoritmos genéticos, así como la operación lógica xor son útiles en el desarrollo de sistemas criptográficos simétricos, además es una alternativa rápida al estándar AES de la criptografía simétrica para grandes volúmenes de datos como lo requiere el caso del cifrado y descifrado de imágenes digitales.

Como se puede apreciar en las imágenes utilizadas en este trabajo, los resultados de la implementación computacional del algoritmo de cifrado deja irreconocible el tipo de imagen que se trata y también se observa que el descifrado obtiene la imagen original.

El criptosistema presentado es seguro ante ataques a fuerza bruta siempre y cuando el tamaño del bloque a cifrar sea de al menos 32 elementos, es decir, la llave contenga al menos 128 bits.

## REFERENCIAS

- [1]. AGARWAL A., (2012): Secret Key Encryption Algorithm Using Genetic Algorithm, **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, Volume 2, Issue 4, 216-218.
- [2]. CHOUDHARY R. and ABROL P., (2017): Genetic Algorithm Based Image Cryptography to Enhance Security, **International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)**, Volume 6, Issue 6, 873-878.
- [3]. DELFS, H., MAURER, U. and KNEBL, H., (2007): **Introduction to Cryptography Principles and Applications, Second Edition**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [4]. FADHIL AL-HUSAINY M., (2012), Genetic Algorithm: Tool to Encrypt Image, **International Journal of Advanced Research in Computer Science**, Volume 3, No. 1, Jan-Feb 2012, 36-42
- [5]. FREEDBERG, I.M., (2003): **FITZPATRICK'S DERMATOLOGY IN GENERAL MEDICINE. 6TH EDITION**, New York: McGraw-Hill.
- [6]. FUAN, Ch., MENGB, W., ZHANB, Y., ZHUC, Z., LAUD, F., TSED, Ch. and MAE, H. (2013) An efficient and secure medical image protection scheme based on chaotic maps. **Computers in Biology and Medicine**, Elsevier, vol. 43, 1000-1011.
- [7]. GALENDE, J. (1995): **Criptografía, historia de la escritura cifrada, 1ra edición**, editorial complutense.
- [8]. GAMIL R.S. Q. and SANJAY N. T., (2013): Bit-Level Encryption and Decryption of Images Using Genetic Algorithm: A New Approach, **International Journal of Information Technology**, Vol-2, Iss-1, 1-5.
- [9]. GOLDRICH, O. (1999): **Modern Cryptography, theory and practice, discrete mathematics and its applications 3th edition**, Chapmann & Hall.

- [10]. HAUP R. L. and HAUP S. E., (1998): **PRACTICAL GENETIC ALGORITHMS**, John Wiley & Sons, Inc. (1998).
- [11]. JEEVIDHA, S, SALEEM, M. S. and DHAVACHELAN P., Analysis on DNA based cryptography to secure data transmission, **International Journal of International Journal of Computer Applications**, Volume 29, No. 8. (2011).
- [12]. KUMAR J. and NIRMALA S., (2012): Encryption of Images Based on Genetic Algorithm – A New Approach, **Advances in Computer Science, Eng. & Appl.**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 783-791.
- [13]. SETHI P. and KAPOOR V., (2016): A Secured System for Information Hiding in Image Steganography using Genetic Algorithm and Cryptography, **International Journal of Computer Applications**, Volume 144 – No.9, 5-11.
- [14]. SIVA B. and ALMAS M., (2014): An Image Encryption using multilevel randomized genetic algorithm techniques, **International Journal of Engineering Research & Technology**. Vol 3, Issue 8, 703-706.
- [15]. VAIBHAY G. and JEFFREY B. (2011): Telemedicine Security: A Systematic Review, **Journal of Diabetes Science and Technology**, Vol 5(3), 768-777.
- [16]. WOLLENSAK, J. (2003): Univ.-Augenklinik, Berlin, Germany.
- [17]. Ultrasonido Tiroideo. Disponible en <http://www.dei.org.mx/estudios/ultrasonido-4d-hd-live-y-doppler-color/ultrasonido-tiroideo/>, consultada 10-07, 2017.
- [18]. Imagen de una enfermedad en el ojo humano. Disponible en <http://www.atlasophthalmology.com/atlas/photo.jsf?node=3002&locale=de>, consultada 10-07, 2017.
- [19]. Imagen Sífilis. Disponible en [missinglink.ucsf.edu](https://missinglink.ucsf.edu), consultada 10-07, 2017.
- [20]. Imagen volcán Popocatépetl. Disponible en <http://cdn.masdemx.com/wp-content/uploads/2016/06/popodat1.jpg>, consultada 10-07, 2017.
- [21]. Octave, Disponible en <https://www.gnu.org/software/octave/>, consultada 10-07, 2017.
- [22]. Imagen cochinilla en aguacate. Disponible en <http://agricultura101.com/2010/11/plagas-que-atacan-al-aguacate/>, consultada 02-10, 2017.
- [23]. Plaga aguacate. Disponible en [http://plantas.facilisimo.com/blogs/arboles/lucha-contra-las-plagas-de-tus-arboles-frutales\\_789186.html](http://plantas.facilisimo.com/blogs/arboles/lucha-contra-las-plagas-de-tus-arboles-frutales_789186.html), consultada 02-10, 2017.

## Capítulo 3

pp 32-39

### ANÁLISIS DE VARIANZA A HOJAS Y FRUTOS DE ÁRBOLES DEL GENERO PLATANUS DE VERACRUZ, MÉXICO

Julio César Pérez Hernández<sup>1</sup>, Sergio Francisco Juárez Cerrillo<sup>1</sup>, Luz Amelia Sánchez Landero<sup>2</sup>,  
María Yesenia Zavaleta Sánchez<sup>1</sup>, Sergio Hernández González<sup>1</sup>.

#### RESUMEN

Los problemas para la delimitación de las especies en *Platanus* se asocian a su naturaleza alopatrásica y a la espontánea hibridación cuando se cultivan. Para el estado de Veracruz solo se reporta la existencia de *Platanus mexicana* Moric. var. *mexicana*, esta especie se ha reproducido en viveros municipales y estatales para uso ornamental en calles, parques y jardines. Las especies de *Platanus* han sido difíciles de clasificar y en particular las especies mexicanas; se ha reportado anteriormente que requieren un profundo estudio y evaluación taxonómica. En Veracruz hacen falta estudios de campo ya que hay mucha variación en la forma y contorno de las hojas. Los trabajos realizados para analizar la morfología en especies vegetales son diversos tanto en sus objetivos como en los métodos estadísticos empleados, siendo los métodos multivariados como el análisis discriminante lineal y canónico, ANOVA, MANOVA, etc., los más usuales. En el presente trabajo se seleccionaron de manera aleatoria 8 árboles del género *Platanus*, en las localidades Xalapa y Emilio Carranza, Veracruz a los que se les colectaron 30 hojas y 30 frutos tipo aquenio para un total de 240 unidades; y se aplicó un análisis PERMANOVA. Los resultados aportan evidencia de que existe suficiente variación significativa detectada con los análisis de varianza permutacional. Y se encontró que la clave taxonómica fue insuficiente para lograr la identificación precisa de la mayoría de los árboles analizados, siendo el largo del aquenio la principal inconsistencia, sin embargo, se logró con respaldo del análisis cluster la identificación de un árbol como cercano a la especie *Platanus mexicana* Moric. variedad interior, la cual actualmente no es reportada para el estado de Veracruz.

Palabras clave: Análisis no paramétrico, multivariado, clave taxonómica.

#### 1. INTRODUCCIÓN

*Platanaceae* es una primitiva familia de angiospermas y actualmente solo existe un género, *Platanus* del cual se conoce que sus especies hibridan (Grimm & Denk, 2008). Dado que la familia es un linaje eudicotiledón, ocupa una posición clave para comprender la diversificación de los caracteres reproductivos asociados a la radiación evolutiva temprana de las plantas con flores, por ello ha sido objeto de estudios embriológicos como el de Floyd et al., (1999). Actualmente existen diez especies del género *Platanus* en el mundo y solo se distribuyen en el hemisferio norte: dos especies orientales y ocho occidentales; en México crecen todas las reportadas para occidente, excepto una que crece en el sur de los Estados Unidos, las especies mexicanas se reportan en la mitad del territorio nacional, y solo se reconoce como especie a aquellas que morfológicamente estén bien diferenciadas y no muestren signos obvios de introgresión activa y de variación entre taxa; sin embargo existe en América del Norte en San Luis Potosí, México una zona natural de contacto entre dos especies de *Platanus* donde los árboles tienen combinados los caracteres de *P. mexicana* y *P. rzedowskii* (Nixon & Poole, 2003). Esta especie ocupa hábitats subtropicales o de montañas tropicales y requiere abundante humedad para sobrevivir y por ello está restringido a áreas de permanente o semipermanente agua subterránea, principalmente en situaciones completamente riparias (Nixon & Poole, 2003).

<sup>1</sup> Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas campus Xalapa, Universidad Veracruzana.

Autor para correspondencia: julioxalapa@hotmail.com

Los problemas para la delimitación de las especies en *Platanus* se asocian a su naturaleza alopatrítica y a la espontánea hibridación cuando se cultivan (Ernst, 1963), un conocido híbrido es *Platanus acerifolia* cruzada de *Platanus orientalis* y *Platanus occidentalis*, el cual es plantado en calles, parques y jardines de muchas partes de Europa central y occidental y presenta hojas extremadamente variables, incluso en un mismo árbol, de varios tamaños y con lóbulos más profundos y dentados (Phillips, 1989) en este sentido el género *Platanus* han sido difícil de clasificar, en particular las especies mexicanas, ya que se requiere un profundo estudio y una evaluación taxonómica (CONABIO, 2011; Nixon & Poole, 2003).

En Veracruz México, se menciona que solo existe una especie: *Platanus mexicana* var. *mexicana* (Nee, 1981; Nixon & Poole, 2003), la cual comúnmente es conocida como *haya*, sin embargo los árboles en esta región presentan diferencias en la forma y tamaño de sus hojas; incluso en un mismo árbol, asimismo es conocido que debido a su cultivo para reforestar áreas urbanas se han hecho cruzas entre especies para obtener híbridos con características deseables, esto ha originado que la clasificación taxonómica de estos árboles sea difícil, aunque actualmente hay una clave taxonómica para estos árboles, hecho con materiales de herbario, los estudios de campo son escasos y nulos para Veracruz. Por lo que el presente trabajo se caracteriza por comparar un análisis de varianza utilizando indicadores de variables morfométricas a hojas y fruto a través de PERMANOVA y ANOVA unifactorial para revisar la clave taxonómica e identificar los árboles del género *Platanus* creciendo en dos localidades Xalapa y Emilio Carranza del estado de Veracruz.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Veracruz México en dos localidades; la ciudad de Xalapa Enríquez ubicada en la zona norte central, en las coordenadas 19° 32' latitud norte y 96° 55' longitud oeste a una altura de 1,460 metros sobre el nivel del mar, se caracteriza por tener un clima templado húmedo regular con una temperatura promedio de 18° C; y la precipitación media anual es de 1,509.1 mm. La otra localidad fue Emilio Carranza que pertenece al municipio de Vega de Alatorre, el cual se encuentra ubicado en la zona centro del Estado, en las coordenadas 20° 02' latitud norte y 96° 57' longitud oeste a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar, el clima es cálido-regular, con una temperatura media anual de 23.9° C y su precipitación pluvial media anual es de 1368.7 mm (Figura 1).

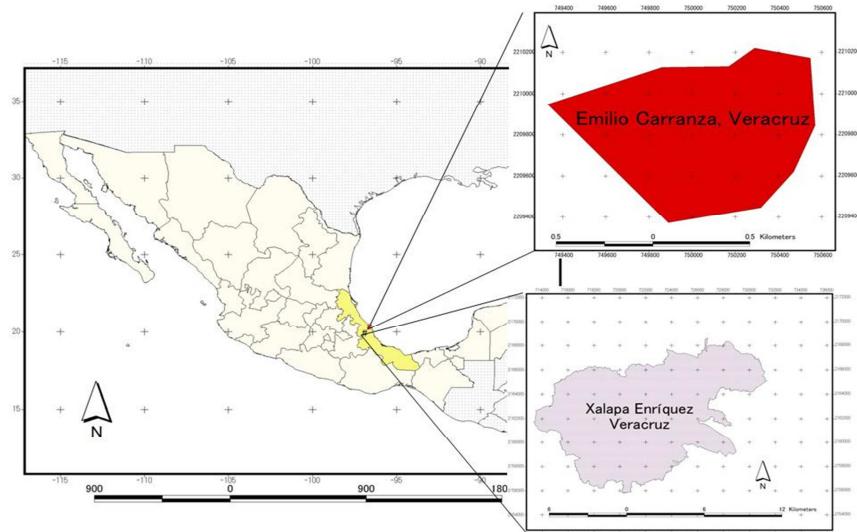


Figura 1. Localización geográfica de las ciudades de Xalapa y Emilio Carranza en el estado de Veracruz, México

Durante los meses de mayo y junio del 2011 se realizaron recorridos en parques, jardines, calles y avenidas de la ciudad de Xalapa, se observó que el sitio con mejores condiciones fue el “Parque Ecológico El Haya” ya que como su nombre indica son abundantes, de igual forma en la localidad de Emilio Carranza por ser una zona en donde se encuentran ríos, se realizaron recorridos para ubicar árboles del género *Platanus*, una vez identificados los sitios de estudio, se seleccionaron 8 árboles mediante un muestreo por conveniencia ya que en previos recorridos de campo, se observó que la altura de los árboles puede alcanzar más de 15 metros, se eligieron árboles con ramas de 2 a 5 metros de alto, que presentaban suficientes hojas e inflorescencias, de los cuales se tomaron aleatoriamente un total de 240 hojas (30 por cada árbol) y se midieron variables morfométricas 6 variables: Distancia de la vena central, distancia de la vena lateral, distancia entre los ápices de las venas, ángulo entre las venas, largo de la hoja, ancho de la hoja. Para el fruto solo se consideró al largo del achenio (Figura 2). Para estas mediciones se utilizó una regla simple y las unidades fueron centímetros (cm), a excepción del ángulo entre las venas que está dada en grados ( $^{\circ}$ ) y para el cual se utilizó un transportador simple, esta medición corresponde al ángulo entre las venas de los lóbulos central y lateral izquierda. Para el Largo del achenio (fruto) la unidad de medida fue en milímetro (mm).

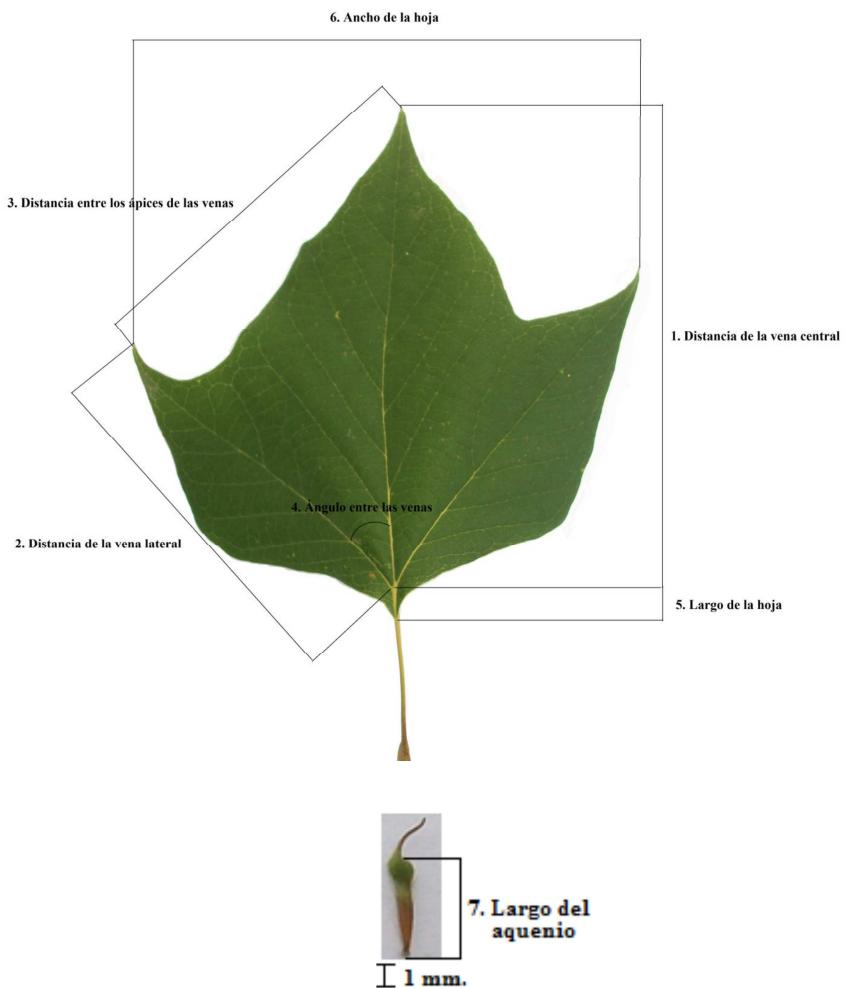


Figura 2. La foto superior muestra una hoja de *Platanus*, indicando las seis variables; la foto inferior muestra una ampliación de un achenio, nótese en su parte superior el apéndice que corresponde al estílo el cual no es considerado en la medición, así también el indumento, el cual ha sido retirado deliberadamente del achenio para su mejor apreciación.

Simultáneamente para la identificación taxonómica se muestrearon aleatoriamente a los mismos árboles un número variable de inflorescencias y cabezuelas y se registraron 4 variables: Largo de la inflorescencia, cantidad de cabezuelas por inflorescencia, diámetro de la cabezuela, y cantidad de lóbulos de la hoja (Figura 3). Las unidades de medida fueron en mm, excepto la cantidad de cabezuelas por inflorescencia y la cantidad de lóbulos de la hoja que están en números naturales. Las hojas, inflorescencia y aquenios (fruto) colectados fueron etiquetados para su reconocimiento y herborizados, para el caso de los aquenios también se empleó un vernier para medir el diámetro de éstos.

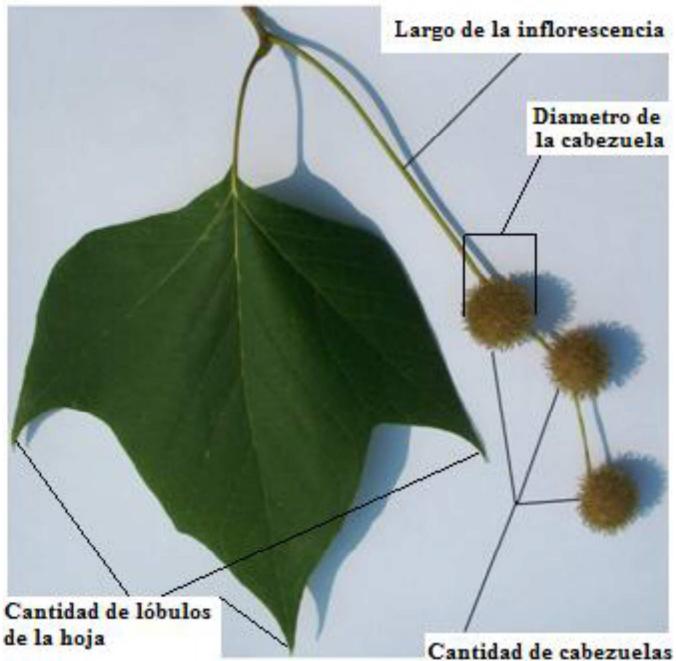


Figura 3. Variables registradas con fines taxonómicos, la foto muestra una hoja con una inflorescencia con tres cabezuelas.

Para el análisis estadístico de la información, la distribución de los datos se visualizó a partir de diagramas de caja usando MINITAB, Versión 14.0 (2011). Las diferencias entre árboles en términos de caracteres de hoja y fruto se analizaron mediante PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance Using Distance Matrices) y ANOVA de un factor (también llamada ANOVA unifactorial o one-way ANOVA en inglés). En el primer caso, para probar la respuesta simultánea de una o más variables para un factor (árboles) el análisis fue basado en medidas de distancia, métodos permutacionales y cálculo de un pseudo estadístico F basado en la mediana esperada en un diseño experimental el método es dado en Anderson (2005, 2001a y 2001b), Anderson y ter Braak (2003) y McArdle y Anderson (2001). El programa utilizado fue PERMANOVA versión 1.6 (2005). Por otra parte, se compararon los resultados del PERMANOVA con los obtenidos usando ANOVA de un factor para saber si las medias de cada una de las variables de las hojas y fruto son diferentes entre árboles. Para todos los análisis se estableció  $p < 0.05$  como límite para valores significativos. Posterior a esto se utilizó además un análisis cluster, el cual es sumamente utilizado en la biología para clasificar animales y plantas, conociéndose con el nombre de taxonomía numérica. Otros nombres asignados al mismo concepto son análisis de conglomerados, análisis tipológico, clasificación automática y otros. El análisis cluster se usó para formar grupos homogéneos por conglomerados. Y se generó un dendrograma de la variable largo del aquenio con el objeto de buscar grupos similares de árboles basados en este carácter, el paquete estadístico usado para este análisis fue SPSS para windows, versión 15.0 (2006).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos obtenidos se encontró que existen diferencias significativas en los caracteres de hoja y fruto (aquenio) de los árboles del género *Platanus* colectados en las ciudades de Xalapa y Emilio Carranza, Veracruz. Basado en la clave taxonómica y en la descripción de la especie se realizó la identificación de los árboles, y se encontró que sólo 3 árboles (cuadro 1), pudieron identificarse, los restantes no, en general por que las medidas de sus caracteres están fuera del rango de la clave (cuadro 2), cabe mencionar que la clave y la descripción manejan distintas medidas para el largo del aquenio y el cual es uno de los principales caracteres empleados en la clave taxonómica para diferenciar a las especies, ya que, en la clave se menciona que usualmente es de 5-6 mm y en la descripción es 5-7 mm. Los árboles 1, 6 y 7 fueron identificados como afines a *P. mexicana* Moric. var. *mexicana*; ya que, además de que el rango de sus aquenio tienen poca diferencia con el rango de la clave, presentan las siguientes observaciones: el diámetro de las cabezuelas de los árboles 1 y 7 tienen máximo 22 mm., el cual no llega al rango superior de la descripción (14-) 18-25 (-30) mm., las hojas del árbol 7 tienen borde dentado; el largo de las hojas del árbol 6 es de 10 a 13 cm, el cual es menor al de la descripción (3-) 8-20 (-25) cm. No obstante de estas observaciones estos árboles son los que más concuerdan con la clave taxonómica y con la descripción de la especie, particularmente el árbol 1.

Cuadro 1. Sitio, árbol y especie identificada taxonómicamente con la clave.

Sitio	Árbol	Especie identificada
Xalapa, Veracruz	1	Afín a <i>Platanus mexicana</i> Moric. var. <i>mexicana</i>
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	Afín a <i>Platanus mexicana</i> Moric. var. <i>mexicana</i>
Emilio Carranza, Veracruz	7	Afín a <i>Platanus mexicana</i> Moric. var. <i>mexicana</i>
	8	

Cuadro 2. Diferencias de los árboles no identificados

Árbol	Especie cercana	Diferencias
2	<i>P. mexicana</i> Moric. var. <i>interior</i>	1. Largo del aquenio es de 5-7 por lo que no concuerda con el rango de la clave para esta especie el cual es de 7-9 mm.
5		1. Largo del aquenio por abajo del límite inferior y superior 2. Hojas con borde marcadamente dentado 3. Diámetro de la cabezuela y 4. Largo de la inflorescencia por debajo del límite inferior 5. Cabezuelas fusionadas
	<i>P. mexicana</i> Moric. var. <i>mexicana</i>	
3, 4 y 8		1. Largo del aquenio por abajo del límite inferior y superior 2. Hojas de los árboles 3 y 8 presentan tanto borde entero como dentado y el árbol 4 solo dentadas

En el cuadro 3 pueden apreciarse las estadísticas descriptivas para el largo los aquenios de todos los árboles colectados.

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas para el largo del aquenio

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. típ.</b>
ÁRBOL4XAL	30	2,90	4,80	3,8067	,37959
ÁRBOL8CARRANZA	30	3,50	5,10	4,0667	,40115
ÁRBOL3XAL	30	3,30	5,30	4,3733	,47265
ÁRBOL5XAL	30	3,40	5,10	4,5633	,38639
ÁRBOL6XAL	30	3,90	5,70	4,7533	,48404
ÁRBOL1XAL	30	4,30	6,00	5,1900	,51284
ÁRBOL7CARRANZA	30	3,70	6,50	5,2467	,55132
ÁRBOL2XAL	30	5,00	7,10	6,2667	41133
<i>N válido (según lista)</i>	30				

En general se observó que el largo del aquenio fue la principal inconsistencia para la no identificación de las especies (Figura 4).

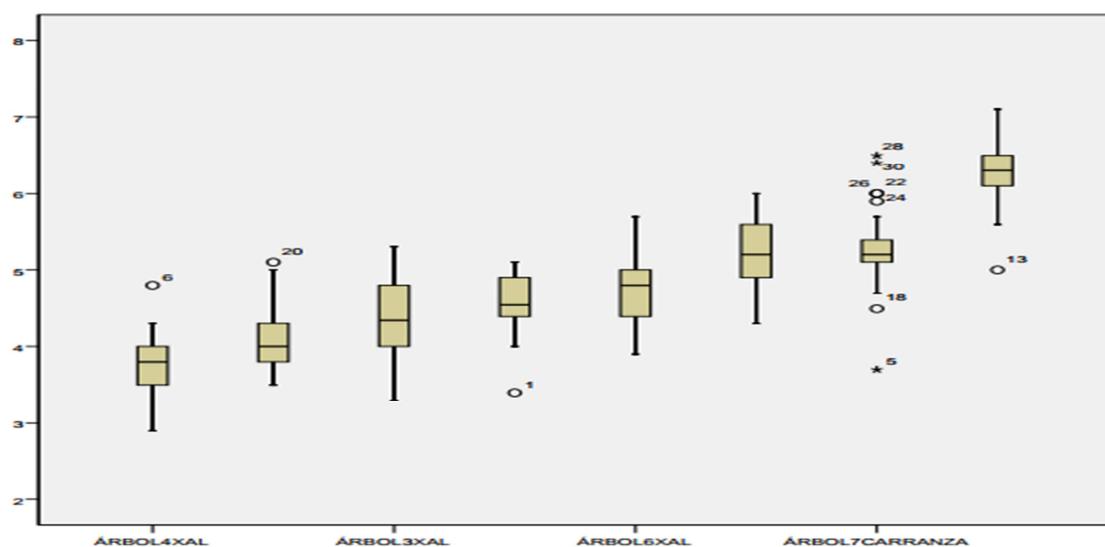


Figura 4. Diagrama de caja para el largo del aquenio

Por otro lado, el análisis cluster a la variable largo del aquenio confirma la independencia del árbol 2 con los demás árboles (Figura 5).

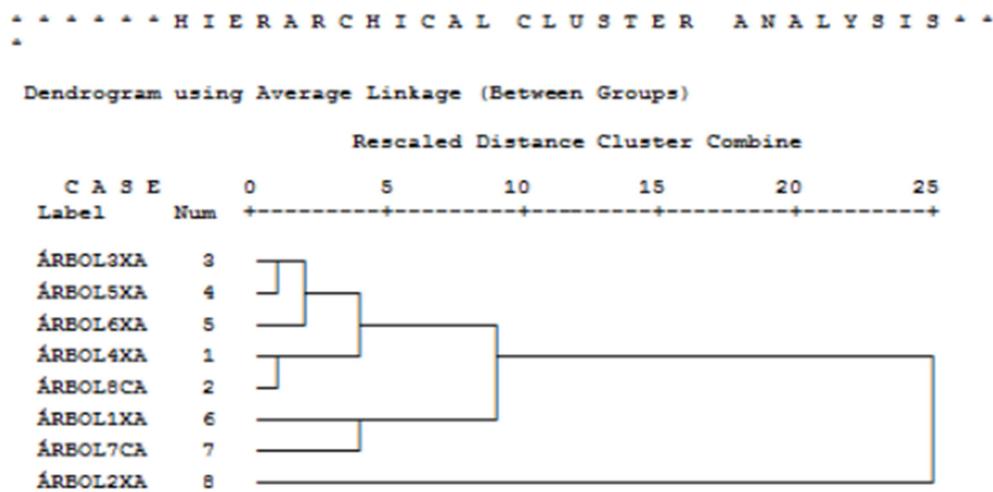


Figura 5. Dendograma (análisis cluster para el largo del aquenio)

Se realizó el análisis de varianza con PERMANOVA (99 permutaciones en todos los análisis) y ANOVA unifactorial, ya que aunque diferentes en su método para obtener la suma de cuadrados y los cuadrados medios, el valor F no varía significativamente. Ambos análisis detectaron en todas las variables valores significativos de F suficiente para rechazar la hipótesis nula de igualdad. El valor F tabulado con 7 de numerador y 232 de denominador grados de libertad es de 2,049 como valor crítico, a un nivel de probabilidad de 0,05 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas para el largo del aquenio

Variable	F calculado con PERMANOVA	P valor	F calculado con ANOVA	P valor
Vena central	84,8	0.01	84,2	8,819E-60
Vena lateral	74,1	0.01	78,4	1,287E-57
Distancia entre ápices	61,6	0.01	61,4	2,237E-49
Largo de la hoja	76,6	0.01	79	7,191E-58
Ancho de la hoja	90,9	0.01	89,1	3,604E-62
Ángulo	9,4	0.01	9,4	2,376E-10
Largo del aquenio	62,6	0.01	88,7	5,199E-62

#### 4. CONCLUSIONES

Los rangos de la clave taxonómica para el largo del aquenio no son suficientes para abarcar todas las mediciones obtenidas de este carácter en los árboles colectados, ya que solo tres de los ocho árboles pudieron ser identificados y solo como cercanos a la especie reportada para Veracruz *Platanus mexicana* Moric. variedad *mexicana*, los restantes árboles no fue posible identificarlos con la clave taxonómica, principalmente por inconsistencias en el largo del aquenio así como con la descripción de la especie.

Se reporta a uno de los árboles colectados como cercano a la especie *Platanus mexicana* Moric. variedad *interior*, ya que derivado de la identificación taxonómica y corroborado mediante el análisis cluster pudo diferenciarse a esta especie, la cual actualmente no es reportada para el estado de Veracruz.

Los resultados de los análisis de varianza del presente trabajo de la diferencia significativa que existe a nivel fenotípico en estos árboles implican la necesidad de estudios más detallados para llegar a conclusiones definitivas sobre su actual ubicación taxonómica.

#### Literatura citada

- [1] Anderson, M. J. (2001a). A new method for non - parametric multivariate analysis of variance. *Austral ecology*, 26(1), 32-46.
- [2] Anderson, M. J. (2001b). Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 58(3), 626-639.
- [3] Anderson, M., & Braak, C. T. (2003). Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. *Journal of statistical computation and simulation*, 73(2), 85-113.
- [4] Anderson, M. J., Gorley, R. N., & Clarke, R. K. (2005). Permanova. *Permutational multivariate analysis of variance, a computer program*. Department of Statistics, University of Auckland, 24.
- [5] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2011). *Platanus mexicana*. Recuperado el 17 de julio del 2017 de [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/56-plata1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/56-plata1m.pdf)
- [6] Ernst, W. R. (1963). The genera of Hamamelidaceae and Platanaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*, 44(2), 193-210.
- [7] Floyd, S. K., Lerner, V. T., & Friedman, W. E. (1999). A developmental and evolutionary analysis of embryology in *Platanus* (platanaceae), abasal eudicot. *American journal of botany*, 86 (11), 1523-1537.
- [8] Grimm, G.W., & Denk, T. (2007). ITS Evolution in *Platanus* (Platanaceae): Homologues, Pseudogenes and Ancient Hybridization. *Annals of Botany*, 101 (3), 403 - 419.
- [9] McArdle, B. H., & Anderson, M. J. (2001). Fitting multivariate models to community data: a comment on distance - based redundancy analysis. *Ecology*, 82(1), 290-297.
- [10] Nixon, K. C., & Poole, J. M. (2003). (Vol. 06, 2003-12) Revision of the Mexican and Guatemalan Species of *Platanus* (Platanaceae). *Lundellia*.
- [11] Nee, M., & Ver, X. (1981). Florade veracruz.
- [12] Phillips, R. (1989). *Los árboles*. España: Blume S.A. 224pp.

## Capítulo 4

pp 40-60

### DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES DE FORMACIÓN DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD LÍDER EN ENSEÑANZA A DISTANCIA EN AMÉRICA LATINA: ESTUDIO LONGITUDINAL APLICADO A LA UTPL

\*Gabriela del Rocío Jaramillo-Loaiza, \*Jenny María Ordóñez-Ordóñez, \*\*Carmen Yot Domínguez  
&\*\*\*Valentín Alejandro-Martínez Fernández

\*Universidad Técnica Particular de Loja, Dpto. de Economía, Área Administrativa. Ecuador.  
grjaramillox@utpl.edu.ec,  
1101608 Loja, Ecuador

\*\* Universidad de Sevilla, Dpto. de Didáctica y Organización Educativa. España.

\*\*\*Universidad de La Coruña, Dpto. de Empresa. España.

#### ABSTRACT

The following research presents results from the first part of a longitudinal study, which general objective is to detect training needs of economics professors of the Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), pioneering university institution and leader, in Ecuador and its region, in distance learning and with centers throughout the country, as well as in North America and Europe. The methodology includes two steps of analysis. First, through the analysis of relevant secondary information we detected normative training needs. Second, based on 54 standardized surveys collected we derived expressed needs from professors. Information studied descriptively and through the multivariate principal components analysis method (PCA). Survey questions were oriented to the curricula design and development, and the management of Information and Communication Technologies related. The results of the descriptive analysis reveal that of normative training needs include acquiring tools to: assure self-conducted professional training; promote search of information and knowledge; skills and competencies development for professional performance, etc. The results from expressed training needs highlight: a) the correct use of virtual libraries, b) evaluation of internships or pre-professional practices; and, c) design of learning activities using case study methodology. While the analysis of principal components determines that the most influential elements in teacher training are concentrated in nine main components, five for the level of importance scale and four for the scale degree of preparation.

**KEYWORDS:** Role of the teacher; teaching skills, normative training needs, expressed training needs, principal component of analysis.

#### RESUMEN

La presente investigación es la primera parte de un estudio longitudinal, dado que su objetivo general consiste en detectar las necesidades de formación de los docentes de la carrera de Economía de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), institución universitaria pionera y líder, en Ecuador y su región, en formación a distancia y con centros en todo el país, así como en Norteamérica y Europa. La investigación se llevó a cabo a través de dos diagnósticos: el primero, se deriva de las necesidades normativas, detectadas mediante el análisis de información secundaria relevante; mientras que el segundo, se basa en las necesidades expresadas, manifestadas en los cuestionarios aplicados a 54 docentes. Información estudiada de forma descriptiva y a través del método multivariante de análisis de componentes principales (ACP). Las preguntas fueron normalizadas, orientadas de manera general al diseño-desarrollo curricular, y al manejo de las TICs. Los resultados del análisis descriptivo revelan que, entre otras, las necesidades priorizadas en el campo normativo son: adquirir herramientas que garanticen al docente su autoformación profesional; promover la búsqueda de la información y el conocimiento; el desarrollo de habilidades y competencias para el desempeño profesional, etc. En el ámbito de las necesidades expresadas se destacan: a) utilizar correctamente las bibliotecas virtuales; b) evaluar prácticas pre profesionales (Practicum); y, c)

diseñar actividades de aprendizaje a través del método de estudios de caso. Mientras que al ACP determina que los elementos más influyentes en la formación docente se concentran en nueve componentes principales, cinco para la escala nivel de importancia y cuatro para la escala grado de preparación.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Con el pasar de los años se ha evidenciado que no solo las sociedades humanas han evolucionado sino también sus roles. Es así que el nuevo siglo ha traído consigo una definición renovada de la educación universitaria, en donde la relación docente-transmisor y estudiante-receptor de conocimientos ha quedado caduca frente a las necesidades de hoy; aquí el profesor no es la única fuente de información, ya que los avances tecnológicos y el desarrollo de las TICs le han llevado a fortalecerse como un facilitador que oriente y acompañe al estudiante en su búsqueda de la verdad, la misma que no se basa exclusivamente en el conocimiento, sino en una formación integral en donde además de lo señalado, el estudiante pueda potenciar sus competencias basadas en conocimientos, habilidades, aptitudes y valores; siendo este último, el eje transversal del proceso formativo.

La realidad ecuatoriana muestra como uno de los objetivos del Plan Nacional para el Buen Vivir, mejorar las capacidades y potencialidades de la ciudadanía. Dentro de este marco, el Art. 350 de la Constitución de la República del Ecuador señala que el Sistema de Educación Superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo. Por su parte, el Art. 6 de la Ley Orgánica de Educación Superior<sup>[1]</sup> establece que el profesorado debe de recibir una capacitación periódica acorde a su formación profesional y la cátedra que imparta, orientada a fomentar e incentivar la superación personal académica y pedagógica.

Acogiéndose a este mandato, la Universidad Técnica Particular de Loja establece como uno de sus mayores horizontes la formación continua del docente. Así lo confirma Acosta<sup>[2]</sup> "El desafío está en nuestras manos [...] ser los docentes que la sociedad actual necesita, que nuestros alumnos esperan, para poder desarrollarse integralmente. Ser los profesionales de la educación, activos protagonistas de una escuela reflexiva, que se renueva y actualiza constantemente, que busca responder a las necesidades de sus miembros. Una escuela que mira hacia adentro sin dejar de mirar hacia afuera con ojos críticos, constructivos y llenos de esperanza".

La Universidad Técnica Particular de Loja es una de las instituciones de educación superior que decidió avanzar de acuerdo a las exigencias de la sociedad actual, sin embargo, durante esta etapa de prospección y de acuerdo a la nueva Ley Orgánica de Educación Superior, se ha puesto de manifiesto la necesidad de fortalecer el equipo de formadores en el ámbito de la docencia, investigación y servicio a la sociedad.

El docente de la UTPL, se convierte en el tutor-orientador del proceso de aprendizaje del estudiante, pero para ello deberá encontrarse en un proceso continuo de formación, con miras a que su rol docente se encamine a consolidar los procesos de aprendizaje mediante la construcción autónoma y responsable de conocimientos, valores, habilidades, actitudes y aptitudes profesionales, en escenarios de participación abierta y diálogo pertinente. Para este fin, el docente ha de ser un profesional motivado y comprometido con su labor, con una actitud que potencie sus conocimientos, habilidades y competencias didácticas.

El docente debe enseñar a la persona a aprender a conocer, aprender a hacer y aprender a ser. Aprender a conocer no solo conceptos básicos y generales de su profesión, sino su rol como persona y agente de cambio. Aprender a hacer y con ello llevar la teoría a la práctica, no solo como elemento de valoración académica sino como servicio a la sociedad y de realización personal. Y, aprender a ser, tanto en la acumulación de conocimientos profesionales de beneficio personal como, y sobre todo, en el desarrollo de competencias y

habilidades que le permitan ser persona, comportarse, relacionarse y realizarse como tal<sup>[3]</sup>.

Estos antecedentes permiten corroborar la importancia de diagnosticar las necesidades actuales de formación que tiene el docente de la UTPL. Para ello, de modo experimental, el presente estudio se fija particularmente en el departamento de economía, por constituir uno de los referentes en el ámbito de las ciencias sociales.

## **2. ALGUNOS APORTES TEÓRICOS**

La literatura sobre la importancia de la formación docente para la mejora continua de la calidad en la educación superior, sin duda alguna, es extensa y de alto valor para la comunidad científica interesada en el tema. A los efectos de la presente investigación se ha procedido a seleccionar aquellos aportes con mayor incidencia en el objeto del análisis a efectuar.

Las instituciones de educación superior velan por su calidad integral; sin embargo, no se puede olvidar que para generar una educación de calidad ha de promoverse la calidad en la formación de sus docentes. *"Todos somos tanto aprendices como educadores. La educación para el desarrollo sostenible nos insta a que cambiemos y no veamos la educación como un mecanismo de entrega sino como un proceso de por vida holístico e inclusivo"*<sup>[4]</sup>.

El campo de la formación docente se caracteriza por ser una acción dirigida a modificar a los otros mediante la intervención educativa. Es una actividad comprometida en la cual el profesor, como persona, posee una determinada cultura, ideología y valores. La formación permanente del docente comprende dos elementos: 1) la formación personal; y, 2) la profesional<sup>[5]</sup>. No cabe obviar que la función social de la educación consiste en preparar al individuo para el buen desempeño de la tarea que más tarde le tocará realizar en la sociedad, esto es, modelar su carácter social; que sus deseos coincidan con las necesidades propias de su función. El sistema educativo de toda sociedad se halla determinado por este cometido, por lo tanto, no puede explicarse la estructura de una sociedad o la personalidad de sus miembros por medio de su proceso educativo, sino que, por el contrario, se debe explicar éste en función de las necesidades que surgen de la estructura social y económica de una sociedad<sup>[6]</sup>.

En el siglo XXI, la formación docente se ha convertido indudablemente en un gran reto, producto de la volatilidad de los nuevos desafíos y desarrollo que se experimenta en el mundo científico-tecnológico. La formación y la capacitación de nuevos saberes, así como la adaptación a la tecnología, es una forma estratégica que el docente, en la actualidad, tiene la obligación de asumir como herramienta praxiológica y útil, a fin de asumir los cambios y transformaciones que se experimenta en este sector educativo. La tarea docente universitaria, es tan compleja que exige al profesor el dominio de unas estrategias pedagógicas que faciliten su actuación didáctica. Por ello, el proceso de aprender a enseñar es necesario para comprender mejor la enseñanza y para disfrutar con ella<sup>[7]</sup>.

El alumno del siglo XXI, casi de cualquier ámbito y también de cualquier edad, no se conforma únicamente con asistir a clase, estudiar, aprender, al modo tradicional, sino que espera que este proceso se inserte en el marco del entretenimiento, considerando su propio vocabulario manifiestan las materias tienen que "*divertir*". Por ende, el profesor de hoy necesita incorporar elementos de motivación permanentemente, que lleven al alumnado a participar y sentirse partícipe; si esto no ocurre, pues ese alumnado se aleja cada vez más del profesor y de la asignatura, bajo la declaración: "*esto me aburre*", lo que quiere decir: "*no me motiva*". Por lo tanto las clases requieren de una dinámica que aporte también variedad en el modo de enseñar. Más allá de que se esté o no de acuerdo con esta nueva forma de aprender y de aprehender, es importante repensar esa manera de acercarse y llegar al alumno de manera individual y grupal<sup>[8]</sup>.

En la medida en que el docente tome conciencia de la importancia de contar con una buena formación, cualquiera que sea la disciplina o el campo en donde actúe, el camino que se recorra por parte del estudiante y el profesor habrá sido más fructífero y sencillo. Esto obedece entonces a contar con una serie de conocimientos, técnicas, instrumentos y metodologías que permitan reflexionar sobre una mirada integrada

entre estudiantes y profesores. Habiendo transitado en parte por este camino es posible aventurarse a decir que hubo un punto de inflexión, un antes y un después, luego de transitar por el curso de formación docente en la Universidad, más allá de la buena metodología con la que cada uno pueda contar en sus clases. Con el pasar de los días se observa que los docentes pueden tener un excelente dominio respecto al ámbito profesional, pero es probable que estén verdaderamente alejados del mundo académico; de las tendencias en el campo de la enseñanza y el aprendizaje, del conocimiento de lo que significa evaluar con criterio a un estudiante. Quizá, y de hecho ocurre, con el tiempo sean las universidades las encargadas de promover estos programas docentes y en la medida en que esto se estandarice y convierta en un valor diferencial, los mismos profesores acudirán a obtener dicha formación<sup>[8]</sup>.

Si bien la formación es multifactorial, sin duda, una de las claves del cambio es contar con un recurso docente de calidad. La función del docente se ha sustentado mediante el desarrollo y la operatividad de los diferentes modelos educativos identificados en el medio universitario como elementos en clave que permiten atender las problemáticas de la sociedad y reflejan necesidades de cambio en torno al conocimiento, interpretación y recreación de programas curriculares que dan sustento al desarrollo de la formación profesional<sup>[9]</sup>.

El desempeño del docente ha de llevarle a la reflexión sobre lo que hace y por qué lo hace, necesita contar con determinados aspectos que orienten, fundamenten y evidencien su accionar. Bajo la tendencia de las demandas de un mundo globalizado, la educación superior se plantea reformas educativas para enfrentar los retos que permitan mejorar las condiciones de calidad, equidad y eficiencia, respecto a la docencia se consideran como funciones que el docente debe desarrollar: formadora, de gestión, y de formación, en las cuales quepa observar que el profesor universitario puede traducir su práctica docente a la planificación didáctica, conformación de programas, identificación curricular, objetivos del aprendizaje, selección de contenidos de estudio y evaluación de procesos, que van inmersos en el proceso de enseñanza y aprendizaje ante un grupo. La función del profesor implica un proceso permanente de actualización, labor docente, producción académica, generación y aplicación del conocimiento, gestión académica y participación en cuerpos colegiados que le permiten vincularse con los currículos a través de una participación activa en los cambios de modelos educativos e instrumentación de programas académicos<sup>[9]</sup>.

### **3. DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES DE FORMACIÓN**

Para identificar las principales necesidades de formación docente en el Departamento de Economía de la UTPL, se procedió a realizar un diagnóstico establecido en tres etapas definidas. Se espera que el mismo sirva de base para posteriores estudios, relacionados con los planes de acción de formación y orientados hacia la calidad educativa superior.

#### **Etapa 1: Diagnóstico de necesidades normativas**

Para determinar el diagnóstico de las necesidades normativas de la institución se realiza la recopilación y análisis de algunos documentos, en primera instancia, el dictamen de acreditación del programa de licenciatura en economía emitido por el CONACE<sup>1</sup>; en segundo lugar, el informe ejecutivo de la validación del perfil académico - profesional de egreso de la titulación de Economía; así como también, el Modelo Académico actual de la UTPL<sup>[10]</sup> y las políticas vigentes para la educación superior en Ecuador<sup>[11]</sup>.

El plan de mejoras emitido por el CONACE ha sido considerado en el presente trabajo, debido a que en éste se detallan, por un lado, los lineamientos trazados para evaluar y acreditar programas de economía, tales como recursos, procesos y resultados (estos rubros permiten identificar la calidad del programa de economía por la cobertura y profundidad de los conocimientos que se imparten a los estudiantes y su adecuada formación socio-humanística; asimismo, por la pertinencia de la investigación que realizan los profesores y la utilidad reconocida de su vinculación con el entorno social); y por otro lado, las diferentes recomendaciones derivadas

<sup>1</sup> Dictamen de Evaluación con las Recomendaciones para el Programa Académico de Licenciatura en Economía de la UTPL, emitido por el Consejo Nacional para la Acreditación de la Ciencia Económica, A.C. septiembre/2011.

del proceso de evaluación y acreditación del programa de Economía.

La contribución del informe ejecutivo de la validación del perfil académico - profesional de egreso de la titulación de Economía consiste en que, a través del mismo, se determina si las competencias que la titulación se encuentra desarrollando actualmente en el proceso formativo, proporcionan al profesional de economía las herramientas teóricas, instrumentales y prácticas que lo lleven a desenvolverse de mejor manera en el futuro.

El documento sobre el modelo académico de la UTPL, aporta temas como la formación basada en competencias, los contenidos del programa formativo, el sistema de créditos UTPL-ECTS, el rol del docente y del estudiante, el sistema de evaluación y las herramientas de innovación docente vigentes.

El análisis de la política pública para el fomento del talento humano en educación superior, favorece de manera particular en este trabajo, pues en el documento estudiado se desagregan temas como el diagnóstico referencial sobre educación superior y profesionalización, el sistema nacional de fomento del talento humano en las áreas de educación superior, ciencia, tecnología e innovación; además se detallan los objetivos y estrategias de la política pública para el fomento del talento humano.

La selección, revisión y análisis de estos documentos, han contribuido de modo importante al diagnóstico de necesidades normativas.

### **Etapa 2: Diagnóstico de necesidades expresadas**

El diagnóstico de las necesidades expresadas se determina en virtud de la recopilación de información primaria, generada directamente por los docentes de la carrera de Economía.

La técnica de recogida de información empleada en el presente estudio es la encuesta, método de estudio observacional, diseñada para una búsqueda sistemática de información con una serie de preguntas normalizadas, dirigidas a los docentes, de manera individual, para posteriormente reunir dichos datos y obtener durante la evaluación datos agregados. La encuesta fue realizada y aplicada mediante el servicio de alojamiento de archivos en línea.

La encuesta es evaluativa y las preguntas del cuestionario son claras y concisas para evitar dobles interpretaciones. Los apartados que conforman la encuesta son:

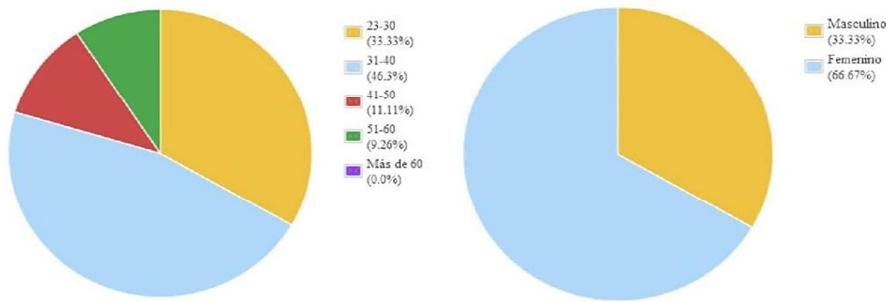
*Datos generales:* constituye la información sobre cuestiones personales y académicas que el docente proporciona, facilitando así la caracterización de la población encuestada. Se solicitan datos como el área, el departamento y la sección departamental en el que trabaja, edad, años de experiencia en su rol docente y género.

*Escala de valoración:* se asignan valores numéricos de mayor a menor, a cada opción de respuesta, conforme al nivel de importancia y del grado de preparación; la relación de estas variables reflejará las necesidades de formación de la planta docente del Departamento de Economía.

*Tabla 1 - Escala de valoración por nivel de importancia y grado de preparación.*

Escala de Valoración	Nivel de Importancia	Grado de Preparación
4	muy importante	muy bueno
3	Importante	bueno
2	poco importante	poco
1	nada importante	nada

*Nota:* Elaboración propia según la escala de Likert.



**Figura 1 - Características generales de los docentes, a partir de información primaria.**

El cuestionario está compuesto por varios ítems cuya estructura consiste en la redacción de la pregunta, seguida de una serie de respuestas alternativas probables con la respectiva escala de valoración, con el fin de que el docente encuestado pueda indicar dentro de ellas, la que mejor le parezca.

Se exigió la obligatoriedad para contestar cada pregunta. Consta de dos secciones; la primera conformada por el diseño y desarrollo curricular, la misma que se desglosa en tres componentes; 1) enseñanza-aprendizaje: 12 reactivos, 2) metodología: 10 reactivos, 3) evaluación por competencias: 12 reactivos. La segunda está compuesta por el manejo de las TICs y consta de 18 reactivos. El grupo de estudio está conformado por 54 docentes, encuestados en el mes de febrero de 2013.

La edad de los participantes encuestados oscila entre los 31 y 40 años. Se trata de una población docente relativamente joven, convirtiéndose en una significativa ventaja para la disposición de cambiar los posibles viejos paradigmas enraizados en los docentes, facilitándose así la incorporación de nuevos modelos educativos. Además, la tendencia señala que la participación de la mujer en la UTPL, en el ámbito de la docencia, es mayoritaria.

### **Etapa 3: Análisis de los datos recogidos para la detección de necesidades de formación**

Concluida la etapa de la recogida de datos, a través del cuestionario descrito en el apartado anterior, se inicia la etapa fundamental para toda investigación social, consistente en la clasificación y análisis de los datos de cada variable propuesta en el estudio, así como la representación de datos manejables para su interpretación.

Para mayor rapidez y precisión, en aras a la bondad de los resultados, todo el proceso se realizó automáticamente a través de plataformas digitales, empleando aplicaciones concretas para el tratamiento estadístico de los datos generales y específicos de la encuesta y que, a su vez, proporcionaron los docentes encuestados; en donde manifestaron el nivel de importancia y el grado de preparación en cada ítem propuesto. Los datos extraídos del sistema, son parámetros estadísticos básicos, tales como porcentajes, frecuencias y presentaciones gráficas; para efectos de análisis se consideraron los valores en porcentajes y las representaciones gráficas, facilitando la etapa de interpretación y explicación de los resultados.

Estos parámetros estadísticos, principalmente, permiten establecer las relaciones y revelar las estructuras; por consiguiente, la tendencia marcada en las respuestas de los docentes es la que apuntará el orden prioritario ante éstas. Además se utiliza la técnica multivariante de análisis de componentes principales para determinar los factores más influyentes en la formación docente. Con ello se puede vislumbrar el horizonte de un nuevo estudio, en donde se proponga el plan de formación específico para atender a las principales necesidades insatisfechas de la planta docente del Departamento de Economía.

#### **4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA**

Al llegar a esta etapa y después de detallar el proceso de la obtención de la información, se procede a presentar los resultados obtenidos tanto de fuentes primarias como de secundarias. Las necesidades que se expresan en los resultados corresponden a las normativas de la institución y a las expresadas por el grupo de docentes analizados.

En primera instancia se detallan, describen y analizan los resultados, para luego efectuar una priorización de las necesidades detectadas en el diagnóstico.

Las necesidades normativas son extraídas de los documentos académicos y de evaluación y acreditación que dispone la UTPL, se las expone a continuación con el objeto de contribuir a la mejora continua de la calidad en la educación, basándose en el modelo académico de créditos UTPL\_ECTS, vigente.

- Adquirir herramientas que le garanticen al docente su autoformación profesional.
- Promover la búsqueda de la información y el conocimiento, el desarrollo de habilidades y competencias para el desempeño profesional, a través de diversas fuentes.
- Implementar diversas metodologías de formación y evaluación que faciliten el aprendizaje autónomo y colaborativo.
- Establecer en los estudiantes un aprendizaje activo, productivo, creativo, comprensivo, crítico y reflexivo.
- Desarrollar competencias en los estudiantes que les garanticen su autoformación profesional, mediante el uso de nuevas tecnologías.
- Formar a los estudiantes integralmente, en donde se aúnen las dimensiones científico-técnicas de alta calidad, con las humanísticas, éticas y espirituales, a través de una docencia pertinente y de alto nivel.
- Valorar acertadamente la carga de trabajo del estudiante para lograr los objetivos del programa académico, que se especifican en los indicadores y resultados de aprendizaje y en las competencias adquiridas.

Las necesidades expresadas se hacen explícitas en función de la demanda específica que ha sido planteada de forma individual y soportada en la encuesta, por la planta docente del Departamento de Economía. En tal sentido, a continuación se detallan los resultados de la encuesta aplicada a un total de 54 colaboradores, seguido de la evaluación diagnóstica de los mismos.

Para el análisis descriptivo de los datos recolectados se utiliza la escala representativa detallada en un apartado anterior; mediante ésta, la persona encuestada asigna un valor entre 1 - 4, para calificar el nivel de importancia y el grado de preparación que, según su criterio y desde su experiencia académica, se merecen los diversos ítems planteados en la encuesta de "Necesidades de formación de los docentes del Departamento de Economía de la UTPL".

En ese sentido más del 53% de la población docente del departamento en estudio, considera que todos los componentes que conforman la categoría Enseñanza-Aprendizaje son muy importantes para su labor docente; por otro lado, la mayor parte de la planta docente manifiesta tener un nivel de preparación entre medio y alto. Esto se demuestra en detalle a continuación:

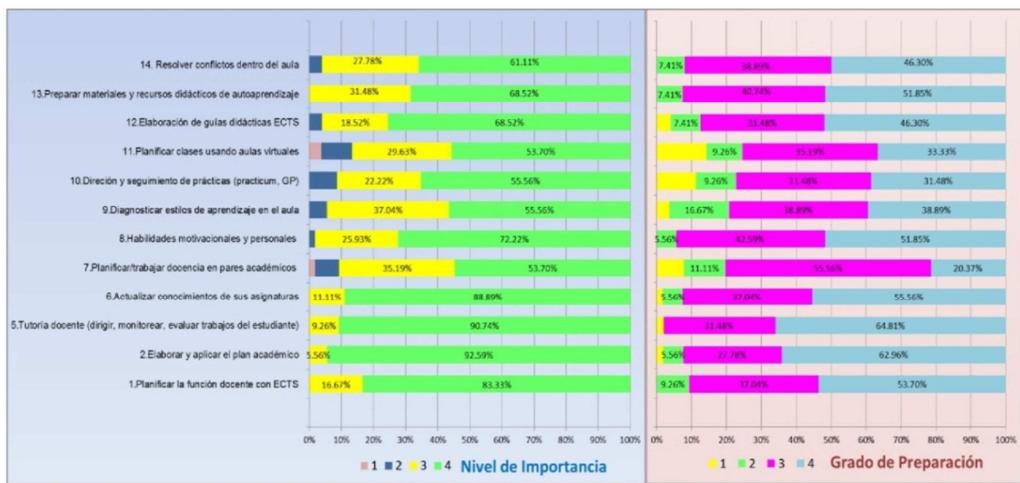


Figura 2 - Nivel de importancia y grado de preparación en el diseño y desarrollo curricular (planificación).

En la presente figura se observa que existen docentes que manifiestan tener poco grado de preparación en algunas competencias, éstas son descritas a continuación para que sean consideradas dentro del plan de formación continua que presenta la Institución. El orden establecido es el siguiente, destacándose las principales:

1. Diagnosticar estilos de aprendizaje en el aula.
2. Planificar/trabajar la docencia en pares académicos.
3. Planificar la función docente bajo el modelo ECTS.
4. Determinar la dirección y el seguimiento de las prácticas pre profesionales (Practicum, GP).
5. Planificar las clases usando las aulas virtuales.
6. Preparar materiales y recursos didácticos de autoaprendizaje.
7. Resolver los conflictos dentro del aula.
8. Elaborar las guías didácticas bajo el modelo ECTS.

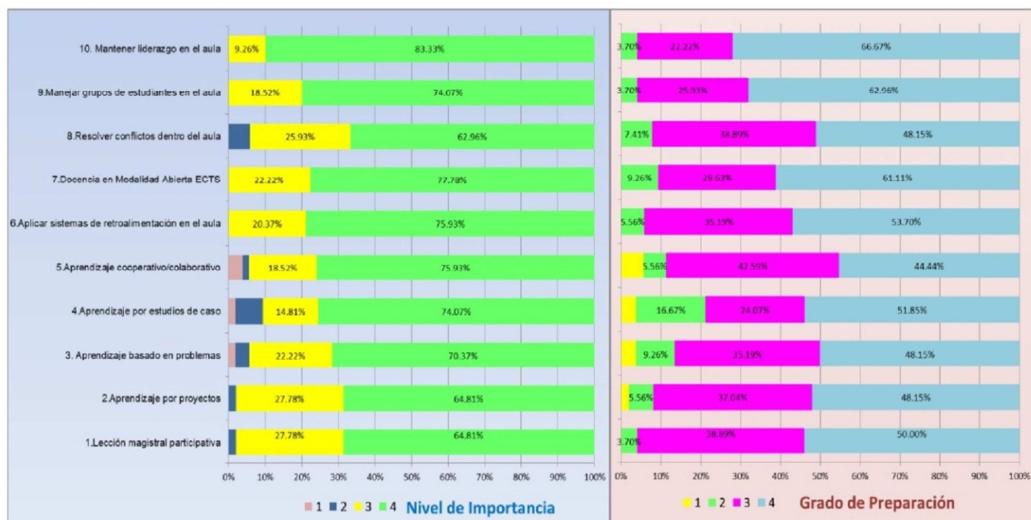
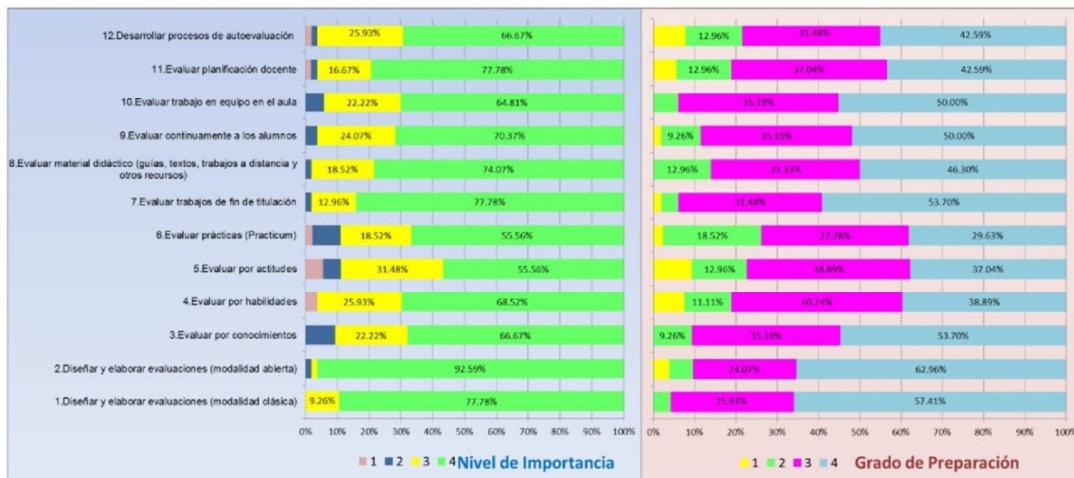


Figura 3 - Nivel de importancia y grado de preparación en el diseño y desarrollo curricular (metodología)

En cuanto a los componentes evaluados en la Metodología del Diseño y Desarrollo Curricular, se aprecia que existe una respuesta mayoritaria ante la importancia de las variables planteadas en este apartado; sin embargo, los principales factores a mejorar en la preparación docente, y en el orden establecido son:

1. Diseñar actividades de aprendizaje a través del método de estudios de caso.
2. Ejercer la docencia en Modalidad Abierta bajo el modelo ECTS.
3. Formular actividades de aprendizaje mediante la formación basada en problemas.
4. Resolver los conflictos dentro del aula.
5. Proponer actividades de aprendizaje en virtud del estilo cooperativo/collaborativo.
6. Aplicar sistemas de retroalimentación dentro del aula.
7. Plantear actividades de aprendizaje empleando el estilo por proyectos.



**Figura 4 - Nivel de importancia y grado de preparación en el diseño y desarrollo curricular (sistema de evaluación).**

En cuanto al Sistema de Evaluación, los docentes manifiestan que deben mejorar su grado de preparación en los siguientes aspectos:

1. Evaluar las prácticas pre profesionales (Practicum).
2. Evaluar el aprendizaje por actitudes.
3. Evaluar la planificación docente.
4. Evaluar el material didáctico (guías, textos, trabajos a distancia y otros recursos).
5. Desarrollar procesos de autoevaluación.
6. Evaluar el aprendizaje por habilidades.

Cabe destacar que el 93% y el 78% de los encuestados consideran muy importante el diseño y elaboración de evaluaciones en las modalidades abierta y presencial, respectivamente, por lo que la Institución podría considerar técnicas metodológicas relevantes e idóneas para contribuir en dicho proceso, sin dejar de lado el tiempo efectivo que los docentes destinan a esta actividad.



**Figura 5 - Nivel de importancia y grado de preparación en el diseño y desarrollo curricular (tecnologías de información y comunicación).**

La figura 5 muestra los resultados obtenidos en el tema del manejo de las Tecnologías de la Información y Comunicación, en donde se observa que el 80% y 90% de los encuestados atribuyen al manejo de las TICs y al manejo de la Herramienta de Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) un nivel de importancia elevado. En cuanto a la preparación se refleja que un 38,89% de los encuestados considera tener una buena preparación en cuanto a éste tema, pero existen algunos factores que ameritan reforzar, tales como:

1. Utilizar correctamente las bibliotecas virtuales.
2. Elaborar boletines electrónicos.
3. Operar el administrador de proyectos.
4. Emplear motores de búsqueda.
5. Elaborar guiones multimedia.
6. Aplicar las listas de distribución de correos.
7. Manejar buscadores especializados.
8. Organizar y sistematizar la información digital.

## 5. FACTORES MÁS INFLUYENTES EN LA FORMACIÓN DOCENTE

Para identificar los elementos que más influyen en la formación docente se utiliza la técnica de análisis de componentes principales (ACP), involucrando 52 variables de estudio, tanto para la escala de nivel de importancia como para la de grado de preparación del docente. Las variables recogen aspectos relacionados a planificación, metodología, sistema de evaluación y manejo de TICS para el proceso enseñanza aprendizaje, estas variables forman parte de las respuestas proporcionadas por los 54 docentes del departamento de Economía que fueron encuestados para los fines de esta investigación.

La técnica multivariante de ACP permite el tratamiento conjunto de las variables observadas, sintetizando los datos que se relacionan entre sí, sin hacer ninguna conjetura previa sobre lo que significa cada factor inicial; es importante señalar que dichas variables deben guardar una estructura importante de correlación <sup>[12]</sup>.

Previo a realizar el análisis correspondiente, se procede a verificar que la correlación de las variables seleccionadas es suficientemente grande como para justificar la factorización de la matriz de coeficientes de correlación; esta comprobación se realiza mediante el índice de KMO<sup>2</sup> que compara los valores de las correlaciones entre las 52 variables y sus correlaciones parciales, si este índice es cercano a 1 el ACP se puede realizar, por lo contrario, si es cercano a 0 el ACP no será relevante. Para efectos de este estudio la matriz de correlación obtenida se presenta de manera parcial en la tabla 2 debido a su extensión, ésta no es definida positiva porque su determinante es cero, constatando que existe colinealidad entre las variables consideradas, por lo que se vuelve innecesario la comprobación mediante el cálculo del índice KMO.

**Tabla 2 - Matriz de Correlaciones<sup>a</sup> \_Nivel de importancia**

	PFD	EAPC	TD	AC	PD	HA	D	DSP	PCUAV	...	UTIC	
<b>Correlación</b>	<b>PFD</b>	1.000	.072	.371	.474	.372	.435	.391	.438	.503	...	.267
	<b>EAPC</b>	.072	1.000	.039	.023	-.053	.060	.047	.326	-.100	...	-,057
	<b>TD</b>	.371	.039	1.000	.090	.291	.196	.270	.100	.269	...	,200
	<b>AC</b>	.474	.023	.090	1.000	.294	.383	.129	.136	.147	...	,079
	<b>PD</b>	.372	-.053	.291	.294	1.000	.395	.377	.583	.275	...	,196
	<b>HA</b>	.435	.060	.196	.383	.395	1.000	.594	.256	.408	...	,284
	<b>D</b>	.391	.047	.270	.129	.377	.594	1.000	.453	.161	...	,261
	<b>DSP</b>	.438	.326	.100	.136	.583	.256	.453	1.000	.394	...	,296
	<b>PCUAV</b>	.503	-.100	.269	.147	.275	.408	.161	.394	1.000	...	,600
	<b>...</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	<b>UTIC</b>	.267	-,057	,200	,079	,196	,284	,261	,296	,600	...	1.000

<sup>a</sup> Esta matriz no es definida positiva.

Antes de determinar el número de factores a extraer, es necesario verificar la communalidad, es decir la comprobación de que las variables quedan muy bien explicadas a través de los componentes extraídos, para ello los valores deberán ser lo más cercanos a la unidad, tal como se muestra en la tabla 3.

<sup>2</sup> KMO corresponde a la medida de la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.

Escala Nivel de importancia.			Escala Grado de preparación.		
Variables	Inicial	Extracción	Variables	Inicial	Extracción
<b>PFD</b>	1.000	.723	<b>PFD</b>	1.000	.803
<b>EAPC</b>	1.000	.891	<b>EAPC</b>	1.000	.813
<b>TD</b>	1.000	.765	<b>TD</b>	1.000	.756
<b>AC</b>	1.000	.829	<b>AC</b>	1.000	.740
<b>PD</b>	1.000	.902	<b>PD</b>	1.000	.853
<b>HA</b>	1.000	.845	<b>HA</b>	1.000	.876
<b>D</b>	1.000	.812	<b>D</b>	1.000	.835
<b>DSP</b>	1.000	.836	<b>DSP</b>	1.000	.731
<b>PCUAV</b>	1.000	.806	<b>PCUAV</b>	1.000	.770
<b>EGD</b>	1.000	.878	<b>EGD</b>	1.000	.777
<b>PMRD</b>	1.000	.771	<b>PMRD</b>	1.000	.773
<b>RCDA</b>	1.000	.905	<b>RCDA</b>	1.000	.855
...	...	...	...	...	...

<sup>a</sup>Método de extracción: análisis de componentes principales

Tabla 3 - Matriz de Correlaciones<sup>a</sup> \_Grado de preparación

	PFD	EAPC	TD	AC	PD	HA	D	DSP	PCUAV	...	UTIC
<b>Correlación</b>	<b>PFD</b>	1,000	,658	,394	,283	,255	,418	,600	,410	,523	.. ,489
	<b>EAPC</b>	,658	1,000	,337	,323	-,026	,332	,565	,399	,405	... ,317
	<b>TD</b>	,394	,337	1,000	-,031	,039	,207	,137	-,073	,091	... ,338
	<b>AC</b>	,283	,323	-,031	1,000	,381	,154	,427	,310	,444	... ,308
	<b>PD</b>	,255	-,026	,039	,381	1,000	,196	,312	,460	,407	... ,318
	<b>HA</b>	,418	,332	,207	,154	,196	1,000	,522	,271	,508	... ,322
	<b>D</b>	,600	,565	,137	,427	,312	,522	1,000	,495	,729	... ,537
	<b>DSP</b>	,410	,399	-,073	,310	,460	,271	,495	1,000	,548	... ,363
	<b>PCUAV</b>	,523	,405	,091	,444	,407	,508	,729	,548	1,000	... ,591
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	<b>UTIC</b>	,489	,317	,338	,308	,318	,322	,537	,363	,591	... 1,000

<sup>a</sup> Esta matriz no es definida positiva

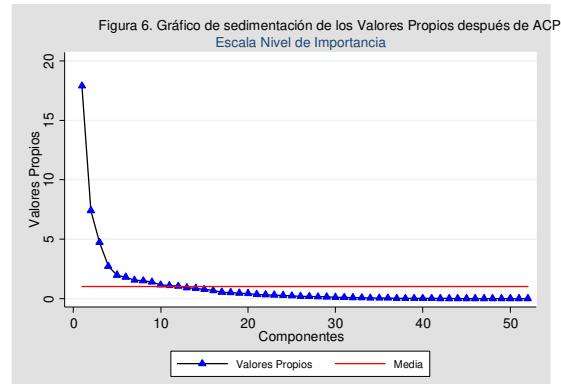
Tabla 4 – Comunalidades<sup>a</sup>

Mediante la tabla de la varianza total explicada se puede comprobar el porcentaje de varianza que revela cada componente, además de especificar cuántos y cuáles son los componentes que han sido extraídos; cuando la varianza alcanza un porcentaje acumulado alto, normalmente cerca del 80%, significa que el número de factores es suficiente. Si se considera el criterio de Kaiser, se puede conservar los componentes principales cuyos valores propios son mayores a la unidad.

Esta realidad también se refleja en el análisis gráfico de sedimentación de los componentes, al apreciar las pendientes fuertes, éstas indican los componentes a ser retenidos; explicando de esta forma la clara ruptura entre la pronunciada pendiente de los factores más importantes y el descenso gradual de los restantes, los sedimentos.

**Tabla 5 - Varianza total explicada \_ Nivel de importancia**

Comp.	Valores Propios Iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la Varianza	% Acumulado	Total	% de la Varianza	% Acumulado
1	17.899	34.420	34.420	17.899	34.420	34.420
2	7.395	14.221	48.641	7.395	14.221	48.641
3	4.720	9.077	57.718	4.720	9.077	57.718
4	2.698	5.189	62.908	2.698	5.189	62.908
5	1.971	3.790	66.697	1.971	3.790	66.697
6	1.809	3.479	70.176	1.809	3.479	70.176
7	1.541	2.963	73.139	1.541	2.963	73.139
8	1.499	2.882	76.021	1.499	2.882	76.021
9	1.376	2.647	78.667	1.376	2.647	78.667
10	1.141	2.194	80.862	1.141	2.194	80.862
11	1.083	2.083	82.945	1.083	2.083	82.945
12	1.029	1.979	84.923	1.029	1.979	84.923
13	.904	1.738	86.661			
14	.848	1.631	88.292			
15	.759	1.459	89.751			
16	.675	1.298	91.049			
17	.542	1.042	92.092			
18	.517	.994	93.086			
19	.452	.870	93.956			
...	...	...	...			
52	.000	.000	100.000			

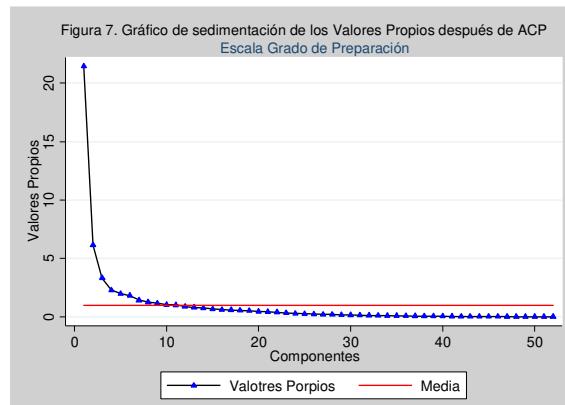


Método de extracción: Análisis de componentes principales.

En ese sentido, en las tablas 5 el modelo muestra que para la formación docente en su escala de nivel de importancia, el autovalor del componente doce es mayor a la unidad y presenta un porcentaje de varianza explicada acumulada de 84.92%.

**Tabla 6 – Varianza total explicada \_ Grado de preparación**

Com p.	Valores Propios Iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la Varianza	% Acumulado	Total	% de la Varianza	% Acumulado
1	21.446	41.242	41.242	21.446	41.242	41.242
2	6.127	11.783	53.025	6.127	11.783	53.025
3	3.314	6.373	59.398	3.314	6.373	59.398
4	2.277	4.378	63.777	2.277	4.378	63.777
5	1.972	3.792	67.569	1.972	3.792	67.569
6	1.817	3.494	71.062	1.817	3.494	71.062
7	1.415	2.721	73.783	1.415	2.721	73.783
8	1.235	2.375	76.158	1.235	2.375	76.158
9	1.150	2.212	78.370	1.150	2.212	78.370
10	1.028	1.976	80.346	1.028	1.976	80.346
11	1.003	1.928	82.274	1.003	1.928	82.274
12	.860	1.654	83.928			
13	.788	1.515	85.443			
14	.739	1.422	86.864			
15	.654	1.258	88.122			
16	.600	1.153	89.275			
17	.582	1.120	90.395			
18	.542	1.042	91.437			
...	...	...	...			
52	8.589E-18	1.652E-17	100.000			



Método de extracción: Análisis de componentes principales.

En cuanto a la escala de grado de preparación, considerando la tabla 6, es a partir del componente 12 que el autovalor comienza a ser inferior a uno, es decir que los 11 primeros componentes revelan el 82.27% de la varianza explicada acumulada. Por lo tanto se afirma que estos valores son lo suficientemente altos para estimar que los factores señalados, 12 y 11 respectivamente, son los que más influyen en la formación docente del departamento de economía de la Universidad Técnica Particular de Loja.

La matriz de carga y saturación factorial que se detalla en las tablas 7 y 8 indica la carga de cada una de las 52 variables en cada factor de los 12 y 11 componentes correspondientes a nivel de importancia y grado de preparación, de modo que los factores con pesos factoriales más elevados en valores absolutos muestran una relación más estrecha con las variables.

Tabla 7 - Matriz de Componentes<sup>a</sup> Escala Nivel de importancia

Variables	Componentes											
	1 Innovación docente - uso de TICS	2 Estrategias didáctica s	3 Docencia efectiva	4 Labor tutori al	5 Estrategia s de aprendizaje	6	7	8	9	10	11	12
1 PFD	,440	,192	,523	,254	,122	,159	,109	,107	-,022	-,106	-,126	,252
2 EAPC	,081	,650	-,296	-,114	,327	,189	,206	,250	-,010	,134	-,124	-,284
3 TD	,202	,076	,247	,546	,347	,116	-,305	,043	,068	,096	,338	,049
4 AC	,166	,066	,536	-,213	,238	-,053	,181	,339	,458	-,081	,055	,196
5 PD	,302	,253	,462	,051	,165	-,571	-,082	,072	-,305	,117	,123	,210
6 HA	,380	,114	,634	,156	-,063	-,122	,159	,157	,059	,077	-,204	-,377
7 D	,296	,319	,396	,471	-,317	-,140	,102	,157	,033	,234	-,119	-,137
8 DSP	,419	,559	,199	,029	,092	-,200	,267	-,120	-,326	,070	-,090	,233
9 PCUAV	,664	-,051	,365	,043	,090	,107	,082	-,304	-,131	-,267	,135	-,057
10 EGD	,313	,278	,301	-,420	,281	,478	-,103	,261	-,079	,162	,065	,116
11 PMRD	,413	,193	,516	,101	,163	,120	,170	-,027	,268	-,316	,191	,096
12 RCDA	,239	,708	-,179	,226	-,158	,206	,254	-,101	-,090	,209	,261	-,037
13 LMP	,129	,826	-,134	-,094	,117	-,223	-,144	-,035	-,006	-,217	,033	-,011
14 APP	,236	,615	,174	-,449	,300	-,342	-,054	-,005	-,024	,023	,007	-,046
15 ABP	,239	,436	,293	-,062	-,510	,131	,469	-,069	,227	,000	,097	,034
16 ARC	,361	,441	,348	-,111	-,521	,087	,364	-,064	,111	-,084	-,020	,049
17 APC	,512	,065	,521	-,143	-,035	,063	,259	-,404	,048	-,073	,263	-,110
18 ASR	,228	,806	-,140	-,149	-,098	,157	,074	,165	,090	-,068	-,020	,123
19 DMA	,356	,143	,249	-,539	,015	,209	,333	-,078	,041	-,054	-,186	,111
20 RCP	,237	,758	-,123	,272	-,148	,232	,117	,044	,033	,143	,196	-,150
21 MEA	,142	,872	-,244	,124	-,096	-,137	,019	,007	-,092	-,039	-,078	,112
22 MLA	,078	,866	-,270	,096	-,018	-,142	-,056	,088	,025	-,005	-,039	-,007
23 DEMP	,405	,626	-,391	,129	,003	-,198	-,067	,198	,229	-,053	-,059	,155
24 DEMAD	,526	,202	-,570	-,106	,380	,130	-,013	,114	,179	,096	,046	-,227
25 EC	,493	-,171	,370	,271	-,195	,066	-,150	,223	,315	,051	-,176	,083
26 EH	,848	-,139	,147	-,035	-,001	,056	-,152	,072	,086	-,002	-,185	,107
27 EA	,805	-,028	,215	,103	,070	,004	-,197	,066	-,019	-,104	,020	-,075
28 EP	,650	,332	,027	-,310	-,008	,329	-,079	-,169	-,023	,151	-,065	,268
29 ET	,609	,176	-,381	-,289	-,037	,361	,038	-,011	-,285	-,148	-,222	,055
30 EMD	,657	-,086	,078	-,343	,047	-,014	-,029	-,305	,186	,381	-,031	,113
31 ECA	,807	-,111	-,233	,065	-,027	-,129	,024	-,155	,046	,045	,255	-,037
32 ETE	,557	,513	-,334	-,114	,104	-,220	-,163	-,138	-,041	-,281	-,015	-,019
33 EPD	,803	-,153	,099	,024	,169	-,135	-,319	-,095	,075	,002	-,170	,102
34 DPA	,826	-,109	,188	,211	,103	-,062	-,219	-,029	-,126	,022	-,094	-,199
35 MPT	,680	-,230	-,295	,005	-,125	-,172	,194	,090	,013	-,093	,139	,213
36 MHC	,779	-,222	-,193	,107	-,023	-,198	,115	,260	-,019	-,032	-,112	,022
37 MP	,772	-,177	,392	,137	-,017	-,143	,042	,043	,152	-,002	-,211	,145
38 MBD	,626	-,146	-,081	,199	-,023	,224	-,178	,386	-,383	-,048	-,106	,110
39 MAP	,642	-,171	,126	-,389	-,272	,054	,068	,412	-,134	-,177	-,002	,027
40 MCE	,700	-,301	-,447	-,038	-,073	-,109	,024	-,164	,015	,014	-,099	,030
41 NBW	,691	-,230	-,141	,338	,294	,078	-,257	-,053	-,189	-,032	,064	-,089
42 EBE	,730	-,129	,261	-,146	,097	,052	-,113	,044	-,159	,388	,048	,064
43 LDC	,747	-,144	,166	-,320	-,299	-,147	,080	,086	-,150	,153	-,011	-,107
44 MMIC	,727	-,189	-,163	,177	-,124	,207	,026	-,094	-,205	-,103	,094	,085
45 MSCG	,867	-,132	,155	-,049	,027	-,072	-,005	-,013	-,008	-,051	,167	-,123
46 EGMR	,652	-,109	,138	-,231	-,154	,017	,133	,215	-,086	-,290	,268	-,291
47 MSI	,845	-,069	-,130	,181	-,087	-,038	,094	-,175	-,023	-,012	,004	-,005
48 MHE	,777	-,285	-,335	-,008	,111	,100	,068	-,085	,101	-,125	,096	,021
49 MBV	,861	-,237	,018	-,255	,019	-,097	,130	,017	,216	,048	,056	,000
50 MBE	,813	-,209	-,119	,045	,080	,076	,148	-,026	,218	,087	,057	,130
51 MMB	,556	-,153	-,214	-,078	-,333	-,160	,201	,096	-,042	,196	,321	,006
52 UTIC	,867	-,177	-,037	,065	,132	-,045	-,013	-,162	,078	,101	-,086	-,101

Método de extracción: Análisis de componentes principales

<sup>a</sup>12 componentes extraídos

**Serie Estudios Cuantitativos aplicados. Tomo I**

**Tabla 8 - Matriz de Componentes<sup>a</sup> Escala Grado de preparación**

Variables	Componentes										
	1 Evaluación continua	2 Estrategias didácticas	3 Docencia Efectiva	4 Innovación Docente- uso de TICS	5	6	7	8	9	10	11
1 PFD	,666	,315	,059	,048	,407	-,070	,060	-,131	-,111	-,174	,144
2 EAPC	,491	,550	,039	-,105	,452	-,030	-,162	,084	-,063	-,113	,034
3 TD	,280	,011	,315	,081	,485	-,123	,432	-,308	,079	,105	-,154
4 AC	,448	-,002	-,444	-,255	,238	,293	-,193	,149	-,178	,209	-,005
5 PD	,502	-,192	-,239	-,205	-,215	,253	,466	,103	-,189	-,059	,297
6 HA	,493	,151	-,368	,158	,101	-,346	,102	-,119	,509	-,052	,181
7 D	,773	,134	,065	-,215	,119	,085	-,216	-,141	,112	-,003	,262
8 DSP	,579	,258	-,231	-,118	,366	,060	-,087	-,033	-,220	-,173	,192
9 PCUAV	,787	-,065	-,188	-,156	-,050	-,234	-,108	,023	,012	-,100	,087
10 EGD	,466	,202	-,511	,109	,259	-,056	,237	,327	-,022	,037	-,105
11 PMRD	,600	,276	,010	-,116	,265	,122	,103	,193	,058	,199	-,383
12 RCDA	,451	,600	,227	,165	-,069	-,032	-,446	,022	-,019	,062	,060
13 LMP	,511	,697	,089	,132	-,213	,150	,203	,030	,031	-,016	,065
14 APP	,536	,512	-,290	-,019	-,187	,201	,286	,144	,125	-,068	-,112
15 ABP	,704	,366	-,283	,083	,024	,028	-,049	-,188	,218	,146	-,024
16 ARC	,680	,332	-,322	,088	-,055	,005	-,083	-,287	,104	,085	-,183
17 APC	,650	,080	-,402	,130	-,174	-,262	-,048	,143	,037	-,119	-,266
18 ASR	,676	,481	,180	,147	-,048	-,189	-,052	,003	-,057	-,016	-,099
19 DMA	,490	,097	,214	-,169	,167	-,600	,137	,221	-,076	,089	,123
20 RCP	,528	,605	,233	,080	-,024	-,149	-,312	-,096	-,101	,191	-,058
21 MEA	,535	,716	,197	-,008	-,223	,068	,098	,016	-,034	-,084	,077
22 MLA	,466	,744	,234	-,003	-,177	,086	,236	,015	,043	-,067	-,014
23 DEMP	,667	,353	,326	-,139	-,097	,316	,170	-,068	-,001	,056	-,088
24 DEMAD	,705	,077	,055	-,330	,386	,115	,003	,237	-,102	,092	,122
25 EC	,676	-,207	,222	-,239	,207	,136	-,083	-,171	,164	-,155	-,001
26 EH	,712	-,194	-,098	-,303	-,001	,052	,006	-,372	,020	,018	-,131
27 EA	,675	-,173	-,060	-,449	-,146	-,074	-,043	-,342	-,032	,080	,022
28 EP	,730	-,020	-,271	,016	-,020	,177	-,200	-,026	-,254	-,097	-,135
29 ET	,799	,009	-,070	-,158	-,095	,026	-,220	,240	,151	-,217	-,157
30 EMD	,664	-,099	-,367	-,218	,178	,174	-,065	,051	,095	-,092	,029
31 ECA	,804	,115	,314	,005	-,084	-,106	-,065	,059	-,015	,091	,110
32 ETE	,689	,356	,359	-,078	-,266	,106	,147	-,013	,019	-,007	,085
33 EPD	,768	-,210	-,127	-,311	-,001	-,007	,049	-,268	-,154	,023	,048
34 DPA	,796	-,158	-,151	-,033	-,069	-,257	,092	,075	-,068	,051	,069
35 MPT	,476	-,370	,361	,232	-,078	,371	-,089	-,048	,074	,096	,054
36 MHC	,618	-,379	,339	-,022	-,136	,180	-,056	,074	,174	,273	-,152
37 MP	,671	-,306	,352	-,073	,055	,212	-,047	,230	,165	,046	-,013
38 MBD	,689	-,351	-,001	-,078	-,229	-,128	-,044	,173	-,013	,309	-,003
39 MAP	,661	-,296	-,227	,276	,011	,203	,005	,072	,310	,193	,145
40 MCE	,520	-,545	,225	-,278	-,004	,172	-,055	,077	,202	-,267	-,002
41 NBW	,571	-,431	,222	-,271	-,127	-,330	,212	-,025	-,087	,240	,027
42 EBE	,715	-,363	-,283	,120	-,166	-,141	,020	,018	-,239	,035	-,126
43 LDC	,670	-,366	-,277	,365	-,140	,085	-,078	-,075	,061	-,053	,095
44 MMIC	,538	-,341	,410	,017	-,235	-,318	-,077	,163	,111	-,229	-,069
45 MSCG	,711	-,365	,054	,328	-,144	-,081	,151	-,109	-,052	-,103	-,150
46 EGMR	,731	-,235	-,260	,305	,023	-,003	,065	,029	,094	,099	,202
47 MSI	,795	-,251	,065	,057	-,068	-,109	-,031	,068	-,120	,098	-,098
48 MHE	,652	-,327	,325	,011	,243	,006	,021	,134	,035	-,318	,020
49 MBV	,750	-,216	,006	-,418	,226	,083	,061	-,094	-,153	-,154	-,003
50 MBE	,657	-,251	,129	,392	,168	,124	,020	-,094	-,367	-,042	-,043
51 MMB	,649	-,074	,224	-,490	,159	,066	-,079	,063	-,076	,154	,298
52 UTIC	,774	-,212	,092	,114	,024	-,055	,037	-,070	-,038	-,179	-,232

Método de extracción: Análisis de componentes principales

<sup>a</sup>11 componentes extraídos

Considerando que cuanto mayor sea el valor absoluto del coeficiente, mas importante será la variable correspondiente en el cálculo del componente, y tomando en cuenta el criterio de los investigadores se determina que para la escala de nivel de importancia que inicialmente obtuvo 12 componentes principales, son los cinco primeros son los que más influyen en la formación docente. Mientras que en la escala grado de preparación de los once componentes principales iniciales, la formación docente está influenciada por los primeros 4 componentes.

A continuación se muestran las etiquetas de los componentes (variables ficticias) que los investigadores crearon, considerando el peso de los factores en las variables para cada componente, tal como se describió en el enunciado anterior.

De esta manera en la tabla 9, los componentes que corresponden a la escala de nivel de importancia son:

*Primer componente principal*, presenta asociaciones grandes con manejo de sistemas de colaboración de grupo en línea (Google drive, Dropbox, otros), utilización de las TICS disponibles en la UTPL en la preparación y desarrollo de sus clases, manejo de bibliotecas virtuales, evaluación por habilidades y manejo y sistematización de información digital; así que este componente mide principalmente la **innovación docente-uso de TICS**.

*Segundo componente principal*, tiene asociaciones grandes con manejar grupos de estudiantes en el aula, mantener liderazgo en el aula, lección magistral participativa, aplicar sistemas de retroalimentación en el aula, de este modo el componente mide principalmente las **estrategias didácticas del docente**.

*Tercer componente principal*, posee asociaciones grandes con habilidades motivacionales y personales, diseño y elaboración de evaluaciones (modalidad abierta), actualizar conocimientos de sus asignaturas y planificar la función docente bajo el modelo académico UPL- ECTS, por lo tanto este componente mide principalmente la **docencia efectiva**.

*Cuarto componente principal*, muestra asociaciones grandes con tutoría docente (dirigir, monitorear, evaluar trabajos del estudiante, otros), docencia bajo modalidad abierta (actividades síncronas y asíncronas) y diagnosticar estilos de aprendizaje en el aula, es así que este componente mide principalmente la **labor tutorial**.

*Quinto componente principal*, define asociaciones grandes con aprendizaje por estudios de caso y aprendizaje basado en problemas, de este modo el componente mide principalmente las **estrategias de aprendizaje**.

**Tabla 9 - Componentes principales identificados para escala Nivel de Importancia**

<i>Innovación docente- uso de TICS</i>		<i>Estrategias didácticas</i>		<i>Docencia efectiva</i>		<i>Labor tutorial</i>		<i>Estrategias de aprendizaje</i>	
<i>Comp.1</i>		<i>Comp.2</i>		<i>Comp. 3</i>		<i>Comp.4</i>		<i>Comp.5</i>	
<i>EH</i>	,848	<i>LMP</i>	,826	<i>PFD</i>	,523	<i>TD</i>	,546	<i>ABP</i>	-,510
<i>MSCG</i>	,867	<i>ASR</i>	,806	<i>AC</i>	,536	<i>D</i>	,471	<i>ARC</i>	-,521
<i>MSI</i>	,845	<i>MEA</i>	,872	<i>HA</i>	,634	<i>DMA</i>	,539		
<i>MBV</i>	,861	<i>MLA</i>	,866	<i>DEMAD</i>	-,570				
<i>UTIC</i>	,867								

*Nota: Elaboración propia*

Mientras que los componentes de la escala de grado de preparación se especifican en la tabla 10 y se detallan a continuación:

*Primer componente principal*, despliega asociaciones grandes con evaluación continua a los alumnos, evaluación de trabajos de fin de titulación y desarrollo de procesos de autoevaluación; es así que este componente mide principalmente la **evaluación continua**.

*Segundo componente principal*, posee asociaciones grandes con mantener liderazgo en el aula, manejo de grupos de estudiantes en el aula y mantener liderazgo en el aula, por lo que el componente mide principalmente las estrategias **didácticas del docente**.

*Tercer componente principal*, tiene asociaciones grandes con elaboración de guías didácticas y manejo de mensajería instantánea y chat, es así que este componente mide principalmente los **recursos educativos**.

*Cuarto componente principal*, asume asociaciones grandes con utilización de las TICS disponibles en la UTPL en la preparación y desarrollo de sus clases, evaluación por actitudes y manejo de bibliotecas virtuales, por lo tanto este componente mide principalmente la **innovación docente-uso de TICS**.

**Tabla 10 - Componentes principales identificados para escala Grado de preparación**

<i>Evaluación continua</i>		<i>Estrategias didácticas</i>		<i>Recursos educativos</i>		<i>Innovación Docente- uso de TICS</i>	
<i>Comp. 1</i>		<i>Comp. 2</i>		<i>Comp. 3</i>		<i>Comp. 4</i>	
<i>ET</i>	,799	<i>LMP</i>	,697	<i>EGD</i>	-,511	<i>EA</i>	-,449
<i>ECA</i>	,804	<i>MEA</i>	,716	<i>MMIC</i>	,410	<i>MBV</i>	,418
<i>DPA</i>	,796	<i>MLA</i>	,744			<i>UTIC</i>	,490

*Nota: Elaboración propia*

## 6. PRIORIZACIÓN DE LAS NECESIDADES DE FORMACIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta y al análisis respectivo de los datos, es momento de priorizar las necesidades de formación expresadas por los docentes, proceso necesario para construir ulteriores planes de formación para el Departamento de Economía. A los efectos de este estudio es importante la priorización; sin embargo, quedan expuestas todas aquellas necesidades que los docentes pusieron de manifiesto, al objeto de ser consideradas por la institución y así se puedan adoptar futuras acciones.

### Necesidades normativas

- Adquirir herramientas que le garanticen al docente su autoformación profesional.
- Promover la búsqueda de la información y el conocimiento, el desarrollo de habilidades y competencias para el desempeño profesional, a través de diversas fuentes.
- Implementar diversas metodologías de formación y evaluación que faciliten el aprendizaje autónomo y colaborativo.
- Establecer en los estudiantes un aprendizaje activo, productivo, creativo, comprensivo, crítico y reflexivo.
- Desarrollar competencias en los estudiantes que les garanticen su autoformación profesional, mediante el uso de nuevas tecnologías.
- Formar a los estudiantes integralmente, en donde se aúnen las dimensiones científico-técnicas de alta calidad, con las humanísticas, éticas y espirituales, a través de una docencia pertinente y de alto nivel.
- Valorar acertadamente la carga de trabajo del estudiante para lograr los objetivos del programa académico, que se especifican en los indicadores y resultados de aprendizaje y en las competencias adquiridas.

Necesidades expresadas priorizadas

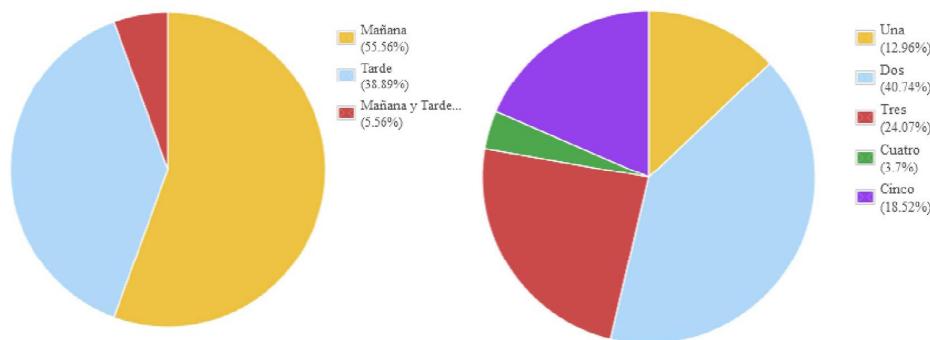
**Tabla 11 - Necesidades de formación expresadas como competencias**

Componente Evaluado	Necesidad de formación expresada como competencia
Manejo de las TICs	Utilizar correctamente las bibliotecas virtuales
Evaluación por competencias (Sistema de Evaluación)	Evaluar prácticas pre profesionales (Practicum)
Diseño y Desarrollo curricular (Planificación)	Diagnosticar estilos de aprendizaje en el aula
Diseño y Desarrollo curricular (Metodología)	Diseñar actividades de aprendizaje a través del método de estudios de caso

*Nota: Elaboración propia*

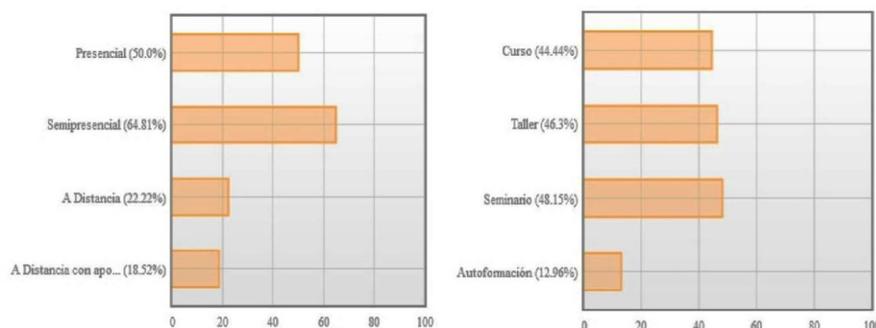
Identificadas y priorizadas las necesidades de formación de los docentes del Departamento de Economía, se deben de considerar algunos aspectos presentados en el cuestionario de Modelos de Formación.

Así, se observa en la Figura 8 que en cuanto a la disponibilidad de tiempo del personal docente para asistir a cursos de preparación o reforzamiento o a un seminario taller, el 55,56% elige la jornada de la mañana para asistir a un curso y un 40,74% cree que se deberían impartir en un lapso de dos sesiones por semana.



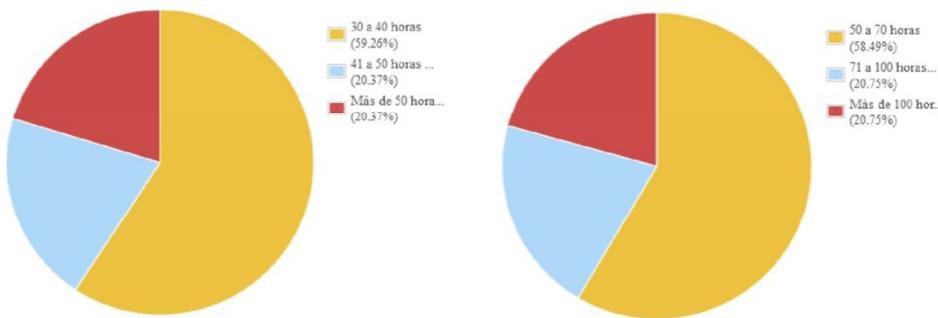
**Figura 8 - Horarios preferidos y cantidad de sesiones por semana para cursos de formación.**

Así mismo, en la Figura 9, se aprecia la preferencia del 64,81% de los encuestados por asistir a cursos, cuya modalidad de estudios sea semipresencial, a través de un Seminario (48,15%) o de un Taller (46,3%).



**Figura 9 – Modalidad de estudios**

Para estos cursos, el 59,26% de los encuestados expone su preferencia por itinerarios cortos, de entre 30 a 40 horas presenciales, y un 58,49% prefiere de 50 a 70 horas presenciales.



**Figura 10 – Duración de cursos a distancia (izq) y Duración de cursos presenciales (der)**

Tanto las necesidades de formación expresadas por los docentes y priorizadas en este estudio, como los modelos de formación, deben ser considerados por la Universidad para futuros planes de formación institucionales, con el fin de aportar en la optimización, innovación y formación continua del equipo docente.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

Será necesario, como lo señala la ANUIES <sup>[13]</sup>, construir un sistema de educación superior de cooperación intensa que propicie la movilidad de académicos y estudiantes, y la innovación permanente de los procesos educativos. La universidad deberá crear ambientes favorables para lograr una docencia que le permita atender los cambios, cada vez más comprometidos, con una nueva e innovadora visión del mundo. La innovación implica no sólo reorientar el contenido del conocimiento, facilitando su adquisición y comprensión, que es lo que le da verdadero sentido <sup>[14]</sup>, sino también otorgar una nueva orientación a lo que se aprende y con ello dé su valor social.

En una propuesta de formación del docente universitario ha de considerarse, sin duda alguna, la participación del mismo docente, en todas las fases del proceso de planificación, pues así se generarán mejores resultados ante cambios y una menor resistencia a los mismos

El diagnóstico de necesidades de formación cabe ser considerado como un trabajo continuo, en el cual se identifican y analizan las necesidades de formación que el docente requiere para mejorar sus competencias. Contar con un equipo de docentes bien formado, responderá a la demanda actual de la sociedad, y con ello mejorar la calidad educativa de la docencia y promover el desarrollo integral de los estudiantes.

La universidad vanguardista tiene que invertir, tanto en los procesos de formación inicial como en los procesos de formación continua de los docentes, implementando programas sistemáticos de capacitación en didáctica universitaria, a través de la conformación de grupos de estudio y de investigación del cual participen los estudiantes y docentes.

Impulsar y desarrollar esfuerzos interinstitucionales e intersectoriales para la puesta en marcha de iniciativas que posibiliten la formación de recursos humanos y la implementación de recursos y espacios adecuados para atender las necesidades educativas de estudiantes con capacidades especiales.

Vale la pena definir con precisión las competencias genéricas y específicas de formación que el docente investigador de la UTPL debe poseer, ya que así se podrán identificar los aspectos fuertes y débiles que posee, convirtiéndose estos últimos en el indicativo para generar futuros planes de formación que responden a necesidades reales.

Generar y promover espacios idóneos para el intercambio de experiencias didácticas de los docentes, y en un ambiente de confianza entre pares, su experiencia compartida les permitirá aprender y mejorar su práctica docente.

El aprendizaje continuo de los docentes ha de ser considerado como un derecho, para ello, se pueden generar las condiciones necesarias para que se vuelvan realidad las oportunidades de formación continua.

Los planes docentes de cada componente académico tienen que ser revisados al inicio y al final del ciclo académico para, de este modo, conocer si existe o no congruencia entre los métodos didácticos, las tareas académicas y los modelos de evaluación desarrollados. Es otra alternativa de identificar posibles problemas que ameriten una especial atención y formación.

Contar con un compendio de experiencias exitosas de prácticas docentes servirá como soporte y motivación para desarrollar una mejora continua en la formación del profesorado.

Los docentes de universidades de educación superior necesitan estar debidamente capacitados en las TICs, debe saber cómo utilizarlas y emplearlas en el aprendizaje de los estudiantes. Esta aptitud formaría parte de una competencia básica que ha de poseer el docente. Los recursos educativos digitales y abiertos (REA), los instrumentos sofisticados de recolección y análisis de datos, las simulaciones interactivas, entre otros, son recursos que posibilitan a los docentes brindarles a los estudiantes medios eficaces que les permitan asimilar oportunamente los conocimientos.

**AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:** Francisco Valarezo Orejuela, Santiago Ochoa Moreno, Gabriela Costa García y al Equipo de docentes del departamento de economía.

## REFERENCIAS

- [1] Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, CEAACES (2010): Ley Orgánica de Educación Superior de Ecuador. Registro Oficial.
- [2] Acosta, S. (2013): Oferta académica UTPL-ECTS del periodo académico Septiembre 2012-Febrero 2013. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [3] Beltrán, R. (2007): Sistema de créditos académicos UTPL-ECTS. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [4] UNESCO (2007): Declaración de Ahmedabad. Cuarta Conferencia Internacional sobre Educación Ambiental.
- [5] Villa, A. (1987): Perspectivas y problemas de la función docente, España.
- [6] Fromm, E. (1982): El miedo a la libertad.
- [7] Ramsden, P. (1992): Learning to teach in higher education.
- [8] Iurcovich, P. y A. del Carril (2006): Reflexión Académica en Diseño y Comunicación (Vol. 5).
- [9] Tamayo, L. y Peñaloza, L. (2009): La formación docente, una necesidad para la creación de ambientes educativos de calidad en la enseñanza turística, Mexico.
- [10] UTPL (2001): Plan estratégico de desarrollo institucional 2011-2020.
- [11] SENPLADES (2012): Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, Ecuador.
- [12] Bernal, J-J., S. M. Martínez y J. F. Sánchez (2003): Modelización de los factores más importantes que caracterizan un sitio en la red. XII Jornadas de ASEPUA.
- [13] ANUIES. (2000): La educación superior en el siglo XXI, líneas estratégicas de desarrollo. Una propuesta de la ANUIES.
- [14] Carbonell, J. (2001): La aventura de innovar. El cambio en la escuela, España.

## Capítulo 5

pp 61-72

### MODELOS PROBABILÍSTICOS PARA CARACTERIZAR LA LLUVIA TOTAL MÁXIMA EN 24 HORAS

Pedro Roura-Pérez<sup>1</sup>, Vivian Sistachs-Vega<sup>2</sup> y Raimundo Vega-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: pedro.roura@insmet.cu

<sup>2</sup> Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana, Cuba.

#### RESUMEN

El estudio de 106 años de observaciones de lluvia máxima total en 24 horas de la serie anual, de la temporada lluviosa y temporada poco lluviosa en la estación meteorológica de Casablanca, se desarrolló con el objetivo de caracterizar a través de modelos probabilísticos diferentes series de lluvia total máxima en 24 horas. Se obtuvo la metodología para desarrollar el análisis y caracterización de la lluvia total máxima en 24 horas. El método de variable reducida fue utilizado para la obtención del mejor modelo teórico de ajuste a los datos de lluvia total máxima en 24 horas con probabilidades prefijadas teniendo en cuenta los estimados de la variable para períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Para el control de la calidad del dato y la homogeneización se analizaron los fenómenos meteorológicos que generaron lluvia total máxima en 24 horas y se realizó el análisis de regresión para estudios de residuos y las pruebas de Spearman, Levene y t de Student. El modelo de Frechet fue el más representativo en el ajuste de los datos en el período anual y en el período de la temporada lluviosa, así como el modelo Log-Normal en el período poco lluvioso, permitiendo dar estimados más cercanos a la realidad y brindando un mayor conocimiento del régimen de esta variable. Se observó que en la serie anual y el período lluvioso la causa predominante son las tormentas locales severas, mientras que en el período poco lluvioso son los sistemas frontales.

**Palabras Clave:** Distribución de probabilidad, distribución de valores extremos, homogenización, Modelo Frechet, Modelo Log-Normal.

#### ABSTRACT

We develop a study on 106 years of observations on the annual series of total maximum rain on 24 hours, on the dry and rainy seasons of the meteorological station of Casablanca. This study was developed with the goal to characterize through probabilistic models different series of maximum total rain observed on 24 hours. It was obtained a methodology to analyze and characterize total maximum rain in 24 hours. The reduced variable method was used to obtain the best theoretical model of data fitting of the maximum total rain observed on 24 hours with prefixed probabilities taking into account the estimated values of 10, 20, 50, y 100 years of the return period variable. To perform data quality control and homogenization there were analyzed the meteorological phenomena that generated the total maximum rain in 24 hours and a regression analysis was performed as well as the Spearman, Levene and t-Student tests to study the residues. Frechet model was the most representative on data fitting on the annual period and on the rainy season; meanwhile the Log-Normal model was the most representative on the dry season. Allowing us to estimate values closer to reality and providing a greater knowledge of this variable regime. It was observed that on the annual series and in the rainy season the predominant cause for rain are the local and severe storms, meanwhile on the dry season are the frontal systems.

**Keywords:** Probability distribution, extreme value distribution, homogenization, Frechet Model, Log-Normal Model.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio está basado en 106 años de observaciones en la estación meteorológica de Casablanca, antiguamente Observatorio Nacional de Cuba. Históricamente, los primeros datos recogidos de totales de lluvia son los del Observatorio del Colegio de Belén en La Habana Vieja desde marzo de 1858 hasta diciembre de 1925 cuando fue desactivada, pasando a un emplazamiento en el antiguo municipio de Marianao con datos desde 1926 hasta 1962 (falta el libro de observaciones de 1961). Una característica importante de la lluvia es su carácter local, por ejemplo, durante el famoso huracán del 26 se totalizó 510.0 milímetros en 24 horas en Casablanca mientras que en el Observatorio de Belén en Marianao la lluvia total máxima en 24 horas alcanzó solo 167.5 mm, Ortiz (1977).

Es necesario conocer las principales características del régimen de la lluvia total máxima acumulada en 24 horas que puede provocar inundaciones pluviales notables debido a algún evento extremo. También, en la esfera de la construcción de obras que requieren cierto margen de seguridad y para la elaboración de medidas relacionadas con afectaciones socio-económicas y de protección a la población es útil conocer estas características.

La lluvia total máxima en 24 horas se totaliza desde las 7:00 am del día x hasta las 7:00 am del día x+1. Usando la información diaria de los estados generales del tiempo y de otros tipos de información meteorológica se determinan las causas asociadas a los valores extremos de la lluvia total máxima en 24 horas. Estas pueden agruparse en: tormentas locales, organismos ciclónicos tropicales y subtropicales, sistemas frontales, brisotes sucios por altas presiones y fenómenos complejos como la acción de altas presiones con sistemas frontales y de organismos ciclónicos tropicales con sistemas frontales. Referido a estos radica el análisis estadístico climatológico de los valores de la lluvia total máxima en 24 horas para las series consideradas.

Los análisis estadísticos se basarán en la caracterización de la variable lluvia total máxima en 24 horas utilizando las leyes de probabilidad de variables extremas como Frechet, Gumbel y Log-Normal como sostiene Tabony (1983), Kotz y Nadarajah (2001), conjuntamente con las fórmulas empíricas de Cunnane, Beard, Hazen y Weibull según Cunnane (1978), por el método de la variable reducida obteniendo mediante la mayor correlación, los estimados (límites inferiores) de la lluvia total máxima en 24 horas que podemos esperar una vez cada 100 años (1%), una vez cada 50 años (2%), una vez cada 20 años (5%) y una vez cada 10 años (10%), que son valores de utilidad práctica para sus aplicaciones en las diferentes esferas de interés.

También resulta necesario analizar el control de la calidad y la homogenización de los datos. Caracterizar a través de modelos los diferentes períodos de lluvia total máxima en 24 horas para finalmente obtener una metodología con el objetivo de desarrollar los análisis y caracterización de esta variable meteorológica, donde un aspecto novedoso en el análisis sería utilizar el enfoque bayesiano.

La utilidad de estos estudios es de gran importancia para el Centro del Clima (CENCLIM) del Instituto de Meteorología (INSMET) por lo cual se ha priorizado esta temática dentro de sus objetivos de trabajo.

En este trabajo se brinda la fundamentación teórica de los aspectos esenciales de la lluvia total máxima en 24 horas, además del análisis crítico referente a las investigaciones que acogieron a esta variable.

La teoría de valores extremos es el área de la estadística dedicada a desarrollar modelos y técnicas para estimar el comportamiento de eventos inusuales o raros. Estos eventos raros son los que pertenecen a la cola de la distribución o que excede en magnitud un cierto umbral, pero también los podemos considerar como el máximo o mínimo de una variable en un cierto período, Katz, Parlange and Naveau (2002).

El problema de la teoría de valores extremos es un problema de extrapolación. La idea básica que conduce a tal extrapolación, es encontrar un buen modelo paramétrico para la cola de los datos, que genere el proceso y

que luego se pueda ajustar con las observaciones extremas. La extrapolación se obtiene entonces analizando el comportamiento del modelo más allá del rango de los datos observados.

Entre los modelos teóricos más usados para variables meteorológicas están: Exponencial, Frechet, Gumbel y Log-Normal para el máximo, Gandin y Goodrich para el mínimo y la Normal que se caracteriza por ser la menos usada de todas las funciones de probabilidad, debido a que la mayor parte de las variables son no negativas y tienden a ser asimétricas, mientras ésta varía a lo largo de un rango continuo  $[0, +\infty]$ , no obstante esta función establece que la suma de cada evento independiente como por ejemplo las lluvias diarias en una región y el volumen de escurrimiento diario de un río tienden a estar normalmente distribuida. Se muestra la información respecto a los procedimientos y metodologías utilizadas en el diseño de esta investigación.

### **1.1. Control de calidad y homogeneización de los datos. Principales causas que generan la lluvia total máxima en 24 horas**

El desarrollo de los servicios meteorológicos trae consigo un aumento apreciable del volumen de información a procesar, lo cual implica una necesidad creciente de la utilización de los datos meteorológicos. Para garantizar una calidad aceptable de los datos meteorológicos estos deben ser sometidos a un control de calidad conforme lo señalan las directrices de la OMM (2007), la guía práctica climatológica de la OMM (2005) y The Guide to Climatological Practices WMO (2011). Durante muchos años estos controles de calidad se han realizado con medios manuales de cálculo, método éste que permite la frecuente ocurrencia de errores humanos. En los últimos años se han realizado grandes esfuerzos en la obtención de métodos automáticos de control de calidad y como es de esperar presenta muchas ventajas tales como: la objetividad, uniformidad, el aumento de la rigurosidad del control y la eliminación de gran cantidad de personal y medios dedicados a esta tarea. El control de calidad de datos meteorológicos posee especificidades de acuerdo al nivel del dato, al elemento meteorológico y a las condiciones climáticas del lugar donde éste se aplica, sin contar que además existen variadas técnicas para el control de la calidad de datos meteorológicos las cuales se pueden dividir en grandes grupos como el chequeo elemental, abstracto, relativo y el físico-estadístico. Como técnicas específicas de control de calidad espacial aparecen los siguientes métodos: método de estaciones similares, método de regiones pequeñas, método matricial y la utilización de la Regresión Múltiple. Las primeras tres arrastran las dificultades anteriores y requieren gran trabajo previo de índole climatológico. La regresión múltiple puede resolver esas dificultades; no obstante, quedan algunas interrogantes como cuán importantes es el método de la obtención de la ecuación de regresión múltiple, así como el efecto que produce la existencia de un dato erróneo en la obtención de las ecuaciones.

Una serie climática se considera homogénea si se valora a su vez como una muestra de una población simple. La homogeneidad de un conjunto de observaciones experimentales es una propiedad vinculada a la precisión en el problema de la estimación del parámetro o parámetros poblacionales de la distribución teórica asociada a los datos, como fue demostrado en Hadeen & Guttman (1994) y Stípánek, Brázdil y Kveton (2000).

La homogeneización de series climáticas es un procedimiento que se lleva a cabo sobre las series de datos de variables meteorológicas para reducir estas a un conjunto de valores exclusivamente climáticos. Cuando hablemos de homogeneidad de una serie climatológica entenderemos, a la manera de Conrad y Pollack (1962), que nos referimos a homogeneidad relativa, esto es, en relación a las variaciones del elemento climático en la zona donde se ubica el observatorio, puesto que en este tipo de series no cabe esperar homogeneidad absoluta en sentido puramente estadístico (o dejarían de tener sentido los trabajos sobre el cambio climático).

El estudio de la homogeneidad de una serie implica por tanto la comparación de la misma con una serie de referencia. Para ello se podría emplear una serie próxima de reconocida calidad y homogeneidad pero, como a priori es muy aventurado hacer esas suposiciones, resulta más conveniente usar una serie artificial, combinando varias series reales, con objeto de diluir sus propias posibles inhomogeneidades. En cualquier caso, el trabajo de homogeneizar una base de datos climatológicos debería abordarse en varias etapas, filtrando primero únicamente los errores más grandes, y ajustando después progresivamente los umbrales de

rechazo para detectar los demás. De este modo evitaremos eliminar datos correctos que aparecían como erróneos por influencia de errores grandes en alguna estación vecina.

Una vez construida la serie de referencia, la comparación con el problema se puede realizar estudiando la serie de cocientes o diferencias entre ambas. Los cocientes presentan problemas cuando la serie divisora tiene valores nulos o próximos a cero, como sucede al aplicar el test de Alexandersson en su forma primitiva (ALEXANDERSSON, 1986), de modo que aquí se usarán las diferencias entre las series a comparar, como hacen otros autores, por ejemplo: (AGUILAR et al., 1999).

Las técnicas estadísticas capaces de indicar la homogeneidad o no de la serie se basan en pruebas de significación que pueden ser paramétricas o no. Para la confirmación de la hipótesis de homogeneidad de las series de lluvia se utilizan las dócimas de Wald-Wolfowitz (correlación serial) y de Spearman (tendencia), completándose el análisis con la dócima de Levene's para la igualdad de varianzas dependiendo a su vez de la F de Fisher y la t-Student para la igualdad de las medias como se observa en Sneyers (1990). En caso que la serie no sea homogénea, quedan dos preguntas importantes a realizarse, una referida a si puede la serie dividirse en otras dos respectivamente homogéneas susceptibles de ser utilizadas y en qué lugar de la serie debe hacerse esta división. Las respuestas a esas interrogantes se obtienen con la prueba de t-Student, capaz de señalar la no homogeneidad y el lugar de corte de la serie. Hemos visto que una sola prueba no es suficiente para resolver el problema general y que, por tanto, resulta justificado el empleo de varias pruebas. En la literatura existen otras pruebas como la basada en la ley Binomial, la de Mann, la de Kruskal-Wallis y la de Von Neuman, como demostró Sneyers (1975).

Esta serie de diferencias debe estar libre de las oscilaciones que el elemento climático estudiado haya podido sufrir en la zona de estudio, así como de las características de persistencia y estacionalidad propias de las series climatológicas. Por tanto, en el caso ideal, esta serie debería comportarse como un ruido blanco, pudiendo considerar como inhomogeneidad a cualquier anomalía que se aparte del mismo. Estas anomalías pueden agruparse en tres tipos:

1. Errores aislados, debidos a errores de lectura o transcripción por el hombre, o a errores puntuales en el sensor (en el caso de estaciones automáticas que en este estudio no se utilizaron). Se pueden detectar como datos anómalos aislados (outliers en la terminología inglesa).
2. Saltos en las series, atribuibles a cambios de instrumentación o de las condiciones de instalación de los aparatos. Se pueden detectar por cambios en los promedios anteriores y posteriores a los saltos (mediante pruebas de la t, con el método de Alexandersson).
3. Derivas graduales en las series, debidas a cambios progresivos en la respuesta de los sensores (descalibración) o en el entorno (crecimiento urbano, cambios en el entorno de la estación como el uso del suelo, reubicación de la estación, etc.). Detectables mediante análisis de tendencias o de desviaciones acumuladas.

La lluvia total máxima en 24 horas se encuentra asociada a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos. Al analizar los estados generales del tiempo y mapas sinópticos, se determinó que las principales causas de lluvia total máxima en 24 horas se deben a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos tanto de escala sinóptica como local. Entre las diferentes causas están: los organismos ciclónicos tropicales del océano Atlántico Norte (bajas tropicales, depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes), los sistemas extratropicales (bajas extratropicales, frentes fríos y líneas pre-frontales), las tormentas locales (turbonadas) de la temporada estival, los fenómenos complejos, las altas presiones continentales y oceánicas como señalan Vega, Limia & Garcés (1998).

## **2. METODOLOGÍA**

Para poder calcular los valores estimados (límites inferiores) de la lluvia total máxima en 24 horas en la estación de Casablanca, para distintos períodos de retorno a partir de cada serie, se utilizaron leyes o modelos de probabilidades asociados a conjuntos de valores extremos (máximos y/o mínimos), Kropp (2010) y Reiss, Thomas (2007). Mediante estas leyes de probabilidades (Exponencial, Frechet, Gandin, Goodrich, Gumbel, Log-Normal y Normal) se ajustaron los datos, utilizando las fórmulas de ploteo (Cunnane, Beard, Hazen, y Weibull), Gumbel (2004). El modelo de mejor ajuste corresponde al que tenga el mayor coeficiente de correlación por el método de variable reducida, el cual consiste en la transformación de los datos por logaritmación neperiana reiterada de acuerdo al proceso de linealización de modelos teóricos exponenciales. La asimetría en los datos de lluvia total máxima en 24 horas puede ser positiva (cola a la derecha). Mientras que la curtosis es otro estadígrafo que se vincula a la agudeza de los datos en los histogramas (leptocurtosis). En Cuba, cuando el tamaño de la muestra es adecuado, se observa una asimetría fuertemente positiva, debido a la presencia de valores aberrantes generalmente asociados a la ocurrencia de huracanes, como mostraron Vega, Limia & Garcés (1998). Los coeficientes de asimetría  $C_a$  y de curtosis  $C_k$  (muestrales) son adimensionales, y se definen por las siguientes fórmulas:

$$C_a = \frac{M^{(3)}}{s^3} \quad (1)$$

$$C_k = \frac{M^{(4)}}{s^4} \quad (2)$$

donde:

$$M^{(3)} = \bar{x}^3 - 3(\bar{x})(\bar{x}^2) + 2(\bar{x})^3 \quad (3)$$

momento de tercer orden (puede ser positivo o negativo),

$$M^{(4)} = \bar{x}^4 - 4(\bar{x})(\bar{x}^3) + 6(\bar{x})^2(\bar{x}^2) - 3(\bar{x})^4 \quad (4)$$

momento de cuarto orden (siempre positiva) y

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5)$$

la desviación típica.

### **2.1. Fórmulas para el cálculo de probabilidad empírica**

Dada una muestra de  $n$  datos observacionales  $x_i$ , existen varias fórmulas para el cálculo de las probabilidades muestrales acumuladas de ocurrencia de sucesos o distribuciones acumulativas empíricas. Estas fórmulas de ploteo son utilizadas en el procedimiento de ajuste de una ley de probabilidad teórica a datos observacionales de variables extremas, como es el caso de estudio (la lluvia total máxima en 24 horas), mediante el método de variable reducida, representadas por las siguientes expresiones:

$$\hat{F}_1(X_i) = \frac{m_i}{n+1} \quad (6)$$

Distribución acumulativa empírica por Weibull (1939);

$$\hat{F}_2(X_i) = \frac{m_i^{-0,31}}{n+0,38} \quad (7)$$

Distribución acumulativa empírica por Beard (1943);

$$\hat{F}_3(X_i) = \frac{m_i^{-0,4}}{n+0,2} \quad (8)$$

Distribución acumulativa empírica por Cunnane (1978);

$$\hat{F}_4(x_i) = \frac{m_i - 0.5}{n} \quad (9)$$

Distribución acumulativa empírica por Hazen (1930); donde  $x_i$  son los datos cronológicos;  $\hat{x}_i$  son los estadígrafos ordinales de la serie, o sea, los datos cronológicos  $x_i$  ordenados en forma ascendente (de menor a mayor);  $m_i$  es el rango de la observación  $x_i$ . El rango  $m_i$  es igual al número de orden, si el dato no se repite, si el dato se repite;  $m_i$  es igual a la media aritmética de los números de orden correspondientes, y este es el rango que se le asigna a cada valor repetido.

## **2.2. Modelos teóricos de probabilidades**

La lluvia total máxima en 24 horas es una variable continua. En la modelación de los datos de una serie de observaciones de dicha variable que manifiesta una asimetría positiva, se utilizan distribuciones acumulativas teóricas biparamétricas

$$F(x) = p(X \leq x) \quad (10)$$

como las de Frechet, Log-Normal y Gumbel.

La Ley de Frechet, conjuntamente con la fórmula de ploteo de Cunnane, ha presentado a lo largo de diversos estudios una estabilidad en la modelación de los datos de la serie de Casablanca, permaneciendo invariable como el modelo de mejor ajuste por variable reducida desde el período 1909-1928, donde aparece por primera vez el valor aberrante de 510.0 mm, debido al huracán de gran intensidad de octubre de 1926 en La Habana, demostrado por Vega, Limia & Garcés (1998) y Coles (2001).

La eficiencia de los estimadores dados por Sneyers se considera como excelente porque si  $n > 10$ , la eficiencia  $\hat{\alpha}$  está muy cerca de uno, mientras que la eficiencia de  $\hat{\beta}$  es mayor que 0.80. Cuando se tiene una muestra pequeña de datos de una variable extrema, los resultados obtenidos pueden ser inestables debido a una subestimación o sobreestimación de los valores críticos en las extrapolaciones, como indica Sneyers (1990).

## **2.3. Proceso para el análisis**

La metodología propuesta en el trabajo de investigación tendrá en cuenta los siguientes pasos:

Paso 1: Análisis del control de la calidad de los datos mediante el análisis de regresión para estudios de residuos.

Paso 2: Análisis de la homogeneización mediante el análisis de las pruebas de Spearman, Levene para la igualdad de varianzas y la t de Student para la igualdad de las medias.

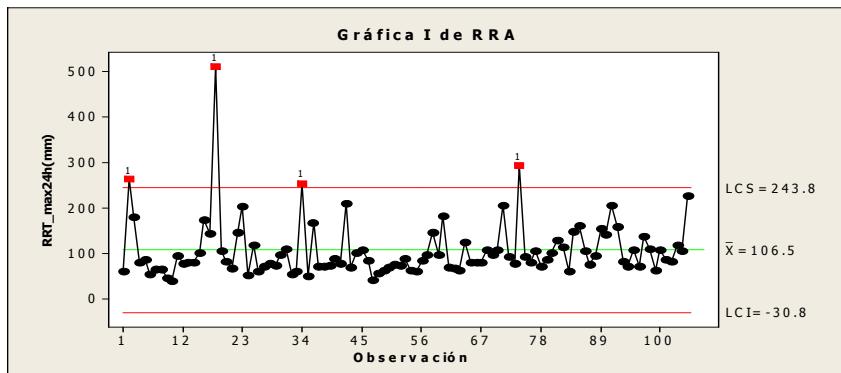
Paso 3: Cálculo de los estadígrafos asociados: medidas de tendencia central y medidas de dispersión.

Paso 4: Análisis de modelos para el mejor ajuste: distribuciones teóricas, distribuciones acumulativas y el coeficiente de correlación por distribución.

## **3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

A partir de análisis realizados, se llegó a la conclusión de que la ley de Frechet es la más representativa para Casablanca, cuyo comportamiento está asociado a la naturaleza de dicha serie, donde los valores aberrantes originados por fenómenos poco frecuentes influyen en el ajuste de los datos (serie anual y temporada lluviosa) a dicho modelo de probabilidad doblemente exponencial, recomendándose este modelo para la estimación de los valores extremos anuales de la lluvia total máxima en 24 horas. Y la ley Log-Normal es la recomendada en el caso de la temporada poco lluviosa.

Para analizar el control de la calidad se construye la ecuación de regresión en cada período de estudio y en todos los casos esta ecuación no es muy buena porque su R cuadrado es muy pequeño; incluso su pendiente es casi cero. Sin embargo detecta cuales datos pudieran ser problemáticos. Para este control se utilizó el software SPSS.

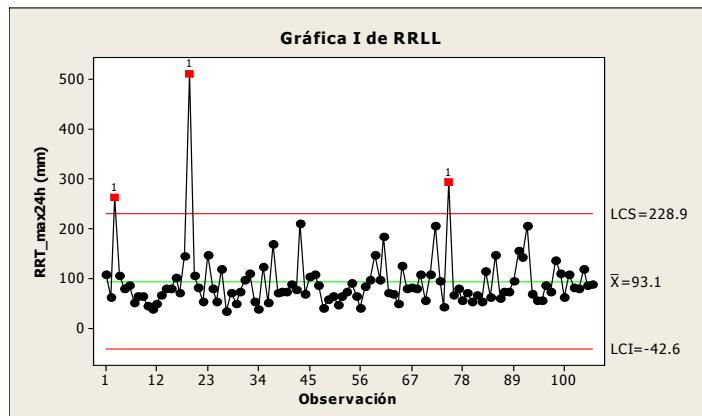


**Figura 1.** Puntos aberrantes en el período anual (1909-2013) de la estación meteorológica de Casablanca

**Tabla 1.** Información sobre observaciones poco comunes (eventos extremos notables) reflejadas en la Fig. 1

Observación	Año	RRA (mm)	Ajuste	EE de Ajuste	Residuo	Residuo estándar
2	1910	262.3	102.83	12.15	159.47	2.55
18	1926	510.0	103.97	9.49	406.03	6.45
34	1942	253.2	105.12	7.33	148.08	2.34
74	1982	291.9	107.97	7.55	183.93	2.91

En el caso del período anual serían cuatro puntos (Figura 1; Tabla 1) donde este comportamiento se debe a uno de los eventos naturales más notables ocurrido en la mayor de las Antillas que resultó ser denominado huracán de los Cinco Días, en octubre de 1910, reportándose 262.3 milímetros. También el llamado “Ciclón del 26” (categoría cuatro en la escala Saffir-Simpson), 20 de octubre de 1926, se reportándose 510.0 milímetros. La causa de los 253.2 milímetros de lluvia caídos el 16 enero de 1942 fue por brisote sucio, arrastrando lluvia del mar hacia tierra con vientos del nordeste. El 18 junio de 1982 ocurrieron inundaciones notables debido a las excepcionales precipitaciones, 291.9 milímetros. En el caso del período lluvioso son tres puntos (Figura 2; Tabla 2) donde este comportamiento se debe a los eventos ya mencionados: huracán de 1910, 1926 y 1982.

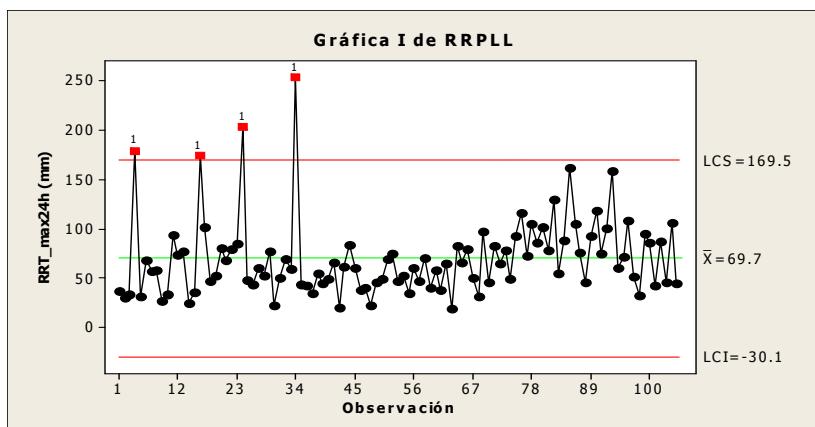


**Figura 2.** Puntos aberrantes en el período lluvioso (1908-2013) de la estación meteorológica de Casablanca

**Tabla 2.** Información sobre observaciones poco comunes (eventos extremos notables) reflejadas en la Fig. 2

Observación	Año	RRLL (mm)	Ajuste	EE de Ajuste	Residuo	Residuo estándar
3	1910	262.3	94.03	11.44	168.27	2.81
19	1926	510.0	93.74	8.94	416.26	6.89
75	1982	291.9	92.76	7.25	199.14	3.29

En el caso del período poco lluvioso son cuatro puntos (Figura 3; Tabla 3) donde este comportamiento se debe a los eventos inusuales de 1911, 1924, 1931 y 1942.



**Figura 3.** Puntos aberrantes de la serie poco lluviosa (1908/1909-2012/2013) de la estación meteorológica de Casablanca

**Tabla 3.** Información sobre observaciones poco comunes (eventos extremos notables) reflejadas en la Fig. 3

Observación	Año	RRPLL (mm)	Ajuste	EE de Ajuste	Residuo	Residuo estándar
4	1911	178.9	60.56	7.15	118.34	3.13
16	1924	173.6	62.81	5.93	110.79	2.91
24	1931	203.2	64.30	5.20	138.90	3.64
34	1942	253.2	66.18	4.44	187.02	4.89

En 1911 las lluvias fueron ocasionadas por un organismo ciclónico subtropical que se originó en el Golfo de México. En 1924 las lluvias fueron ocasionadas por un brisote sucio en altas presiones. En 1931 las lluvias fueron ocasionadas por un fenómeno complejo: altas presiones combinadas con bajas presiones.

Realizamos la prueba de Spearman para ver si no hay relación entre las variables que significaría un indicio de que no hay tendencia para poder determinar entonces si la serie es homogénea o no. Para este análisis empleamos el software Statistica.

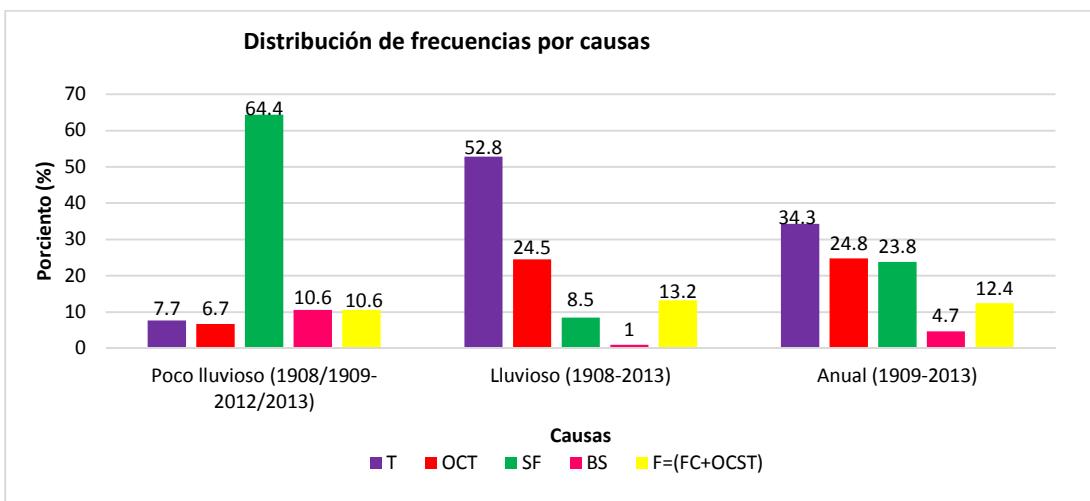
En la serie anual se puede observar que existe relación porque el coeficiente de correlación  $C_v = 0.238$  y  $p = 0.015 < 0.05$  es significativo en este caso hay cierta tendencia y se debe proceder de la siguiente forma, se divide la serie a la mitad y volvemos analizar la correlación para cada serie creada. La serie uno tiene como coeficiente de correlación  $C_v = -0.082$  y no es significativa, lo mismo ocurre con la serie dos, luego podemos decir que no hay tendencia lo cual significa que hay homogeneidad.

En la serie lluviosa no existe relación porque el coeficiente de correlación  $C_v = 0.112$  y  $p = 0.252 > 0.05$  no es significativo, luego podemos decir que no hay cierta tendencia lo cual significa que hay homogeneidad.

En la serie poco lluviosa existe relación porque el coeficiente de correlación  $C_v = 0.289$  y  $p = 0.003 < 0.05$  es significativo, luego en este caso hay cierta tendencia y se debe proceder de la siguiente forma, se divide la serie a la mitad y volvemos analizar la correlación para cada serie creada. La serie cinco tiene como coeficiente de correlación  $C_v = -0.049$  y no es significativa, lo mismo ocurre con la serie seis, luego podemos decir que no hay tendencia lo cual significa que hay homogeneidad.

También para confirmar la homogeneidad de las series se hacen las pruebas de Levene's y t-Student, obteniéndose en este caso que las varianzas y las medias son iguales. Para este análisis empleamos el software Minitab 16.

En la **serie anual de datos** se observa que la causa predominante reside en las tormentas locales con el 34.3 % seguido por la influencia de organismos ciclónicos tropicales con el 24.8 % y los sistemas frontales con el 23.8 %, siendo octubre el mes donde se alcanza con mayor frecuencia estos valores extremos con el 21.9 %, seguido de junio con el 15.2 % (Figura 4).



**Figura 4.** Distribución de frecuencias por causas. Lluvia total máxima en 24 horas. Casablanca, abril 1908-diciembre 2013

En la (Figura 4), T: Tormentas locales, OCT: Organismos ciclónicos tropicales, SF: Sistemas frontales, BS: Brisotes sucios, F= (FC+OCST): Fenómenos complejos (FC) y organismos ciclónicos subtropicales (OCST). Podemos observar la cantidad de causas con el porciento de los diferentes períodos, anual, lluvioso y poco lluvioso. Se puede ver que en el período anual las tormentas locales y los organismos ciclónicos tropicales son los que predominan con el 34.3 % y 24.8 % respectivamente. En el período lluvioso es muy notable la ocurrencia de las tormentas locales con 52.8 % y los organismos ciclónicos tropicales con 24.5 %, y en el período poco lluvioso se identifica fundamentalmente con los sistemas frontales con el 64.4 %. (En el período poco lluvioso tenemos 105 datos pero hay un caso dudoso no procesado para las causas).

El modelo de mejor ajuste a los datos de la serie anual resultó ser el de Frechet conjuntamente con la fórmula de ploteo de Cunnane con una correlación por modelo lineal de variable reducida de  $\hat{\gamma} = 0.9959$ , siendo los estimados de los parámetros:  $\hat{\alpha} = 77.1880$  y  $\hat{\beta} = 2.7818$ . Entonces, el modelo es:

$$F(x) = e^{-(\frac{x}{\alpha})^{-\beta}} = e^{-(\frac{x}{77.1880})^{-2.7818}} \quad (11)$$

De acuerdo a este modelo podemos afirmar que para períodos de retorno de 100, 50, 20 y 10 años resultan valores estimados (límites inferiores) de 403.4, 313.8, 224.5 y 173.3 milímetros (mm) respectivamente. El ajuste del modelo obtenido se verificó usando la dócima de Kolmogorov-Smirnov. Dado que el valor máximo absoluto de la variable en la serie anual resultó ser de 510.0 mm por el huracán de gran intensidad de octubre de 1926 , para un período de retorno de 100 años (como promedio) podemos esperar en el lugar de referencia una lluvia total máxima en 24 horas entre 403.4 mm y 510.0 mm de esta estación meteorológica.

La siguiente tabla resume para cada período estudiado los principales estadígrafos que se interpretan:

**Tabla 4.** Valores descriptivos de los tres períodos de lluvia total máxima en 24 horas

Estadígrafos	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Período anual
<b>Media aritmética</b>	93.1 mm	69.7 mm	106.5 mm
<b>Mediana</b>	79.4 mm	60.5 mm	86.5 mm
<b>Moda</b>	Bimodal (63,80)	Cuatrimodal (37.6, 40.6, 43.9, 46.2)	Unimodal 80
<b>Desviación típica</b>	60.8	38.8	63.4
<b>Varianza</b>	3691.0	1502.1	4014.1
<b>Coeficiente de asimetría</b>	3.9	2.0	3.2
<b>Coeficiente de curtosis</b>	21.6	5.7	15.7
<b>Coeficiente de variación</b>	65.2 %	55.6 %	59.5 %
<b>Valor mínimo</b>	32.8 mm	18.3 mm	38.1 mm
<b>Valor máximo</b>	510.0 mm	253.2 mm	510.0 mm

El valor mínimo ocurre el 16 de septiembre de 1918 debido a una turbonada, mientras el valor máximo fue el 20 de octubre de 1926 ocasionado por un organismo ciclónico tropical debido al paso del huracán (categoría cuatro en la escala Saffir-Simpson). La asimetría es fuertemente positiva de cola a la derecha con una curtosis muy aguda y esto se debe al valor aberrante mencionado en el año 1926.

En la serie de datos del período mayo-octubre (temporada lluviosa) se observa que la causa predominante reside en las tormentas locales con el 52.8 % seguido por la influencia de organismos ciclónicos tropicales con el 24.5 %, siendo octubre el mes donde se alcanza con mayor frecuencia estos valores extremos con el 28.3 % y junio y septiembre ambos con el 18.9 %.

El modelo de mejor ajuste a los datos de ésta serie resultó ser el de Frechet conjuntamente con la fórmula de ploteo de Cunnane con una correlación por modelo lineal de variable reducida de  $\hat{y} = 0.9967$ , siendo los estimados de los parámetros  $\hat{\alpha} = 65.8109$  y  $\hat{\beta} = 2.6469$ . Entonces, el modelo es:

$$F(x) = e^{-(\frac{x}{\hat{\alpha}})^{-\hat{\beta}}} = e^{-\left(\frac{x}{65.8109}\right)^{-2.6469}} \quad (12)$$

De acuerdo a este modelo podemos afirmar que para períodos de retorno de 100, 50, 20 y 10 años resultan valores estimados (límites inferiores) de 374.2, 287.4, 202.1 y 154.0 milímetros (mm) respectivamente. El ajuste del modelo obtenido se verificó usando la dócima de Kolmogorov-Smirnov.

Dado que el valor máximo absoluto de la variable en esta temporada resultó ser de  $510.0\text{ mm}$  por el huracán de gran intensidad de octubre de 1926 , para un período de retorno de 100 años (como promedio) podemos esperar en el lugar de referencia una lluvia total máxima en 24 horas entre  $374.2\text{ mm}$  y  $510.0\text{ mm}$  de esta estación meteorológica.

Los valores descriptivos de interés para esta serie (Tabla 4). Se puede apreciar que el valor mínimo ocurre el 3 de septiembre de 1934 debido a una turbonada, mientras el valor máximo fue el 20 de octubre de 1926 ocasionado por un organismo ciclónico tropical debido al paso del huracán (categoría cuatro en la escala Saffir-Simpson). La asimetría es fuertemente positiva de cola a la derecha con una curtosis muy aguda y esto se debe al valor aberrante mencionado en el año 1926.

En la serie de datos del período noviembre-abril (temporada poco lluviosa) se observa que la causa predominante reside en la acción de los sistemas frontales con un 64.4 % seguido por los llamados brisotes sucios con un 10.6 %, siendo noviembre el mes donde se alcanza con mayor frecuencia éstos valores extremos con el 21.2 %, seguido por febrero con el 19.2 % y abril con el 18.3 %. El modelo de mejor ajuste a los datos de ésta serie resultó ser el de Log-Normal conjuntamente con la fórmula de ploteo de Cunnane con una correlación por modelo lineal de variable reducida de  $\hat{\gamma} = 0.9951$ , siendo los estimados de los parámetros  $\hat{\alpha} = 60.9089$  y  $\hat{\beta} = 0.4919$ . Entonces, el modelo es:

$$F(x) = \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x - \alpha}{\beta}\right)^2} = \frac{1}{0.4919\sqrt{2\pi}x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x - 60.9089}{0.4919}\right)^2} \quad (13)$$

De acuerdo a este modelo podemos afirmar que para períodos de retorno de 100, 50, 20 y 10 años resultan valores estimados (límites inferiores) de 191.2, 167.2, 136.7 y 114.4 milímetros (mm) respectivamente. El ajuste del modelo obtenido se verificó usando la dócima de Kolmogorov-Smirnov. Dado que el valor máximo absoluto de la variable resultó ser de  $253.2\text{ mm}$  en la temporada de 1941/1942 por un brisote sucio notable, para un período de retorno de 100 años (como promedio) podemos esperar en el lugar de referencia una lluvia total máxima en 24 horas entre  $191.2\text{ mm}$  y  $253.2\text{ mm}$  de esta estación meteorológica.

Los valores descriptivos de interés para esta serie (Tabla 4). Se puede observar que el valor mínimo ocurre en la temporada de 1970/1971, por un sistema frontal, mientras el valor máximo ocurre en la temporada de 1941/1942, por brisotes sucios en altas presiones. La asimetría es positiva de cola a la derecha con una curtosis aguda.

#### **4. CONCLUSIONES**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos podemos concluir que la lluvia total máxima en 24 horas en las series anual y del período lluvioso son las tormentas locales severas la causa predominante, mientras que en el período poco lluvioso lo son los sistemas frontales, además en la serie anual y la serie de la temporada lluviosa el modelo de mejor ajuste resultó ser el de Frechet, conjuntamente con la fórmula de Cunnane mientras que en la serie de la temporada poco lluviosa fue Log-Normal, conjuntamente con la distribución acumulativa de Cunnane, lo cual se justifica por la no ocurrencia de valores extremos notables.

También se puede concluir que los estimados de la variable para períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años, dependen de los períodos donde no se registran fenómenos extremos, disminuyendo ligeramente en ese sentido y aumentando bajo la ocurrencia de un evento notable

## REFERENCIAS

- [1] AGUILAR, E. ET AL. (1999): Control de calidad y proceso de homogeneización de series térmicas catalanas.
- [2] ALEXANDERSSON, H. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.
- [3] CONRAD, V. Y POLLACK, L.W. (1962): *Methods in Climatology*. Harvard Univ. Press, Cambridge Massachusetts.
- [4] COLES, S. (2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer..
- [5] CUNNANE, C. (1978), Unbiased plotting positions—a review, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, The Netherlands, 37, 205-222.
- [6] OMM (2007) Directrices sobre la gestión de datos climáticos,: WCDMP - 60, WMO - N° 1376. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.
- [7] GUMBEL E. J. (2004): *Statistics of Extremes*. Courier Dover Publications.
- [8] HADEEN, K., GUTTMAN, N. (1994): Homogeneity of data and the climate record. Organización Meteorológica Mundial.
- [9] KATZ, R. W., PARLANGE, M. B., AND NAVÉAU, P. (2002): Statistics of extremes in hydrology, *Advances in water resources* 25, 1287-1304.
- [10] KOTZ, S. Y NADARAJAH, S. (2001): *Extreme Value Distributions. Theory and Applications*. World Scientific..
- [11] KROPP, J. (2010): *In Extremis: Disruptive Events and Trends in Climate and Hydrology*. Springer.
- [12] OMM, (2005): Guía de prácticas climatológicas. Tercera edición. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.
- [13] ORTÍZ, R. (1977): Los dos huracanes más intensos que han azotado a La Habana en este siglo (20 de octubre de 1926 y 18 de octubre de 1944): Informe científico-Técnico No. 25. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba, 15.
- [14] SNEYERS, R. (1975): Sur L'Analyse Statistique des series D'Observations, OMM-415, . 192.
- [15] SNEYERS, R. (1990): On the statistical analysis of series of observations, Tech. Note 143, World Meteorological Organization ,Geneva.
- [16] STÍPÁNEK, P., BRÁZDIL, R. Y KVETON, V. (2000): Homogenization of air temperature series in the Czech Republic. In: Third Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary, 25-29 September 2000.
- [17] TABONY, R. (1983): Extreme value analysis in meteorology. *The Meteorological Magazine*, 112, 77-98.
- [18] VEGA, R., LIMIA, M. Y GARCÉS, M. (1998): Evaluación de los fenómenos meteorológicos que provocan fuertes vientos, lluvias intensas y penetraciones del mar en la zona de la terminal de contenedores de Ciudad de La Habana, Instituto de Meteorología, La Habana.
- [19] REISS, R-D. , THOMAS, M. (2007): *Statistical Analysis of Extreme Values with Applications to Insurance, Finance, Hydrology and Other Fields*. Third Edition. Birkhouse Verlag..
- [20] WMO-No. 100, (2011): *Guide to Climatological Practices*. World Meteorological Organization, Geneva.

## Capítulo 6

pp 73-80

### SISTEMA DE INTELIGENCIA DE NEGOCIO PARA EL ESTUDIO DEL PERFIL DE TURISTA QUE VISITA LOS ATRACTIVOS TURÍSTICOS DE PASTAZA

Dr.C Yasser Vázquez Alfonso (yalfos1@gmail.com, yasser@ftur.uh.cu)

MSc. Luis Efraín López Velastegui

MSc. Christian Geovanny Rivera García

#### RESUMEN

Los Sistemas de Inteligencia de Negocio es una de las manifestaciones de la revolución científico-técnica contemporánea ampliamente generalizada en países desarrollados. Actualmente los sistemas informáticos aplicados al turismo son muy usados en la práctica internacional ya que han evolucionado las metodologías de investigación turística, posibilitando solucionar los problemas de almacenamiento de datos cada vez más relacionado con el proceso de toma decisiones. En la investigación se realiza un análisis de los conceptos, herramientas y metodologías que se consideran importantes en el problema, reflejando el estado actual en la solución del mismo. El Ministerio de Turismo de Pastaza, al tener entre sus misiones y tareas el estricto control del turista que visita sus atractivos turísticos, posee un gran volumen de información que es generada diariamente. Como una respuesta a esa necesidad se decidió implementar un Sistema de Inteligencia de Negocio, para el estudio del perfil de turista que visita los atractivos turísticos de Pastaza. La construcción e implementación de este sistema, utilizando el Gestor de Base Datos Postgree SQL y la herramienta de modelado Multidimensional Pentaho, presentó buena aceptación por parte de los directivos del turismo en Pastaza y contribuye a la toma de decisiones de los empresarios a nivel de atractivo turístico.

**Palabras claves:** Sistema de Inteligencia de Negocio, Atractivo Turístico, Data Mart.

#### Abstract

The Business Intelligence Systems is one of the manifestations of the contemporary scientific-technical revolution widely generalized in developed countries. Currently the computer systems applied to tourism are widely used in international practice since the methodologies of tourism research have evolved, making it possible to solve the problems of data storage increasingly related to the decision-making process. In the investigation an analysis of the concepts, tools and methodologies that are considered important in the problem is realized, reflecting the current state in the solution of the same one. The Ministry of Tourism of Pastaza, having among its missions and tasks the strict control of the tourist who visits its tourist attractions, has a large volume of information that is generated daily. As a response to this need, it was decided to implement a Business Intelligence System to study the profile of tourists who visit the tourist attractions of Pastaza. The construction and implementation of this system, using the Postgree SQL Data Base Manager and the Multidimensional Pentaho modeling tool, presented good acceptance by the tourism managers in Pastaza and contributes to the decision making of the entrepreneurs at the level of attractiveness tourist.

**Key words:** Business Intelligence System, Tourist Attraction, Data Mart.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad la actividad turística es una de las actividades comerciales más importantes del planeta. Para la Organización Mundial del Turismo (OMT, 2016) en los albores del nuevo milenio, el turismo se consolida como la principal actividad económica de muchos países y el sector de más rápido crecimiento en términos de ingresos de divisas y creación de empleo, generador de exportaciones del mundo y un factor importante en la balanza de pagos de muchos países. Según el secretario general de la OMT (2016a), Francesco Frangialli, el turismo mantiene la economía mundial “en movimiento”, siendo la primera partida del comercio internacional, generando el mayor volumen de ingresos por exportaciones y dando empleo a millones de personas, producto de su carácter multisectorial, y pese a las continuas turbulencias mundiales que amenazan su expansión y que se ha mantenido tenazmente, por ello muchos países se interesan seriamente en su desarrollo. Incluso, el turismo, en las últimas décadas ha configurado la geografía, demografía, economía y aspectos socio-culturales en muchas regiones del mundo (Morillo; 2007).

La información es muy importante para una empresa, pero así como lo es también que esté organizada. Actualmente contar con datos debidamente comprobados y un buen sistema de organización es vital para poder realizar estadísticas que pueden ayudar a la empresa a mejorar su desempeño no importa la actividad a la que se dedique (Escobar; 2007).

Ecuador tiene posición privilegiada para desarrollar el turismo sostenible por su diversidad formando parte de los 17 países mega diversos, con un alto potencial para posicionarse como destino natural ya que cuenta con la mayor diversidad de vida por unidad de superficie en la escala mundial, haciéndose énfasis en el slogan Ecuador “ama la vida” y en el concepto de turismo consciente. Pastaza es una provincia amazónica que cuenta con gran cantidad de atractivos turísticos tanto recursos naturales como ríos, bosques primarios, montañas, flora y fauna endémica y manifestaciones culturales como leyendas, costumbres variedad y diversidad de nacionalidades, 7 de las 14 nacionalidades del país se encuentran en esta provincia, además es la más grande del país (Acosta; 2014).

La Asociación de Atractivos Turísticos de Pastaza (ASATUP) en su conjunto con el Ministerio del Turismo conformó una asociación con los propietarios de varios atractivos y escenarios turísticos implementados como una inversión privada y que particularmente unos con otros estén diferenciados, lo que ha permitido consolidar una oferta variada, actualmente son los sitios más visitados de Pastaza y de mayor accesibilidad al público, por lo que requieren de una asistencia técnica para determinar el segmento de mercado del visitante que son frecuentados en estos atractivos turísticos y un trabajo conjunto que permita mejorar la calidad del servicio, por lo que en esta investigación se propone desarrollar un Sistema de Inteligencia de Negocio para el estudio del perfil de turista que visita los atractivos turísticos de Pastaza.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

La presente investigación se realiza en el año 2014 en los Atractivos Turísticos de la provincia de Pastaza que se encuentra ubicada en la región de la Amazonía Ecuatoriana.

Para el desarrollo del Sistema de Inteligencia de Negocios (SIN), se utiliza la Metodología de Desarrollo de Kimball (2004), ya que este sistema tiene como propósito facilitar el entendimiento de la información turística, proveniente de los atractivos turísticos que se encuentran en la provincia de Pastaza.

La metodología se basa en lo que Kimball denomina Ciclo de Vida Dimensional del Negocio (Business Dimensional Lifecycle). Este ciclo de vida del proyecto de DW, está basado en cuatro principios básicos según (Morrow, 2014):

1. Centrarse en el negocio.
2. Construir una infraestructura de información adecuada.

3. Realizar entregas en incrementos significativos: (este principio consiste en crear el almacén de datos DW en incrementos entregables en plazos de seis a doce meses. En este punto, la metodología se parece a las metodologías ágiles de construcción de software).
4. Ofrecer la solución completa. En este punto proporcionan todos los elementos necesarios para entregar valor a los usuarios de negocios, para esto ya se debe tener un almacén de datos bien diseñado, se deberán entregar herramientas de consulta ad hoc, aplicaciones para informes, análisis avanzado, capacitación, soporte, sitio web y documentación.

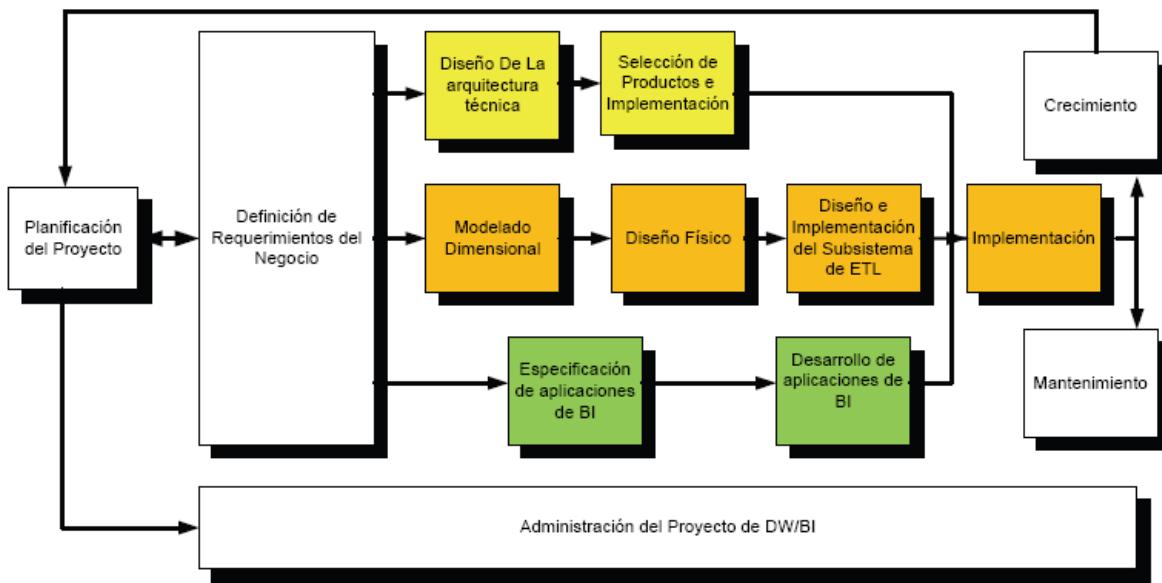


Figura 1: Ciclo de vida, metodología Kimball.

Fuente: Morrow (2014)

En la figura 1 se presenta el ciclo de vida de la metodología de Kimball que consiste en:

**Planificación del Proyecto:** En este proceso se determina el propósito del proyecto de DW/BI, sus objetivos específicos y el alcance del mismo, los principales riesgos y una aproximación inicial a las necesidades de información.

**Definición de Requerimientos del Negocio:** La definición de requerimientos, es un proceso en el que se entrevista al personal de negocio y técnico, aunque siempre conviene, tener un poco de preparación previa. En esta tarea, se debe aprender sobre el negocio, los competidores, la industria y los clientes del mismo. Se debe dar una revisión a todos los informes posibles de la organización; rastrear los documentos de estrategia interna; entrevistar a los empleados, analizar lo que se dice en la prensa acerca de la organización, la competencia y la industria y se deben conocer los términos y la terminología del negocio.

**Modelado Dimensional:** Es un proceso dinámico y altamente iterativo. Comienza con un modelo dimensional de alto nivel obtenido a partir de los procesos priorizados y descritos en la tarea anterior.

**Diseño Físico:** En esta tarea, se contestan las siguientes preguntas:

- ¿Cómo puede determinar cuán grande será el sistema de DW/BI?
- ¿Cuáles son los factores de uso que llevarán a una configuración más grande y más compleja?

- ¿Cómo se debe configurar el sistema?
- ¿Cuánta memoria y servidores se necesitan? ¿Qué tipo de almacenamiento y procesadores?
- ¿Cómo instalar el software en los servidores de desarrollo, prueba y producción?
- ¿Qué necesitan instalar los diferentes miembros del equipo de DW/BI en sus estaciones de trabajo?
- ¿Cómo convertir el modelo de datos lógico en un modelo de datos físicos en la base de datos relacional?
- ¿Cómo conseguir un plan de indexación inicial?
- ¿Debe usarse la partición en las tablas relacionales?

**Diseño e Implementación del subsistema de Extracción, Transformación y Carga (ETC):** El subsistema ETC es la base sobre la cual se alimenta el DW. Si se diseña adecuadamente, puede extraer los datos de los sistemas de origen de datos, aplicar diferentes reglas para aumentar la calidad y consistencia de los mismos, consolidar la información proveniente de distintos sistemas, y finalmente cargar (grabar) la información en el DW en un formato acorde para la utilización por parte de las herramientas de análisis.

**Implementación:** La implementación representa la convergencia de la tecnología, los datos y las aplicaciones de usuarios finales accesible desde el escritorio del usuario del negocio. Existen varios factores extras que aseguran el correcto funcionamiento de todas estas piezas, entre ellos se encuentran la capacitación, el soporte técnico y la comunicación.

**Mantenimiento y Crecimiento del DW:** Para administrar el entorno del DW existente es importante enfocarse en los usuarios de negocio, los cuales son el motivo de su existencia, además de gestionar adecuadamente las operaciones del DW, medir y proyectar su éxito y comunicarse constantemente con los usuarios para establecer un flujo de retroalimentación. En esto consiste el mantenimiento. Finalmente, es importante sentar las bases para el crecimiento y evolución del DW en donde el aspecto clave es manejar el crecimiento y evolución de forma iterativa utilizando el ciclo de vida propuesto, y establecer las oportunidades de crecimiento y evolución en orden por nivel de prioridad.

Para definir los requerimientos del negocio se hace necesario realizar entrevistas a los directivos y empresarios, para concretar las funciones del SIN que se actualizará en los diferentes atractivos turísticos.

**Requerimientos generales:** En el departamento del Ministerio de Turismo de Pastaza se registra un gran conjunto de información generada diariamente, proveniente de los diferentes atractivos turísticos que se encuentran en la provincia de Pastaza. Al implementarse el SIN se sustituirá una versión anterior de una base datos, que posibilitará centralizar y organizar la información, logrando así, que su búsqueda sea más fácil y que se pueda tener una mejor visualización de los datos. El software constará con herramientas como gráficos y reportes que no se encontraban en el sistema informático anterior y son de gran importancia para facilitar tareas al directivo responsable de la toma de decisiones.

**Requerimientos arquitectónicos:** Los requerimientos arquitectónicos son herramientas informáticas necesarias para el desarrollo del SIN que requiere:

- Un SGBD para almacenar la información que se generará del proceso de ETC. Se organizará la información en esquemas, el esquema pntemp contendrá las tablas históricas y por otra parte en el esquema at\_tur se almacenarán las tablas de hechos y de dimensiones.
- El sistema podrá ser utilizado bajo los sistemas operativos Windows o Linux.
- Se utilizará Kettle Pentaho para realizar el proceso de ETC, en dicho proceso se capturará toda la información de diferentes fuentes logrando una centralización de la información.
- Se utiliza Pentaho BI Server, pues en él se implementará el sistema y sus funcionalidades.
- Se debe utilizar Java JDK 1.5 o una versión superior ya que la mayoría de las herramientas a utilizar están implementadas en Java.

**Requerimientos de desarrollo:** Para el desarrollo del SIN los requerimientos se dividen en dos grupos:

- Hardware, donde se necesita una computadora con los siguientes requisitos mínimos:
  - Procesador 1.50 GHz.
  - 1GB de RAM.
  - Espacio en disco duro 20 Gb.
  - Lector de DVD.
- Software.
  - Sistema Operativo Windows o Linux.
  - Navegador web.
  - Máquina virtual de Java.
  - Plataforma de Pentaho.

### 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

El sistema se implementó en ambiente web sobre el servidor de Inteligencia de Negocio Pentaho BI Server. La primera interfaz que muestra el sistema es donde el usuario tendrá que escribir su usuario y contraseña, insertados previamente por el administrador del sistema. Esta interfaz es generada por el servidor, y a diferencia del software anterior cada usuario posee contraseña propia.

A continuación se muestra la interfaz de bienvenida al sistema de la SIGEMP, en el mismo se inserta nombre del usuario y contraseña dando acceso a la página principal creada por la empresa.



Figura 2: Página de autenticarse del sistema

Una vez que el usuario se autentifique con su nombre y contraseña va a encontrarse con la página principal que se muestra a continuación, se selecciona la pestaña de **Atractivos** que dará inicio al SIN y ahí se muestran todas las funcionalidades que se implantaron (Figura 3).

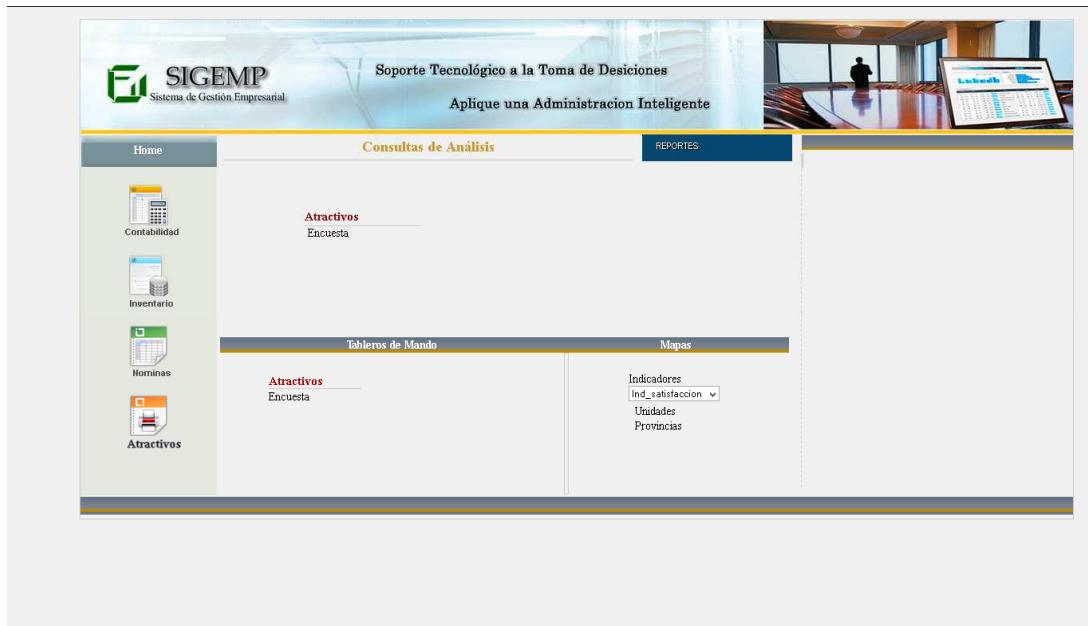


Figura 3: Página principal del SIN.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se muestra la salida del análisis estadístico descriptivo realizado a las diferentes variables que componen la encuesta realizada a los turistas que visitaron los diferentes Atractivos Turísticos de la provincia Pastaza.

Centro	Turista	Encuesta	measures	
			● total	● PorCiento
ACUARIO FINCA SARAHÍ	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	52	100%
CASA DEL ÁRBOL	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	64	100%
	<input type="checkbox"/> Extranjero	<input type="checkbox"/> (todo)	1	100%
	<input type="checkbox"/> Nacional	<input type="checkbox"/> (todo)	63	100%
		<input type="checkbox"/> Muy Satisfecho	27	43%
		<input type="checkbox"/> Bastante	8	13%
		<input type="checkbox"/> Poco		
		<input type="checkbox"/> Nada		
		<input type="checkbox"/> No utilizó	28	44%
	<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> (todo)	31	100%
	18-25	<input type="checkbox"/> (todo)	8	100%
	26-35	<input type="checkbox"/> (todo)	15	100%
		<input type="checkbox"/> Muy Satisfecho	7	47%
		<input type="checkbox"/> Bastante	2	13%
		<input type="checkbox"/> Poco		
		<input type="checkbox"/> Nada		
		<input type="checkbox"/> No utilizó	6	40%
	36-45	<input type="checkbox"/> (todo)	4	100%
	46-55	<input type="checkbox"/> (todo)	2	100%
	56-65	<input type="checkbox"/> (todo)	1	100%
	más de 65	<input type="checkbox"/> (todo)	1	100%
	<input type="checkbox"/> Masculino	<input type="checkbox"/> (todo)	32	100%
CENTRO DE RESCATE YANACOCHA	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	80	100%
CENTRO DE RESCATE LOS MONOS	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	52	100%
JARDÍN BOTÁNICO LAS ORQUÍDEAS	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	66	100%
PARQUE REAL DE AVES EXÓTICAS	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	70	100%
Total	<input type="checkbox"/> (todo)	<input type="checkbox"/> (todo)	384	100%

Slicer:

Figura 4: Resultados del procesamiento de las encuestas por el SIN.  
Fuente: Elaboración propia.

Otro resultado en este sistema es el que se ilustra en la figura 5, donde se observa el comportamiento de las variables que componen la encuesta realizada a los turistas que visitan los atractivos turísticos de Pastaza. El rango de edades de los turista que más visita estos atractivos es (26-35), el sexo que más predomina entre los turista visitante es el femenino (53%) y la gran mayoría de los turista encuestada es de procedencia nacional. La gráfica de línea muestra el comportamiento de la satisfacción de los turistas en los diferentes atractivos turístico de los diferentes centros turísticos de Pastaza, reflejando que el mayor porciento lo obtuvo la Casa del Árbol.

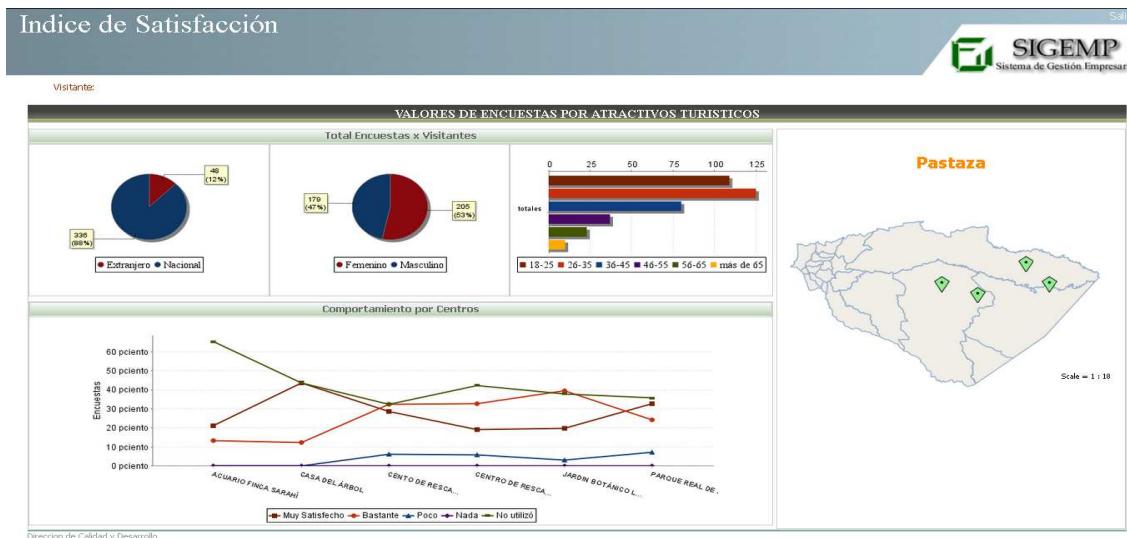


Figura 4: Resultados del procesamiento de las encuestas por el SIN.  
Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados complementan las investigaciones realizadas en el campo del estudio de la satisfacción del turista de naturaleza como son: Escobar (2007), Font (2010), Reverter y Plaza (2011) y Acosta (2014), las cuales fueron un punto de partida para esta investigación.

#### 4. CONCLUSIONES

En la investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

- Se seleccionaron los métodos y herramientas de desarrollo enfocados hacia la elaboración del SIN. Estas permitieron confeccionar el sistema resultante con calidad, de acuerdo a los requerimientos de usuarios.
- Se diseñaron las bases de datos relacionadas con la información hidrológica proveniente de los procesos de ETC utilizando los gestores de base de datos. Con esta se lograron almacenar una cierta cantidad de datos históricos procedentes de los diferentes atractivos turísticos a través de los años.
- Se implementó un Sistema de Inteligencia de Negocio para analizar la información turística en los atractivos turísticos de los diferentes centros turísticos de Pastaza, teniendo como herramientas incorporadas los gráficos o dashboards y reportes.

## REFERENCIAS.

- [1] Acosta, A.A (2014). Perfil del turista que visita los emprendimientos de la Asociación de Atractivos Turísticos Privados de Pastaza, para la promoción turística del Cantón en base a la segmentación del mercado en temporada alta 2013. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniería en Turismo. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza. Ecuador. p.280.
- [2] Escobar, MA (2007). Desarrollo de datawarehouse de información turística del Ecuador. Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en Sistema e Informática. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, Ecuador.p102.
- [3] FONT, M (2010). Reflexiones acerca del turismo de naturaleza. Centro de Estudios de la Universidad de Matanzas. Cuba.
- [4] Kimball, R (2004). *The Data Warehouse ETL Toolkit*. s.l.: Wiley Publishing, Inc. 120p.
- [5] Moriillo, MC (2007). Análisis de la calidad del servicio hotelero mediante la Escala de SERVQUAL. Revista Visión Gerencial, ISSN 1317-8822, N° 2 .Pg: 269-297. Julio - Diciembre
- [6] Morrow, J(2014). Inteligencia de Negocio. *Metodología de Kimball*. Disponible en: <http://inteligenciadenegociosval.blogspot.com/2014/01/metodologia-de-kimball.html> [Citado el: 13 de 04 de 2014.]. 17p.
- [7] OMT (2016). WTO World tourism barometer: international tourism on track for another strong year. Departamento de Prensa y Comunicaciones de la OMT. Disponible en: <http://www.unwto.org/newsroom/Releases/2005/octuber/barometer.htmL> (Consultado 27 de julio 2016).
- [8] OMT (2016). To be fourth year of sustained growth. Departamento de Prensa y Comunicaciones de la Disponible en: Disponible en: <http://www.unwto.org/ newsroom/Releases/2006/november/> barometer06.htm (Consulta: octubre 27 de julio 2016).
- [9] Reverter-Masia, J. y Plaza-Montero, D (2011). “Ocio, Deporte y Turismo: situación actual y líneas de negocio. Deporte y sociedad”. Disponible en: <http://www.uff.br/esportesociedade/pdf/es1603.pdf>. Consultado en 24/01/2014 a las 10:58.

## Capítulo 7

pp 81-87

### ALGORITMOS PARA EL DESCUBRIMIENTO DE PROCESOS. ESTADO DEL ARTE

Ing. Asiel Díaz Vasallo\*, Dr.C Yasser Vázquez Alfonso \*\*, MSc. Orlenys López Pintado \*\*\*

\* Universidad Agraria de La Habana

\*\*Universidad de La Habana

\*\*\*Universidad de Tartu

#### RESUMEN

Las técnicas de la minería de procesos permiten la extracción de conocimientos de diversas fuentes de información, el descubrimiento de modelos es una de las etapas que componen la minería de procesos. En esta etapa los algoritmos convencionales parten inicialmente de un registro de eventos y descubren modelos de procesos. En situaciones prácticas la mayoría de los casos contienen varios procesos que colaboran y en su mayoría se encuentran almacenados en bases de datos relacionales. En este sentido, algunos investigadores asumen que un proceso puede tener diferentes perspectivas, cada una de ellas con su propio espacio de estados, de esta forma han podido descubrir modelos de procesos en entornos colaborativos. En varias investigaciones se plantean diferentes métodos enfocados en el procesamiento de los datos en bases de datos relacionales, existen artículos donde se hace referencia a una técnica basada en identificar un modelo centrado en artefactos, partiendo de un esquema relacional obtenido de una base de datos. Las relaciones existentes en el esquema son extraídas y organizadas con el uso de algoritmos de grafos.

**Palabras clave:** minería de procesos, modelo de procesos, entornos colaborativos, esquema de artefactos, esquema relacional.

#### ABSTRACT

Process mining techniques allow the extraction of knowledge from various sources of information, the discovery of models is one of the stages that make up the process mining. At this stage conventional algorithms start from an event log and discover process models. In practical situations most cases contain several processes that collaborate and are mostly stored in relational databases. For these cases the researchers assume that a process can have different perspectives, each with its own space of states, in this way they have been able to discover process models in collaborative environments. There are several papers that present different methods focused on the processing of the data in relational databases. Some articles refer to a technique based on identifying an artifact-centric model, starting from a relational schema obtained from a database. The relationships existing in the scheme are extracted and organized with the use of graph algorithms.

**Keywords:** process mining, process model, collaborative environments, artifacts scheme, relational schema.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los tiempos modernos con sus avances científicos y tecnológicos introducen nuevos retos; extraer conocimiento procesando grandes volúmenes de datos es uno de estos. Actualmente, las instituciones gestionan la ejecución de sus procesos de negocios mediante complejos sistemas computacionales; estos almacenan los datos relacionados con los procesos ejecutados en diversas fuentes de información, cuyo procesamiento manual se torna una tarea imposible de realizar.

En este sentido, la minería de procesos provee un conjunto de técnicas para examinar procesos reales en dominios de aplicaciones variados. Esta disciplina está compuesta fundamentalmente por tres etapas, descubrimiento del modelo, chequeo de conformidad y extensión del modelo, en la primera, las técnicas de descubrimiento parten de una información previa, sobre la que se efectúan análisis para la obtención de un modelo del proceso. En el chequeo de conformidad, se realiza la comparación de un modelo de procesos existente con el registro de eventos de un proceso(van der Aalst, Adriansyah, & Alves de Medeiros, 2011), para verificar cuán real es el comportamiento del modelo con respecto a los datos históricos obtenidos durante la ejecución del proceso.

La comparación de registros de eventos con modelos que especifiquen los requisitos de un proceso contribuye a la detección de casos de fraude. Por tal motivo, la comprobación de conformidad puede ser usada para descubrir, localizar y explicar inconsistencias en el proceso, por otro lado, la tercera etapa tiene como reto mejorar los modelos utilizando información acerca de los procesos actuales, almacenados en los registros de eventos.

Esta investigación abordará la etapa de descubrimiento de procesos, haciendo énfasis en los algoritmos existentes para descubrir modelos. En este sentido, se centrará en dos de los grandes retos que enfrenta la minería de procesos en la actualidad. La interacción de procesos en entornos colaborativos y la extracción de conocimiento de procesos almacenados en bases de datos relacionales.

## 2. ALGORITMOS PARA EL DESCUBRIMIENTO DE MODELOS

Múltiples algoritmos diseñados para descubrir modelos de procesos, se basan fundamentalmente en análisis estadísticos, métodos heurísticos y otras técnicas de la matemática aplicada. Entre los más conocidos se hallan: el *Alpha Miner*(van der Aalst, A. J.M.M., & Maruster, 2004), el *Heuristic Miner*(Weijters, van der Aalst, & Alves de Medeiros, 2006), el *Fuzzy Miner*(Gunter & van der Aalst, 2007) y el *Genetic Miner*(Alves de Medeiros, 2006). Todos estos se encuentran implementados en la herramienta ProM (B. F. van Dongen, 2005) desarrollada por investigadores de la Universidad Tecnológica de Eindhoven, en Holanda; centro donde se han obtenido varios de los principales resultados en el área de minería de procesos.

El *Alpha Miner* es un algoritmo pionero en esta rama, de fácil entendimiento y que se convierte en una referencia necesaria para todo joven investigador. A partir de un registro de eventos recibido como entrada, que contiene varias instancias de la ejecución de un proceso(van der Aalst, 2011); se ordenan las relaciones entre las tareas que son deducidas. Mediante el orden establecido se indica la precedencia entre las mismas, su ejecución en paralelo, entre otros aspectos que garantizan la reconstrucción de un flujo de procesos. El modelo descubierto se corresponde con una red de Petri (López, 2015), que representa un flujo de trabajo (van der Aalst, 2011). Este algoritmo no es robusto al ruido ni ante patrones estructurales complejos, por lo que no se aplica con frecuencia en situaciones prácticas y su uso es casi exclusivamente académico.

Los algoritmos *Fuzzy Miner*, *Heuristic Miner* y *Genetic Miner* son capaces de lidiar con registros de eventos ruidosos y con patrones estructurales complejos, por lo que tienen gran aplicabilidad en situaciones prácticas. En el caso del *Fuzzy Miner* se extraen modelos jerárquicos. Las actividades con baja frecuencia pero que se encuentran estrechamente relacionadas son agrupadas en subprocessos; según criterios y métricas previamente definidas, que determinan cuáles arcos deben ser incluidos en una matriz causal(Díaz, 2014). De este modo, se genera un modelo *fuzzy*, ideal para representar los llamados procesos espagueti (van der Aalst, 2011).

El algoritmo *Heuristic Miner* utiliza matrices causales (Alves de Medeiros, Weijters, & van der Aalst, 2007) para la representación del modelo que descubre. Este algoritmo tiene en cuenta la frecuencia de los eventos y secuencias al construir el modelo de procesos, estableciendo heurísticas que rigen la construcción del mismo. La idea principal está basada en que caminos poco frecuentes no deberían aparecer en el modelo de procesos resultante. Su tendencia de representar los modelos mediante matrices causales y el manejo de las frecuencias, hacen que este algoritmo sea uno de los más robustos.

El *Genetic Miner* utiliza un procedimiento iterativo para simular el proceso de evolución natural. A diferencia de los algoritmos *Alpha Miner*, *Fuzzy Miner* y *Heuristic Miner*, que construyen los modelos que generan mediante técnicas directas y deterministas locales, el algoritmo *Genetic Miner* utiliza una estrategia global para procesar los registros de eventos(Díaz Vasallo, 2014).

El empleo de estas técnicas ha permitido dar solución a una gran cantidad de problemas existentes. (Jagadeesh, Bose, & van der Aalst, 2012), exponen un mecanismo para alinear secuencias de ADN, facilitando la realización de diagnósticos. Los resultados obtenidos por ( Mans, Schonenberg, Song, van der Aalst, & Bakker, 2009), se centran en casos reales de oncología ginecológica. (Peleg, Yeh, & Altman, 2002), descubren modelos que permiten la representación de procesos biológicos mediante redes de Petri. (Deevakar, 2015), muestra una variante para analizar los registros de salud electrónicos y comprender las desviaciones de los procesos que tienen lugar.

En todas estas investigaciones solo se contempla un único proceso, por lo que los enfoques clásicos de minería de procesos pueden ser aplicados. Sin embargo, existen escenarios colaborativos donde diversos procesos interactúan, en los cuales las técnicas convencionales existentes no brindan los resultados esperados. A esta perspectiva se le denomina minería inter-organizacional y constituye uno de los grandes retos que enfrenta la minería de procesos(van der Aalst et al., 2011).

### **3. MINERÍA DE PROCESOS INTER-ORGANIZACIONAL**

En un inicio, la minería de procesos inter-organizacional pudiera evidenciarse desde dos escenarios diferentes. Un primer acercamiento sería la interacción de varios subprocessos, que trabajan en conjunto para manejar instancias de un proceso general (figura 1.a). En este caso, el análisis independiente de un subprocesso sería insuficiente. El segundo escenario lo constituirá la ejecución del mismo proceso por parte de diferentes individuos, mientras comparten experiencias, conocimiento o una infraestructura común (figura 1.b).



Figura 1: Enfoques de la minería de procesos inter-organizacional  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con (van der Aalst, 2015), ante todo se deben considerar los ajustes colaborativos donde diferentes organizaciones trabajan juntas para manejar instancias de procesos. Lo que requiere que diversas partes estén disponibles para inter-operar, es decir, coordinar sus actividades. En la investigación realizada por (van der Aalst, 2000), se identifican cinco formas de interoperabilidad descritas a continuación:

- Capacidad de compartir. Esta forma de interoperabilidad asume un control centralizado, o sea, la dirección de los casos ocurre bajo el control de una sola organización. La ejecución de las tareas es distribuida, es decir, los recursos de diferentes organizaciones pueden ejecutar tareas.
- Ejecución en cadena. El proceso es separado en un número de subprocessos disjuntos, que son ejecutados por organizaciones en orden secuencial. Esta forma requiere que un compañero transfiera o inicialice el flujo para un caso después de completar todo el trabajo. El control de flujo es distribuido entre diferentes organizaciones.
- Subcontratación. Una organización subcontrata subprocessos a otras organizaciones.
- Transferencia de caso. Cada organización tiene una copia de la misma descripción del proceso, en otras palabras, las especificaciones de los procesos son replicadas. Sin embargo, en cualquier instante, cada caso (instancia del proceso) reside en exactamente una localización. Los casos pueden ser transferidos de una organización a otra, ya sea para balancear una carga de trabajo o porque las tareas no se han puesto en práctica en todas las organizaciones.
- Acoplado libremente. El proceso es separado en piezas que pueden activarse concurrentemente. Además, la definición de cada uno de los subprocessos es local, o sea, el ambiente no necesita conocer al proceso. Solo el protocolo que se emplea para efectuar la comunicación con las otras partes involucradas.

### **3.1 . Descubriendo procesos inter-organizacionales. Trabajos relacionados**

(Chen & Hsu, 2001) citados por (Dayal, Hsu, & Ladin, 2001), presentan un *framework* de colaboración para ampliar la tecnología de administración de procesos centralizada. Se basa en el principio de que un proceso colaborativo involucra múltiples partes, donde cada una desempeña un rol dentro del proceso. Ellos plantean que existen dos aspectos a distinguir en el interior del modelo de procesos colaborativos respecto al modelo de procesos centralizado:

1. La definición de procesos está basada en un protocolo de interacción comercial comúnmente acordado, como el protocolo para la compra en línea o subasta.
2. La ejecución del proceso no es realizada por un mecanismo de flujo de trabajo centralizado, sino por múltiples mecanismos colaborativos.

(Di Ciccio et al., 2011), presentan una variante para extraer procesos interesantes de colecciones de mensajes de correo electrónico. La propuesta apunta al desafío de investigación abierto de transacciones con registros de eventos variados, es decir, detecta los rastros de múltiples procesos presentes en el sistema.

(Lu, Nagelkerke, van de Wiel, & Fahland, 2015), proponen un mecanismo de descubrimiento de servicios colaborativos haciendo uso de ontologías, las cuales pueden variar durante el proceso de descubrimiento. En este caso es necesario que ocurra la mediación de datos para resolver cuestiones de heterogeneidad.

La investigación realizada por (Zhao & Liu, 2006), se centra en darle seguimiento al flujo de trabajo a través de los límites organizacionales. En comparación con otras soluciones de rastreo de flujo de trabajo, el acercamiento propuesto no solo permite que una organización siga a otras por sus partes involucradas en procesos de negocios colaborativos, también posibilita que diferentes organizaciones persigan el mismo proceso de negocio de manera distinta. El *framework* desarrollado por los investigadores incluye tres representaciones matriciales y tres operaciones sobre matrices.

Los algoritmos emplean estas matrices y las operaciones para generar estructuras de seguimiento y se desarrolla la realización del rastreo del flujo de trabajo. Este *framework* permite a una organización generar su propia estructura de rastreo basada en su visibilidad respecto a otras organizaciones. Además, permite que una estructura de seguimiento pueda ser generada tiempo real, esta habilita la flexibilidad en la exploración del flujo de trabajo. Basada en su propia estructura de seguimiento, una organización puede proactivamente trazar el progreso de ejecución de su parte involucrada en un proceso de negocio colaborativo.

Un aspecto importante es descubrir modelos de procesos apoyados en comportamientos capturados en datos de eventos. Estos modelos generalmente muestran las actividades que puedan ser ejecutadas durante el proceso y cómo ellas son ordenadas. Para el descubrimiento de procesos es de gran importancia deducir los estados de los procesos operacionales en el registro de eventos. Muchos algoritmos de minería solo tienen una noción de estado implícita, por lo que se centran en aprender el orden de las actividades. En este sentido, la noción de estado de los procesos puede presentarse explícitamente en sistemas de información. Tal es el caso de la información obtenida a partir del diagnóstico de un paciente con determinada afección de salud.

El trabajo propuesto por van Eck et al., (2016), se acerca a descubrir modelos para procesos donde diferentes facetas, o perspectivas, de los mismos puedan ser identificadas. En cambio, de centrarse en eventos o actividades que son ejecutadas en el contexto de un proceso particular; toman como punto de partida los estados de las diferentes perspectivas e intentan descubrir cómo están relacionadas. En este sentido asumen que un proceso puede tener diferentes perspectivas y cada una de ellas posee su propio espacio de estados. Cada estado del proceso de múltiples perspectivas bajo estudio se representa por un vector de estados de sus perspectivas.

Los autores modelan los procesos multi-perspectivas basados en estados con una máquina de estados finitos, a la que denominan “Máquina Compuesta por Estados”(van Eck et al., 2016a). Dado que el modelo puede tornarse complejo, proporcionan tres operaciones diferentes que puedan ser utilizadas para crear vistas simplificadas en máquinas de estados. Desarrollaron además una herramienta que permite visualizar las relaciones interesantes entre los estados y las transiciones que ocurren entre ellos(van Eck et al., 2016b).

Las investigaciones mencionadas anteriormente utilizan el XES como formato estándar asumido por los especialistas en el tema. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de información emplean las bases de datos relacionales como fuente de almacenamiento y no este tipo de fichero. Esto ocasiona que para efectuar el minado de los datos se requiera del desarrollo de otras técnicas.

#### **4. EXTENDIENDO EL DESCUBRIMIENTO A BASES DE DATOS RELACIONALES**

En esta temática se han realizado algunas investigaciones que proponen transformar las bases de datos en registros de eventos para posteriormente aplicarle las técnicas de minería de procesos. Los enfoques clásicos para convertir y extraer un registro de eventos desde fuentes de datos relacionales, se basan en identificar o definir una instancia del proceso, a partir de la cual se asocian y extraen los eventos(Lu et al., 2015). Finalmente, estos son ordenados por la instancia a la que pertenecen y el tiempo de ejecución. Este método permite solo extraer el registro de eventos de un proceso, asumiendo que este está aislado y no interactúa con otros.

Fahland et al., (2011), Dongen et al., (2012) y Lu, (2013), hacen uso de esquemas centrados en artefactos, que son entidades de negocio que interactúan y pueden ser descritas informacionalmente a través de estos esquemas, es decir, los artefactos pueden ser definidos como subprocesos que integran un proceso de negocio principal, los cuales pueden estar relacionados internamente.

Un método para descubrir de forma automática los esquemas de artefactos es presentado por(V. B. Dongen et al., 2012). Los autores plantean a partir de una fuente de datos estructurada, obtener un esquema que luego es particionado en varios esquemas de artefactos utilizando el algoritmo *k-means*. El parámetro *k* determina la cantidad de artefactos a descubrir y debe ser introducido por el usuario manualmente.

(Lu, 2013), propone una técnica basada en identificar un modelo centrado en artefactos, partiendo de un esquema relacional obtenido de una base de datos. Las relaciones existentes en el esquema son extraídas y organizadas con el uso de algoritmos de grafos. Por cada tipo de artefacto encontrado se obtiene un modelo independiente, lo que posibilitaría la realización de análisis para detectar posibles interacciones entre diferentes procesos, así como establecer comparaciones entre estos modelos. El enfoque aplicado sobre los esquemas centrados en artefactos que se menciona anteriormente constituye uno de los resultados más prometedores en este tema.

## 5. CONCLUSIONES

Para desarrollar esta investigación se comprobó el estado del arte sobre las técnicas de descubrimiento de procesos mediante varios procedimientos y se detectaron dos desafíos vigentes para la aplicación de los algoritmos de esta etapa: el descubrimiento de modelos de procesos en entornos donde diversas organizaciones colaboran y la aplicación de las técnicas de minería de procesos sobre bases de datos relacionales.

Se han presentado algunos trabajos relacionados con estas temáticas, sin embargo, ninguno integra las dos problemáticas planteadas anteriormente. Esto trae como consecuencia que, a pesar de los avances obtenidos, la aplicación práctica de los algoritmos se ve limitada.

Como trabajos futuros se pretenden fusionar estas técnicas y conformar una estrategia que permita descubrir modelos de procesos capaces de representar subprocesos que interactúan entre sí. Al modelo descubierto se le podría aplicar posteriormente técnicas convencionales para analizar, predecir y proponer mejoras en el comportamiento del proceso global.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alves de Medeiros, A. K. (2006). Genetic Process Mining. Eindhoven University of Technology.
- Alves de Medeiros, A. K., Weijters, A. J. M. M., & van der Aalst, W. M. P. (2007). Genetic Process Mining: An Experimental Evaluation. DataMining and Knowledge Discovery. Eindhoven University of Technology.
- Chen, Q., & Hsu, M. (2001). *Inter-Enterprise Collaborative Business Process Management*. Proc. International Conference on Data Engineering (ICDE). Germany.
- Dayal, U., Hsu, M., & Ladin, R. (2001). Business Process Coordination: State of the Art, Trends, and Open Issues. In VLDB (Vol. 1, pp. 3–13). Retrieved from <http://www.vldb.org/conf/2001/P003.pdf>
- Deevakar, R. (2015). Process mining of medication revisions in electronic health records.
- Di Ciccio, C., Macella, M., Scannapieco, M., Zardetto, D., & Catarci, T. (2011). MailOfMine - Analyzing Mail Messages for Mining Artful Collaborative Processes. 1st International Symposium on Data-Driven Process Discovery and Analysis SIMPDA. Italy.
- Díaz Vasallo, A. (2014). Algoritmo genético distribuido para el descubrimiento de procesos.
- Dongen, V. B., Fahland, D., & Nooijen, E. H. (2012). Automatic Discovery of Data-Centric and Artifact-Centric Processes.
- Fahland, D., Leoni, M. D., Dongen, V. B., & van der Aalst, W. M. P. (2011). Behavioral Conformance of Artifact-Centric Process Models.
- Gunter, C. W., & van der Aalst, W. M. P. (2007). Fuzzy Mining: Adaptive Process Simplification Based on Multi-Perspective Metrics.
- Jagadeesh, R. P., Bose, C., & van der Aalst, W. M. P. (2012). When process mining meets bioinformatics. Berlin.
- López Pintado, O. (2015). Refinamiento Iterativo de Matrices Causales.
- Lu, X. (2013). Artifact-Centric Log Extraction and Process Discovery.
- Lu, X., Nagelkerke, M., van de Wiel, D., & Fahland, D. (2015). Discovering interacting artifacts from ERP systems (extended version). Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/9f03/31ad41e9851c04730b60ba3bff3964634703.pdf>
- Mans, R. S., Schonenberg, M. H., Song, M., van der Aalst, W. M. P., & Bakker, P. J. M. (2009). Application of process mining in healthcare a case study in a dutch hospital. Berlin.
- Peleg, M., Yeh, I., & Altman, R. B. (2002). Modelling biological processes using work ow and petri net models.
- van der Aalst, W. M. P. (2000). Process-oriented Archquitectures for Electronic Commerce and Interorganizational Workflow. Information Systems.
- van der Aalst, W. M. P. (2011). *Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Berlin: Springer.

- van der Aalst, W. M. P. (2015). Intra- and Inter-Organizational Process Mining: Discovering Processes Within and Between Organizations. Eindhoven University of Technology.
- van der Aalst, W. M. P., A. J.M.M., W., & Maruster, L. (2004). *Workflowmining: Discovering process models from event logs*. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- van der Aalst, W. M. P., Adriansyah, A., & Alves de Medeiros, A. K. (2011). Manifiesto sobre Minería de Procesos. IEEE Task Force on Process Mining. Retrieved from <http://www.win.tue.nl/ieeetfpm>
- van Dongen, B. F. (2005). The ProM Framework: A New Era in Process Mining Tool Support.
- van Eck, M. L., Sidorova, N., & van der Aalst, W. M. (2016a). Composite State Machine Miner: Discovering and Exploring Multi-perspective Processes. Retrieved from [http://www.processmining.org/\\_media/blogs/pubs2016/compositestatemachineminer.pdf](http://www.processmining.org/_media/blogs/pubs2016/compositestatemachineminer.pdf)
- van Eck, M. L., Sidorova, N., & van der Aalst, W. M. (2016b). Discovering and Exploring State-Based Models for Multi-perspective Processes. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 142–157). Springer. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45348-4\\_9](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45348-4_9)
- Weijters, A. J. M. M., van der Aalst, W. M. P., & Alves de Medeiros, A. K. (2006). Process Mining with Heuristics Miner Algorithm. BETA Working Paper Series. Eindhoven University of Technology.
- Zhao, X., & Liu, C. (2006). Tracking over Collaborative Business Processes. In *Bussiness Process Management: 4th International Conference, BPM* (pp. 30–48). Vienna: Springer. Retrieved from [https://books.google.com.cu/books?id=3Yh9bdxeW1UC&pg=PA47&lpg=PA47&dq=discovery+collaborative+business+process+management%2Balgorithms&source=bl&ots=UqwwXCSSK9&sig=jyF-9t0VlmwIqCM\\_XzBrcUEvuqk&hl=es-419&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiVxpjNhJPSAhVq6oMKHdbBD0wQ6AEIaDAJ#v=onepage&q=discovery%20collaborative%20business%20process%20management%2Balgorithms&f=false](https://books.google.com.cu/books?id=3Yh9bdxeW1UC&pg=PA47&lpg=PA47&dq=discovery+collaborative+business+process+management%2Balgorithms&source=bl&ots=UqwwXCSSK9&sig=jyF-9t0VlmwIqCM_XzBrcUEvuqk&hl=es-419&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiVxpjNhJPSAhVq6oMKHdbBD0wQ6AEIaDAJ#v=onepage&q=discovery%20collaborative%20business%20process%20management%2Balgorithms&f=false)

## Capítulo 8

pp 88-94

### NECESIDAD DE INTEGRACIÓN TRANSDISCIPLINARIA PARA LA VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Betancourt Bethencourt, José<sup>1</sup>, Juan Jesús Llambias Peláez<sup>2</sup>  
Elizabeth Nicolau Pestana<sup>3</sup>, Yarisnelli Torres Miranda.<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup> Universidad de Ciencias Médicas Carlos J. Finlay. /Camagüey, Cuba.

<sup>2,4</sup> Dirección Provincial de Salud. Departamento de Vigilancia, Camagüey, Cuba.

Correspondencia: José Betancourt Bethencourt, Universidad de Ciencias Médicas Carlos J. Finlay. Centro de Inmunología y Productos Biológicos. Apartado postal 320 Camagüey, Cuba. Teléfono: +5332 201316. Correo electrónico: [josebetancourt.cmw@infomed.sld.cu](mailto:josebetancourt.cmw@infomed.sld.cu)

#### RESUMEN

**Introducción:** la vigilancia epidemiológica es un sistema dinámico utilizado para valorar los factores que pueden afectar la salud pública. **Objetivo:** mostrar la conveniencia de formar equipos de trabajo que integren la minería de datos, la estadística y la vigilancia epidemiológica de manera transdisciplinaria. **Métodos:** en el municipio de Camagüey se tomaron a partir de los registros de la dirección provincial diversas variables, las climáticas, se obtuvieron de la página web libre <https://www.wunderground.com/history/>. **Resultados:** una vez confeccionada la base de datos se realizaron análisis de frecuencia, densidad, normalidad, se compararon áreas de salud y se valoran agrupamientos y correlaciones de variables, se determinó el efecto de las variables sobre la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, a partir de la incidencia semanal de esta variable se calculó el índice de transmisibilidad y el número reproductivo básico. Los datos fueron procesados con el programa R. **Conclusiones:** los resultados muestran la conveniencia de integrar de manera transdisciplinaria los equipos de vigilancia epidemiológica para explotar la minería de datos y la estadística a favor de la toma de decisiones.

**Palabras clave:** conocimientos en informática, estadística & datos numéricos, epidemiología, vigilancia sanitaria.

#### ABSTRACT

The epidemic surveillance is a dynamic system used to value the factors that can affect the public health. The present work is aimed to show the convenience of integrating transdisciplinary teams capable to reach data, to analyze it and support decision making. In the municipality of Camagüey, variables related to health were obtained from official reports, the climatic ones, were obtained from the free web <https://www.wunderground.com/history/>. once made the database it was carried out analysis of frequency, density, normality, besides, areas of health were compared and clusters of variables are valued, the effect of the variables was determined on the quantity of people assisted in consultation to be suspicious of dengue, starting from the weekly incidence of this variable it was calculated the transmission index and the basic reproductive number. The data were processed with the program R. The results showed the convenience of integrating teams in transdisciplinary way for the epidemic surveillance

**Key words:** computer literacy, statistics & numerical data ,epidemiology, health surveillance

## 1. INTRODUCCIÓN

La vigilancia es un sistema dinámico utilizado para valorar los factores que pueden afectar la salud pública, tiene tres etapas: a) identificación de situaciones, b) recolección, análisis e interpretación sistemática de los datos c) reportes técnicos para apoyar de manera inmediata la toma de decisiones (Toledo Curbelo Gabriel & otros. y, 2005).

La minería de datos o exploración de datos es el proceso que intenta descubrir patrones en los mismos para transformarlos en una estructura comprensible y útil para su uso y posterior análisis (Maimon Oded & Rokach Lior, 2010; Patel S, Naik VD, & Patel P June 2014).

Como programa estadístico y matemático se está incorporando a la vigilancia el programa libre R R-Core-Team., 2017 con paquetes como el *surveillance* Meyer Sebastian, Held Leonhard, & Hohle Michael, 2014, además se han incorporado programas conectados a la web para detectar de manera participativa problemas de salud pública (Wójcik O., Brownstein J., Chunara R., & Johansson M., 2014).

El objetivo del presente trabajo radica en mostrar la conveniencia de integrar de manera transdisciplinaria equipos de trabajo que integren la minería de datos, la estadística y los modelos matemáticos a la vigilancia epidemiológica.

## 2. MÉTODO

En el municipio de Camagüey se tomaron a partir de los registros de la dirección provincial de salud las variables de cada área del periodo de mayo de 2016 a mayo de 2017: estas fueron: a) cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, b) de esas personas las que resultaron positivas a la prueba de inmunoglobulina para detectar los anticuerpos contra el dengue, c) la incidencia semanal de focos detectados con estadios acuáticos del *Aedes aegypti* e) la incidencia semanal de mosquitos adultos colectados. Las variables climáticas, velocidad del viento, punto de rocío, humedad y temperatura promedios de esta área municipal se obtuvieron de la página web libre <https://www.wunderground.com/history/>.

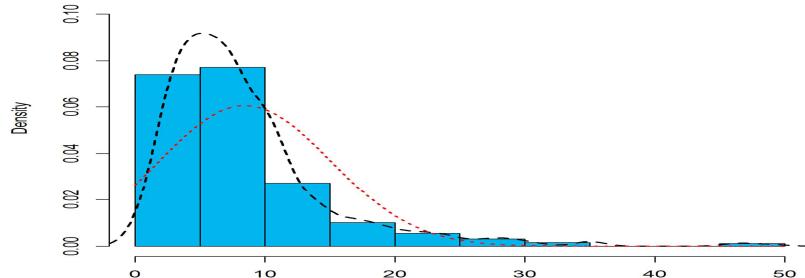
Con los datos disponibles se confeccionó una base de datos a partir de la cual se analizaron: a) comportamiento de las frecuencias, densidad y valoración de normalidad gráfica (confirmada con el shapiro test) de la variable cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, b) se utilizó un gráfico de boxplot, al que le se le adicionó en una función el método no paramétrico Kruskal Wallis test para comparar entre las áreas el comportamiento de la variable cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, c) a estos datos se les aplicó la técnica de componentes principales, d) se realizó una correlación Spearman entre todas las variables, e) se utilizó una técnica de regresión Poisson multivariada para evaluar el efecto de las variables analizadas sobre la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, f) se determinó a partir de la incidencia de la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue el índice de transmisibilidad y el número reproductivo básico con el paquete R0 (Boelle Pierre-Yves & Obadia Thomas, December 2016) y se realizó una simulación con el paquete EpiModel (Cori Anne, Oct 2013). Los datos fueron procesados con el programa R R-Core-Team., 2017 y de ellos se utilizaron entre otros los paquetes sjPlot (Lüdecke D, 2016) y ggplot2 (Wickham H. , 2009).

## 3. RESULTADOS

La primera tarea es extraer la información necesaria a partir una base de datos, la estructura de la salida de las tablas a analizar tiene que adecuarse a los objetivos propuestos. En este caso la unidad de análisis (filas) son las semanas y en las columnas están las variables a analizar.

Lo primero que se determinó fue la distribución de frecuencia, densidad y curva de normalidad. Estas estimaciones (Figura 1) permitieron caracterizar los datos y de esta manera decidir que modelos eran apropiados para trabajar con estas informaciones, es elemental igualmente determinar si responden o no a una distribución normal, en este caso se corroboró el comportamiento no normal con el test shapiro.

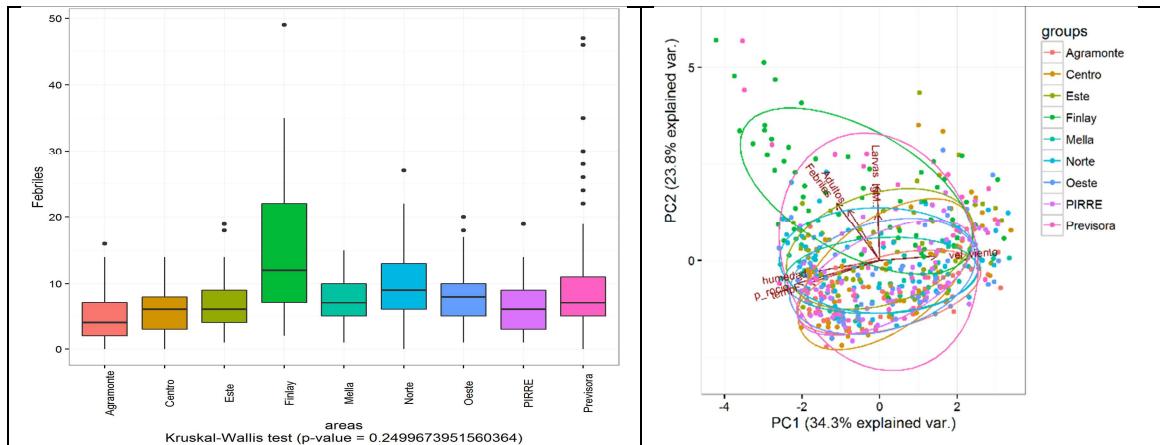
Figura 1. Comportamiento de la frecuencia (azul), densidad (línea discontinua negra) y curva de normalidad (roja discontinua). Shapiro-Wilk normality test ( $p < 0.00001$ ).



Fuente: elaboración propia basada R-Core-Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria 2017. Disponible en: <http://www.r-project.org>.

El gráfico de boxplot utilizado permitió comparar el comportamiento semanal de la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, (Figura 2) a esta función se le adicionó un análisis de comparación no paramétrica que facilitó definir si las diferencias eran estadísticamente significativas. El análisis de componentes principales fue realizado para corroborar la similaridad de comportamiento semanal de la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue en todas las áreas. Los resultados de estos análisis permiten concluir que en los nueve municipios la situación a enfrentar fue similar pues no se reflejen diferencias significativas estadísticamente.

Figura 2. La cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue han tenido un comportamiento similar en todas las áreas, sin mostrar diferencias significativas. A la izquierda el boxplot a la derecha los componentes principales.

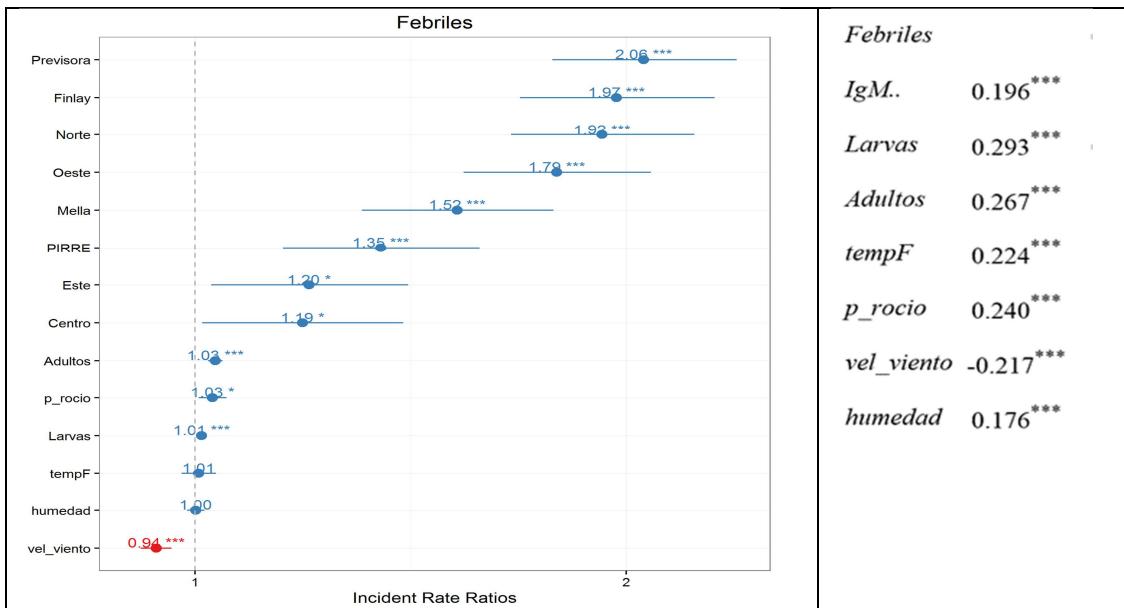


Fuente: elaboración propia basada en R-Core-Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria 2017. Disponible en: <http://www.r-project.org>.

Se encontró correlación entre la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue, la incidencia semanal de mosquitos adultos colectados y velocidad del viento, punto de rocío, humedad y temperatura promedios. Este tipo de análisis es frecuente en la vigilancia epidemiológica Higuera-Mendieta Diana Rocío, Cortés-Corrales Sebastián, Quintero Juliana, & González-Uribe Catalina, 2016 así como aquellos que vinculan los datos con el clima Colon-Gonzalez FJ, Fezzi C Lake, IR, & Hunte PR 2013; Hii YL, Zhu H, Ng N, Ng LC, & Rockl o V, 2012; Ortiz Bultó Paulo L , Rivero Valencia Alina , Linares Vega Yazenia , Pérez Carreras Alina , & Vázquez Cangas Juan R, April 2015; Rosa-Freitas MG, Schreiber KV, Tsouris P, Weimann ETDS, & Luitgards-Moura JF 2006. Pone de manifiesto la relación de las variables entomológicas y las climáticas.

En la regresión realizada (Figura 3) se demostró el efecto de las variables sobre la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue. Esta regresión multivariada Poisson se ha utilizado con propósitos similares Siriyasatien Padet, Phumee Atchara, Ongruk Phatsavee, Jampachaisri Katechan, & Kesorn Kraisak, 2016, o bien otros tipos de regresiones Ward Lewis and, 2013 que busquen valorar efectos sobre determinada variable.

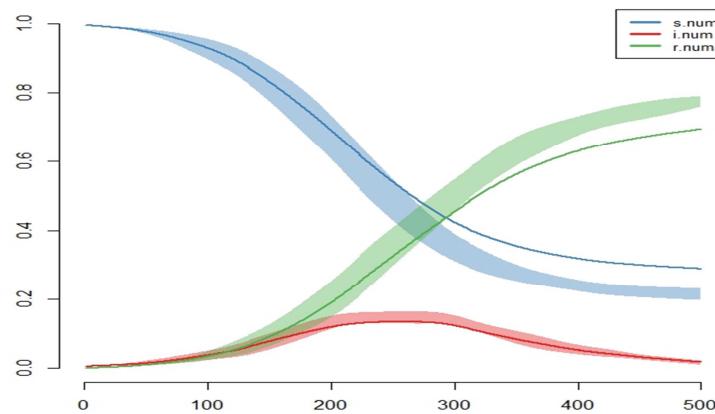
Figura 3. A la izquierda se muestra el impacto de las variables sobre la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue a la derecha de evalúa la correlación entre cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue con las demás variables.



Fuente: salida del R. R-Core-Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria 2017. Disponible en: <http://www.r-project.org>.

En la moderna vigilancia epidemiológica se valora el comportamiento del número reproductivo básico Boëlle PY , Bernillon P , & Desenclos JC, 2009; Johnson Tina V., March 2011 y se utilizan con mucha frecuencia los modelos matemáticos, entre ellos los estocásticos Barrios Jorge, Piétrus Alain, Marrero Aymée, de Arazoza Héctor, & Joya Gonzalo, 2011; López Luis E., Muñoz-Loaiza Aníbal, Olivar-Tost Gerard, & Betancourt-Bethencourt José 2012; Otero M & Solari HG, 2010; Pérez Andrés, Arazoza Héctor de, Sánchez Teresita, Barrios Jorge, & Severo Aymee, 2009; Zapata Hernán D. Toro, Restrepo Leonardo D., Vergaño-Salazar Juan G., & Muñoz-Loaiza Aníbal, 2010.

Figura 4. Simulación estocástica realizada con el índice reproductivo básico de la serie de tiempo de casos semanales de la cantidad de personas atendidas en consulta por sospecha de dengue ( $\text{Ro} = 1.006843$  y el índice de transmisibilidad  $\beta = 0.1678072$ )



Fuente: salida del R. R-Core-Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria 2017. Disponible en: <http://www.r-project.org>

#### 4. DISCUSIÓN

Para desarrollar el presente trabajo es necesario contar con datos según se necesiten y en diversos formatos, por supuesto el epidemiólogo tiene que saber cómo deben quedar estructurados para realizar los análisis y deben ser interpretados por el equipo en su conjunto de manera que compartan sus conocimientos junto a entomólogos o biólogos, no con trabajos fragmentados sino integrados, además se debe compartir el trabajo con académicos universitarios que valoren el trabajo de manera integral.

No habría capacidad de respuesta a las enfermedades que están emergiendo y reemergiendo sino se realiza un enfoque holístico, ya que estos problemas de salud son complejos y no respetan las fronteras artificiales disciplinarias creadas por el hombre, al comprender y aplicar estas visiones transdisciplinarias se mejorará la calidad de la vigilancia Estrada J., 2015.

Igualmente es conveniente evaluar las opiniones y conocimientos de la población como participantes en la investigación. Morales Mayo M.I, Betancourt Bethencourt J., Acao Françoise L., & León Ramentol C., 2016; Vanlerberghe Veerle et al., December 2010 Se han documentado experiencias transdisciplinarias para enfrentar epidemias vinculadas estrechamente a los actuales problemas sociales y ecológicos, Parkes Margot W. et al., 2005 así como de han establecido metodologías con sus sustentos teóricos Wallace W., 2014.

Por ejemplo, en enfermedades transmitidas por vectores como la Encefalitis Japonesa en la que convergen múltiples factores como el propio hombre, los animales, los ambientales, sociales; contribuyó a controlar esta enfermedad el desarrollar bases de datos, en primer lugar accesibles y donde se podían valorar datos multivariados, este trabajo facilitó controlar la epidemia y además crear una plantilla para continuar este trabajo en el futuro Rodríguez Y., Gómez L., & Berenguer M., 2010.

Con la transdisciplinariedad se alcanza el nivel más complejo y eficiente de interacción entre diversas disciplinas con cooperación y coordinación en base a objetivos comunes. En ella se logra construir un lenguaje híbrido y una epistemología nueva, es decir, se establece una visión estratégica común consolidada, mediante un proyecto de transformación consciente y creativa con metodologías alternativas viables y solución de problemas complejos Martínez F. , 2011.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados muestran la conveniencia de integrar la minería de datos, la estadística y los modelos matemáticos en la vigilancia epidemiológica en equipos de trabajos integrados preferiblemente de manera transdisciplinaria.

El programa R utilizado es una poderosa herramienta de libre acceso que puede favorecer la actividad de vigilancia epidemiológica con los análisis estadísticos gráficos y modelos matemáticos.

Los datos meteorológicos están disponibles y pueden incluirse en la vigilancia epidemiológica de manera sistemática.

Las salidas gráficas y estadísticas contribuyen a la comprensión del problema de salud y a su solución.

Los modelos matemáticos contenidos en la teoría de epidemias, es decir la determinación del número reproductivo básico y de las simulaciones para valorar el curso futuro de una enfermedad son útiles herramientas que se pueden incorporar a la vigilancia epidemiológica.

### Declaraciones.

No hay conflicto de intereses.

No hubo financiamiento para este trabajo.

No se reportan agradecimientos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios, J., Piétrus, A., Marrero, A., de Arazoza, H., & Joya, G. (2011). *Dynamical Models in Epidemiology. The cases of Dengue and HIV*. Paper presented at the Proceedings - Symposium on Applications of the Computer science and the Mathematics in Rehabilitation and Health . AIMRS 2011.Havana dc 13-15 december, Havana.
- Boelle, P.-Y., & Obadia, T. (December 2016). R0: Estimation of R0 and real-time reproduction number from epidemics. . Retrieved from [https://cran.r-project.org /package=R0](https://cran.r-project.org/package=R0)
- Boëlle , P., Bernillon, P., & Desenclos, J. (2009). A preliminary estimation of the reproduction ratio for new influenza A(H1N1) from the outbreak in Mexico. *Euro Surveill*, 14, 1-10.
- Colon-Gonzalez, F., Fezzi C, L., IR, & Hunte, P. (2013). The Effects of Weather and Climate Change on Dengue. *PLoS Negl Trop Dis*, 7(11), e2503.
- Cori, A. (Oct 2013). EpiEstim: EpiEstim: a package to estimate time varying reproduction numbers from epidemic curves. Retrieved from <http://cran.r-project.org/package=EpiEstim>
- Estrada, J. (2015). Análisis de la gestión de proyectos a nivel mundial. *Palermo Business Review*, 12, 61-98.
- Higuera-Mendieta, D. R., Cortés-Corrales, S., Quintero, J., & González-Uribe, C. (2016). KAP Surveys and Dengue Control in Colombia: Disentangling the Effect of Sociodemographic Factors Using Multiple Correspondence Analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10(9), 1-18. doi:10.1371/journal.pntd.0005016
- Hii, Y., Zhu, H., Ng, N., Ng, L., & Rockl, o. V. (2012). Forecast of Dengue Incidence Using Temperature and Rainfall. *PLoS Negl Trop Dis*, 6(11), e1908. doi:10.1371/journal.pntd.0001908
- Johnson, T. V. (March 2011). Chasing R0: Understanding The Effects of population dynamics on the basic reproduction number. *Journal of Biological Systems*,, 19(4), 577-589.
- López , L. E., Muñoz-Loaiza, A., Olivar-Tost, G., & Betancourt-Bethencourt , J. (2012). Modelo matemático para el control de la transmisión del Dengue. *Rev. Salud pública*, 14(3), 512-523.
- Lüdecke , D. (2016). sjPlot: Data Visualization for Statistics in SocialScience\_. R package version 3.3. Retrieved from <http://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>

- Maimon , O., & Rokach, L. (Eds.). (2010). *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. New York.: Springer.
- Martínez, F. (2011). Tesis de doctorado.Fundamentos epistemológicos para la construcción de una Educación Transdisciplinaria en Cuba. *Educación, Doctor en Ciencias de la Educación*. Retrieved from [http://revistas.mes.edu.cu/greenstone/collect/repo/index/assoc/D9789591/618771.dir/978959161877\\_1.pdf](http://revistas.mes.edu.cu/greenstone/collect/repo/index/assoc/D9789591/618771.dir/978959161877_1.pdf)
- Meyer, S., Held, L., & Hohle, M. (2014). Spatio-Temporal Analysis of Epidemic Phenomena Using the R Package surveillance. Retrieved from <http://surveillance.r-forge.r-project.org/>
- Morales Mayo, M. I., Betancourt Bethencourt, J., Aacao Francoise, L., & León Ramentol, C. (2016). Actitudes, conocimientos y prácticas sobre el dengue y su vector en el municipio Camagüey. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, aprox. 8 p. Retrieved from <http://www.revistaamc.sld.cu/index.php/amc/article/view/4296>
- Ortiz Bultó, P. L., Rivero Valencia, A., Linares Vega, Y., Pérez Carreras, A., & Vázquez Cangas, J. R. (April 2015). Spatial Models for Prediction and Early Warning of *Aedes aegypti* Proliferation from Data on Climate Change and Variability in Cuba. *MEDICC Review*, 17(2).
- Otero, M., & Solari, H. (2010). Stochastic eco-epidemiological model of dengue disease transmission by *Aedes aegypti* mosquito. *Mathematical Biosciences.*, 223(1), 32-46.
- Parkes, M. W., Bienen, L., Breilh, J., Hsu, L.-N., McDonald, M., Patz, J. A., . . . Yassi, A. (2005). All Hands on Deck: Transdisciplinary Approaches to Emerging Infectious Disease. *EcoHealth* 2, 258-272.
- Patel , S., Naik , V., & Patel, P. (June 2014). Use of Statistical Methods and Complexity of Data Analysis in Recent Research Publications in Basic Medical Sciences. *Natl J Community Med*, 5(2), 253-256.
- Pérez, A., Arazoza, H. d., Sánchez, T., Barrios, J., & Severo, A. (2009). A Theoretical Model for the Dengue Epidemic Using Delayed Differential Equations: Numerical Approaches. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02478-8\\_112](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02478-8_112) and <http://www.springerlink.com/content/m5r720j27mt6g363/> doi:10.1007/978-3-642-02478-8\_112
- R-Core-Team. ( 2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.r-project.org>
- Rodríguez, Y., Gómez, L., & Berenguer, M. (2010). Estrategia para la gestión de proyectos de cooperación Internacional en una entidad de ciencia e innovación tecnológica. *Ciencia en su PC*, 2, 1-16.
- Rosa-Freitas, M., Schreiber, K., Tsouris , P., Weimann, E., & Luitgards-Moura, J. (2006). Associations between dengue and combinations of weather factors in a city in the Brazilian Amazon. *Rev Panam Salud Publica.*, 20(4), 256-267.
- Siriwasatien, P., Phumee, A., Ongruk, P., Jampachaisri, K., & Kesorn, K. (2016). Analysis of significant factors for dengue fever incidence prediction. *BMC Bioinformatics*, 17(166), 166. doi:10.1186/s12859-016-1034-5
- Toledo Curbelo, G., & otros., y. (Eds.). (2005). *Fundamentos de Salud Pública*. Habana.
- Vanlerberghe, V., Toledo Romani, M. E., Rodríguez Díaz , M., Gómez Díaz, D., Baly Gil, A., Benítez Nousab , J. R., & Van der Stuyft, P. (December 2010). Community Involvement in dengue Vector Control: Cluster Randomised trial. *MEDICC Review*, 12(1).
- Wallace, W. (2014). *Gestión de Proyectos* (E. B. S. \_Heriot-Watt\_University Ed. Cuarta ed.). Edimburgo ,Reino Unido.
- Ward, L. a. (2013). Improving epidemiologic data analyses through multivariate regression modelling. *Emerging Themes in Epidemiology* 10(4), 2-10. Retrieved from <http://www.ete-online.com/content/10/1/4>
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag (Ed.) Retrieved from <http://ggplot2.org>
- Wójcik, O., Brownstein, J., Chunara, R., & Johansson, M. ( 2014). Public health for the people: participatory infectious disease surveillance in the digital age. *Emerging Themes in Epidemiology*, 11(7). Retrieved from <http://www.ete-online.com/content/11/1/7>
- Zapata, H. D. T., Restrepo, L. D., Vergaño-Salazar, J. G., & Muñoz-Loaiza, A. (2010). Dinámica de transmisión del Dengue clásico con control mecánico y profilaxis. *Rev. Salud Pública Colombia*, 12(6), 1020-1032.

## EL PROGRESO TECNOLÓGICO Y SU INFLUENCIA EN EL DESARROLLO HUMANO DEL ÁREA MEDITERRÁNEA

Miriem Mohamed El-Maslouhi<sup>\*1</sup>, Miguel Ángel Pérez-Castro<sup>\*2</sup> Miguel Ángel Montero-Alonso<sup>\*3</sup>,  
Universidad de Granada. Campus de Melilla.

### RESUMEN

Los importantes avances tecnológicos están influyendo en el proceso de desarrollo económico y cultural a escala planetaria, fenómeno que se ha denominado globalización. Ante el importante aumento en las comunicaciones y en la interdependencia comercial, surgió la necesidad de utilizar nuevas medidas que permitieran comparar el grado de desarrollo de los territorios y sus economías. Respondiendo a ello se creó el IDH (o HDI que mide el desarrollo humano) en 1990 y el IDT (que mide el desarrollo de las TIC) en 2009, convirtiéndose en herramientas muy valoradas por gobiernos, instituciones e investigadores. Con este trabajo se intenta conocer qué grado de relación existente entre estos dos índices, y entender cómo influye uno en el otro. El área de estudio elegido ha sido la cuenca mediterránea, por sus relaciones con amplia tradición histórica y porque es especialmente significativo el análisis de las posibles diferencias entre los países de ambas orillas.

**Palabras clave:** IDH, IDI, brecha digital.

### ABSTRACT

The important technological advances than influence the process of economic and cultural development on a planetary scale, have become a phenomenon that has been called globalization. The significant increase in communications and trade interdependence, has generated the need for new measures that allow the degree of development of territories and economies. In response the HDI in 1990 and IDI in 2009 were created, becoming tools highly valued by governments, institutions and researchers. This paper tries to know what degree of relationship exists between these two indexes and how it influences one in the other. The area of study chosen has been the Mediterranean basin, because of its relationships with a long historical tradition and because it is especially significant the analysis of possible differences between countries on the shores.

**Key words:** HDI, IDI, digital gap.

### 1. INTRODUCCIÓN

La medición del grado de desarrollo puede permitir realizar comparaciones entre países y establecer categorías diferenciadoras que permitan clasificarlos según sus Producto Interior Bruto per cápita (PIBpc) y otras tasas de crecimiento económico. Esto ha dado lugar a la idea generalmente aceptada de países *desarrollados* o del *primer mundo*, frente a países que están *en vías de desarrollo* o del *tercer mundo*<sup>[1]</sup>. Sin embargo, en 1990, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) definió un nuevo modelo en

<sup>1</sup> [mmohamed@correo.ugr.es](mailto:mmohamed@correo.ugr.es)

<sup>2</sup> [pcastro@ugr.es](mailto:pcastro@ugr.es)

<sup>3</sup> [mmontero@ugr.es](mailto:mmontero@ugr.es)

el que se valoraban las capacidades personales sobre los recursos económicos presentes en el territorio. Este modelo estaba avalado por la corriente científica desarrollada por Mahbub Ul Haq y el Premio Nobel de economía Amartya Sen<sup>[2]</sup>. Se desarrolló un modelo en el que el bienestar social se asocia a las capacidades de las personas y no a su satisfacción, es decir, que el desarrollo de un país se medirá a través de las oportunidades que poseen sus ciudadanos, más que por las actividades que realizan<sup>[3]</sup>. Con esta idea se creó el Índice de Desarrollo Humano (IDH o en sus siglas en inglés, Human Development Index, HDI) que, dada la simplicidad de los indicadores de los que está compuesto, es aplicable para todos los países y regiones, lo que ha facilitado su uso en numerosas investigaciones. El IDH está formado por tres dimensiones: la económica, la sanitaria y la educativa, que representan respectivamente, tener un nivel de vida digno, una vida larga y saludable y estar bien formado e informado, siendo el indicador resultante el promedio de estos tres parámetros<sup>[2]</sup>.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) contempla la necesidad de adaptar el índice a las circunstancias cambiantes y ha planteado la posibilidad de incorporar muchas más variables a su indicador de desarrollo. Asimismo, crea y publica índices complementarios que facilitan la obtención de una visión más profunda y compleja, como el índice de desarrollo de género, el de potenciación de género o el de pobreza humana, entre otros<sup>[4]</sup>. El IDH compara el nivel de éxito de las capacidades de los habitantes de un país, intentando que el desarrollo humano sea cada vez más equitativo y sostenible. Análisis tan diversos como la influencia de la transferencia de tecnologías, la recepción de población inmigrante trabajadora, la valoración de la eficiencia del uso de recursos o la importancia de las especialidades regionales son nuevas propuestas de métodos de perfeccionamiento del Índice. Por ejemplo, los resultados de los estudios de Elmawazini et al.<sup>[5]</sup> inciden en que el desarrollo humano aumenta la capacidad de los países para aprovechar los beneficios de las inversiones extranjeras.

Debido a que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC o ICT) se han convertido en una parte innegable de la sociedad, que está afectando a todos los sectores de esta, ya que permiten obtener muchas de las capacidades que están siendo necesarias para el desarrollo de la sociedad<sup>[6]</sup>, sus avances en el uso de ellas necesitaban ser medidos. Por esta razón surge el Índice de Desarrollo de las TIC (IDT) o ICT Development Index (IDI), índice que comenzó a publicarse anualmente en 2009, y que pretende cuantificar y comparar el nivel de evolución de las TIC entre territorios y períodos de tiempo<sup>[7]</sup>. El IDT fue creado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo enclavado en la ONU, y que tiene como misión el desarrollo de las normas técnicas que posibiliten la interconexión y la mejora del acceso a las TIC alrededor del mundo, independientemente de dónde vivan o de cuáles sean sus medios<sup>[7]</sup>.

Determinados estos dos importantes indicadores, se propone como objetivo de estudio analizar qué grado de relación puede existir entre el desarrollo humano, a través del IDH, y los avances en el uso de las TIC, medidos a través del IDT, ya que, si bien existen numerosos trabajos que utilizan estos índices en sus estudios, suelen ser empleados separadamente, y por tanto existe un amplio campo para conocer su correlación<sup>[5-6, 8-10]</sup>.

Por ello se ha tomado como área geográfica de análisis, los países del entorno del Mediterráneo, entorno muy significativo de estudio por la larga tradición histórica de relaciones entre sus pueblos, el importante diferencial existente en los actuales niveles de desarrollo a pesar de la cercanía existente y por las importantes políticas de cooperación mediante los denominados Acuerdos Euromediterráneos de Asociación, firmados en marzo del 2000. Estas medidas van destinadas a fomentar la cooperación económica (mediante la mejora de relaciones comerciales y la libre circulación de mercancías), legislativo (aproximación de normativas), medioambiental (tratamiento de residuos, calidad del suelo y aguas), cultural-educativa (intercambio de experiencias y métodos de enseñanza), financiera (reglamentación contable y de pagos corrientes y circulación de capitales) y científica-tecnológica (nuevas tecnologías TIC). Es importante destacar que es muy común la suposición de que la mayor parte de las mejores prácticas derivadas de los países desarrollados son de carácter universal y que después de algunas modificaciones menores, será aplicado con éxito en los diferentes entornos de negocio de desarrollo y economías emergentes, pero el área geográfica elegida es especialmente delicada para esta suposición por las diferencias culturales que crean distintos modos de vida entre países ribereños del Mediterráneo.

Para reforzar el objetivo principal planteado, se proponen los siguientes objetivos secundarios:

- Estudiar el IDH y el IDT por separado para observar las posibles diferencias entre los territorios así como durante el periodo estudiado.
- Realizar un estudio econométrico que calcule su posible relación entre ellos.
- Determinar si existen diferencias entre los resultados obtenidos para los países del norte y para los del sur del Mediterráneo, así como establecer hasta qué punto pueden influir las TIC en la calidad de vida de los habitantes de un territorio.

## 2. MARCO TEÓRICO

Existe una amplia literatura sobre la influencia que los avances tecnológicos están teniendo en las tres dimensiones que conforma el IDH: económica, sanitaria y educativa, pero no así los trabajos que analizan su posible correlación.

En referencia al crecimiento económico, según Castillo et al.<sup>[11]</sup>, la evolución tecnológica ha venido aparejada a una mayor eficiencia de los medios de producción, lo que conlleva un aumento de la producción y una maximización de los rendimientos obtenidos, provocando un abaratamiento de los costes que se traduce en una reducción de precios para los consumidores y un acceso masivo a los servicios y productos. Esto tiene una consecuencia directa en el aumento de la calidad de vida de las personas<sup>[12]</sup>. En esta línea de estudio, equiparando el término progreso al término económico referenciado a la tecnología, Mokyr<sup>[13]</sup> la define como la introducción de cualquier cambio en la aplicación de información al proceso de producción que permite la obtención de un incremento en la eficiencia: fabricación con menores recursos, o la elaboración de nuevos o mejores productos. Para Porter<sup>[14]</sup>, la tecnología se encuentra involucrada en cada actividad de la cadena de valor, luego el cambio tecnológico puede afectar la competencia a través de su impacto sobre virtualmente cualquier actividad.

En cuanto a la dimensión sanitaria o de salud, medida en la esperanza de vida, el proveer equitativamente de asistencia sanitaria a la población es fundamental para lograr el desarrollo de cualquier sociedad. La salud es esencial para el bienestar y obtener buenos niveles sanitarios ayudan a superar otros aspectos que vienen determinados por las diferencias sociales<sup>[15]</sup>. Aunque los gobiernos tienden a tener recursos limitados para garantizar una distribución equitativa de la asistencia, los avances tecnológicos pueden ayudar a continuar con el crecimiento de la esperanza de vida y a mejorar los datos de mortalidad en adultos y niños<sup>[16]</sup>. Por ejemplo, el uso de las TIC ayuda en la lucha contra la propagación de virus mortales en poblaciones infectadas, mediante la recogida de datos, compartir, analizar y ponerla a disposición en la identificación y tratamiento de las víctimas. Nigeria fue capaz de contener el Ébola mediante esfuerzos concertados para identificar, aislar y entrevistar a las víctimas durante el uso de señales móviles para realizar un seguimiento de las amenazas potenciales. Usando la última tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), los nigerianos, con la ayuda de la Organización Mundial de la Salud (OMS), fueron capaces de rastrear rápidamente los contactos y vínculos de los mapas entre las cadenas de transmisión identificados<sup>[17]</sup>. Las TIC pueden mejorar la atención a través de la recolección y análisis de datos y proporcionar la transparencia necesaria para múltiples proveedores, aseguradores y los funcionarios del gobierno para poder tomar decisiones informadas y llegar a las intervenciones apropiadas y opciones de tratamiento. El uso del teléfono celular está transformando la asistencia sanitaria en África. De los mil millones de habitantes en África, uno de cada seis poseen un teléfono celular, convirtiendo en más fácil la vigilancia, el seguimiento y la vigilancia de las enfermedades transmisibles<sup>[18]</sup>. En esta línea, la Salud móvil (mHealth) es un concepto emergente en la asistencia sanitaria en la que los dispositivos de comunicaciones móviles se utilizan en los servicios de salud e información<sup>[19]</sup>. Estudios adicionales han demostrado también que el uso de aplicaciones de salud móvil para la atención centrada en el paciente a reducir el costo de la atención de manera significativa<sup>[20-21]</sup>. Las aplicaciones médicas hacen que los teléfonos inteligentes herramientas útiles en la práctica de la medicina basada en la evidencia en el punto de atención<sup>[22]</sup>. Tales usos de las aplicaciones móviles de salud dan a la gente más opciones en cuanto a cómo pueden ir sobre llevar una vida más saludable. Kahn et al.<sup>[19]</sup> argumentan que la salud móvil también puede tener un beneficio no sanitario: la promoción del desarrollo económico local más

allá de la asistencia sanitaria. En cambio hay muchos desafíos, atendiendo al informe de infoDev por Chetley et al.<sup>[8]</sup>, sobre conectividad y acceso a la electricidad, las opciones de energía solar, y la fuente de alimentación de copias de seguridad; insuficiente infraestructura, altos costos, el lenguaje y su adecuación a las condiciones locales.

Por último, la dimensión educativa ha experimentado cambios con la incorporación de la tecnología a las aulas. Aunque existen múltiples clasificaciones de la tecnología: nuevas o antiguas<sup>[23]</sup>, electrónicas o manuales, de bajo o alto nivel<sup>[24]</sup>, estos autores se refieren específicamente a las TIC como el uso de la computadora y el internet para fines educativos tecnológicamente avanzados, ofreciendo posibilidades didácticas y pedagógicas de gran alcance. Las pizarras electrónicas, los ordenadores personales, el e-learning, el contacto entre docentes y alumnos, etc. modifican los procedimientos con la finalidad de incorporar las TIC a las rutinas de aula. A su vez Belloch<sup>[25]</sup> dice que a pesar del esfuerzo realizado para destinar amplios recursos a la informatización de los centros educativos, actualmente el problema de la integración de las TIC en la educación, no se establece tanto en relación al equipamiento físico de los ordenadores, como a la utilización que de los mismos se haga en el proceso educativo y la influencia que los mismos tendrán sobre la estructura organizativa de los centros. Además el desarrollo actual no garantiza la anhelada equidad en el uso de tecnología<sup>[26]</sup>. Desde luego las TIC están permitiendo una mayor posibilidad de comunicación entre las partes que participan en el proceso educativo, y esta interacción puede promover a su vez una mayor implicación, pero existen opiniones diversas si con ello se mejoran los resultados. Ciertos estudios demuestran la no adaptación de los contenidos, sino sólo cambian el soporte en el que se imparte<sup>[27]</sup>. Se ha documentado en algunos países, que la sola presencia de los ordenadores no basta para modificar las prácticas, pues cuando los profesores adoptan las innovaciones tecnológicas, por lo general suelen mantener más que alterar las prácticas existentes en las clases<sup>[28]</sup>. Pero como idea general, según la UNESCO<sup>[29]</sup>, las TIC pueden contribuir, no garantizándolo, al acceso universal a la educación, la igualdad en la formación, el ejercicio de la enseñanza, el aprendizaje de calidad y el desarrollo profesional de los docentes, así como a la gestión dirección y administración más eficientes del sistema educativo. A su vez, Mamtani, et al.<sup>[30]</sup> en sus estudios sobre la incidencia de los trabajadores inmigrantes en el indicador educativo del IDH, afirman que si el territorio es receptor de un número importante de trabajadores extranjeros de baja cualificación, esta población distorsiona la clasificación general en el IDH, ya que tiene un impacto negativo mensurable en el componente educativo. Y Wu et al.<sup>[31]</sup> en su investigación sobre la racionalidad del índice existente propone el empleo de un modelo de data envelopment analysis (DEA) como método factible de medición de la eficiencia y su influencia en la ponderación de indicadores del IDH. Ramírez et al.<sup>[10]</sup> consideran la importancia que tienen que tener las especificidades regionales en las políticas de educación e investigación universitaria, para que la educación alcanzada por la población permita la elevación de la productividad, el crecimiento y el desarrollo humano a escala territorial

Por tanto, Internet, los teléfonos móviles, los ordenadores y los avances en ingeniería y biotecnología han conseguido afectar de manera sustancial a la mayoría de los campos de estudio. Durante los últimos 20 años se han modificado los paradigmas sociales y culturales componiendo un panorama diametralmente opuesto al anterior en el que la información es un eje crucial y los tiempos se han acelerado exponencialmente<sup>[32]</sup>. Pese a lo relativamente reciente, numerosos autores ya definen el momento presente como la ‘tercera revolución industrial’, debido al enorme impacto que han provocado los avances informáticos en todos los aspectos de la sociedad<sup>[33]</sup>. En esta línea existen numerosos trabajos en los que se utiliza la relación de las TIC en el nivel educativo<sup>[34]</sup>, económico<sup>[35-37]</sup> o analizando distintas regiones<sup>[9, 38-39]</sup>. Si nos centraremos en el IDT como método de análisis en la relación entre las TIC y el desarrollo humano, buscando que nos sirva de ayuda a un mejor conocimiento del progreso de la sociedad, nos encontramos con estudios disonantes que enuncian conclusiones muy diversas sobre cuáles son los factores clave para reducir la brecha digital. Inicialmente la reducción de esta a través de las TIC se centró en superar las barreras de conectividad y acceso a más y más población, pero a medida que aumentaba la penetración de las TIC, las barreras ya no son solamente tecnológicas, sino también están influyendo las educativas, culturales y lingüísticas<sup>[40]</sup>. Recientes estudios han calculado la correlación entre el PIB y los niveles de acceso a internet por regiones, destacamos el realizado por Andres et al.<sup>[41]</sup> donde llegan al cálculo de que un 10% de incremento en el PIB per cápita está asociado con un incremento del 21,5% en el número de usuarios per capita de Internet. Pero si se comparan países industrializados y en vías de desarrollo, los resultados cambian de tal manera que también la educación se

vuelve significativa. Oyelaran-Oyeyinka et al.<sup>[42]</sup> confirman la importancia vital de las infraestructuras de telecomunicaciones representada por la alta correlación de la densidad de teléfono con conexión a Internet independientemente del nivel de ingreso per cápita del país. Concluyen también con que la capacidad de la red sin una ciudadanía educada no puede conducir a la transformación necesaria en la sociedad red, demostrando que la educación es un factor importante en el desarrollo. Según Rodríguez et al.<sup>[43]</sup> la "brecha digital" tiende a ser cada vez mayor según su índice de progreso tecnológico (ITP) donde la tasa de crecimiento promedio de ITP en las zonas desarrolladas es del 23% (1994-1996), mientras que la de los países más pobres en promedio un 18%.

### **3. METODOLOGÍA**

El estudio realizado en el presente trabajo se basa fundamentalmente en los dos índices ya mencionados: el IDH perteneciente al PNUD, y el IDT pertenece a la UIT. Ambos son publicados todos los años por estos organismos enclavados dentro de la ONU y para casi la totalidad de los países del mundo. Por lo tanto, para la obtención de estos índices se han utilizado las bases de datos oficiales y posteriormente han sido tratados mediante técnicas de estudio econométricas.

La pretensión es realizar el análisis sobre todos los países de la cuenca del Mediterráneo, pero debido a la falta de datos con rigurosidad en uno de ellos, Siria, finalmente el total de países se redujo a 17: Francia, España, Malta, Eslovenia, Israel, Italia, Grecia, Croacia, Serbia, Chipre, Turquía, Bosnia-Herzegovina, Túnez, Albania, Marruecos, Egipto y Argelia. Para llevarlo a cabo se analizan los datos obtenidos para el periodo comprendido entre 2010 y 2014. No se ha realizado con anterioridad porque, como ya se ha dicho, el IDT se definió en 2009 y no existen datos de años anteriores. Se analiza su evolución para conocer la brecha digital entre los distintos países estudiados, poniendo especial énfasis en la posible dicotomía entre el norte y el sur del mediterráneo.

Se utiliza el Índice de Desarrollo Humano convencional, propuesto por el PNUD para medir el nivel de desarrollo humano de un territorio y compuesto por tres subíndices: el primero es el índice del nivel de vida, medido a través del PIB real per cápita (entre 100 y 40.000 dólares de PPA y ponderado por un tercio), el segundo es el de longevidad, medido en función de la esperanza de vida al nacer (con valores entre 25 y 85 años y ponderada por un tercio), la cual es el resultado de las condiciones de salud, salubridad, higiene y nutrición imperante en una sociedad; y el tercer componente, es el índice de logro educativo, como combinación entre la tasa de alfabetización de adultos y la tasa bruta de matrícula combinada de educación primaria, secundaria y superior. Los valores de los tres subíndices oscilan entre 0 y 1 y tienen una ponderación cada uno de ellos de un tercio para formar el IDH, que también se sitúa entre 0 y 1<sup>[4]</sup>.

Las relaciones entre ellos, sus diferencias en cuanto a niveles de desarrollo a través de la brecha digital, y el grado en que los países pueden hacer uso de ellas para mejorar el crecimiento según el contexto de las capacidades y habilidades disponibles, son los motivos principales de análisis. El índice está diseñado para ser global y se quiere reflejar los cambios que tienen lugar en países con distintos niveles de desarrollo de las TIC. Con el uso de este índice se pretende reconocer que las TIC son facilitadoras del desarrollo humano, y lo realiza atendiendo a las mediciones obtenidas según la UIT<sup>[44]</sup>. Se ha de mencionar que el IDT posee valores comprendidos entre 0 y 10, pero para facilitar la comprensión de la comparación entre ellos, se ha modificado la escala para que coincida con la del IDH.

### **4. RESULTADOS**

A continuación se detallan los principales resultados obtenidos en el trabajo. Partiendo en primer lugar del cálculo del IDH y posteriormente el de las TIC.

En la Tabla 1 se muestra el IDH y su porcentaje de variación entre los países que se encuentran a orillas del Mediterráneo. Como se puede apreciar, los países más desarrollados son Israel, Francia y Eslovenia, que poseen valores cercanos a 0.9 sobre 1.0, mientras que los menos son Egipto y Marruecos. Turquía y Argelia se encuentran más cercanos al ecuador del índice. Se puede observar que en el periodo analizado no han existido modificaciones significativas en el orden que ocupan en el ranking los países y, excepto Israel, los

países europeos ocupan la parte superior de la tabla, mientras que los africanos se encuentran en los puestos inferiores. También, destaca las diferencias que existen entre los valores correspondientes en los primeros y los últimos países, donde en el año 2010 se sitúa esta diferencia cercana al cuarto de punto, mientras que al final del periodo se sitúan cercanos a un tercio de punto, y por tanto aumentando la brecha entre países en los últimos años.

**Tabla 1. Índice de Desarrollo Humano (IDH) 2010-2014.**

Posición	País	2010	2011	2012	2013	2014	TV*
1	Israel	0.883	0.888	0.890	0.893	0.894	1.2%
2	Francia	0.881	0.884	0.886	0.887	0.888	0.8%
3	Eslavonia	0.876	0.877	0.878	0.878	0.880	0.5%
4	España	0.867	0.870	0.874	0.874	0.876	1.0%
5	Italia	0.869	0.873	0.872	0.873	0.873	0.5%
6	Grecia	0.866	0.864	0.865	0.863	0.865	-0.1%
7	Chipre	0.848	0.852	0.852	0.850	0.850	0.2%
8	Malta	0.824	0.822	0.830	0.837	0.839	1.8%
9	Croacia	0.807	0.814	0.817	0.817	0.818	1.4%
10	Serbia	0.757	0.761	0.762	0.771	0.771	1.8%
11	Turquía	0.738	0.751	0.756	0.759	0.761	3.1%
12	Argelia	0.725	0.730	0.732	0.734	0.736	1.5%
13	Bosnia-Herz.	0.710	0.724	0.726	0.729	0.733	3.2%
14	Albania	0.722	0.728	0.729	0.732	0.733	1.5%
15	Túnez	0.714	0.715	0.719	0.720	0.721	1.0%
16	Egipto	0.681	0.682	0.688	0.689	0.690	1.3%
17	Marruecos	0.611	0.621	0.623	0.626	0.628	2.8%

\* Tasa de variación en el periodo 2010-2014.

Analizando el porcentaje de variación, solo Grecia decrece en el IDH, aunque disminuye muy ligeramente. En cuanto a los que mejoran, los mayores incrementos se encuentran en los países en desarrollo, ya que su crecimiento potencial es mucho mayor, como afirman Fukuda-Parr & Lopes<sup>[6]</sup>.

En la Table 2 se presentan los valores del IDT para el periodo estudiado y su tasa de variación. Metodológicamente hay que señalar que, a diferencia del IDH que toma valores entre 0 y 1, el IDT lo hace entre 0 y 10, por lo que se ha normalizado para poder comparar ambos índices.

**Tabla 2. Índice de Desarrollo de las TIC (IDT) 2010-2014.**

Posición	País	2010	2011	2012	2013	2014	TV*
1	Francia	0.709	0.730	0.773	0.787	0.812	15%
2	España	0.673	0.662	0.714	0.738	0.766	14%
3	Malta	0.643	0.669	0.708	0.725	0.752	17%
4	Eslavonia	0.675	0.670	0.696	0.713	0.723	7%
5	Israel	0.687	0.662	0.725	0.729	0.719	5%
6	Italia	0.657	0.628	0.666	0.694	0.712	8%
7	Grecia	0.628	0.614	0.670	0.685	0.709	13%
8	Croacia	0.621	0.575	0.670	0.690	0.700	13%
9	Serbia	0.511	0.540	0.607	0.624	0.645	26%
10	Chipre	0.598	0.573	0.609	0.611	0.637	7%
11	Turquía	0.442	0.438	0.512	0.529	0.558	26%
12	Bosnia-Herz.	0.431	0.453	0.489	0.523	0.528	23%
13	Túnez	0.343	0.358	0.407	0.423	0.473	38%
14	Albania	0.361	0.378	0.442	0.472	0.473	31%
15	Marruecos	0.329	0.346	0.409	0.427	0.447	36%
16	Egipto	0.328	0.366	0.428	0.445	0.440	34%
17	Argelia	0.282	0.298	0.330	0.342	0.371	32%

\* Variation Rate in the period 2010-2014.

Se aprecia que existe una diferencia media entre los países con un mayor y menor IDT de más de 0.4 puntos, por tanto esta es mayor que en el IDH. También hay un salto importante entre la mitad superior y la inferior de la tabla. En cuanto al orden de distribución de los países es similar a la del IDH, exceptuando el caso de

Israel que se sitúa en quinto lugar, y también este índice recoge que los puestos más altos corresponden a países europeos, mientras que en la cola se encuentran los africanos.

En cuanto al porcentaje de variación del IDT en todos los territorios se experimenta un crecimiento de más de dos dígitos, y lo que es más importante, que son mayores estos incrementos en la mitad inferior de la tabla, reduciéndose con ello ligeramente su brecha digital. En la Figura 1 se reflejan los datos del IDT para el mismo periodo, reflejando dichos aumentos en todos los países estudiados. Llaman la atención los casos de Serbia, Líbano, Túnez y Marruecos, que obtienen importantes crecimientos, subiendo en el ranking en 2014, desplazando a países que se encontraban por encima en la tabla en 2010. Además, en la zona más alta se encuentra Israel rodeado de países europeos, en la zona intermedia encontramos países de la zona de oriente medio mezclados con Líbano y Bosnia, mientras que en la parte más baja están los países africanos y Albania. Los territorios con un mayor desarrollo tecnológico poseen valores que duplican a los menos desarrollados.

Tras el análisis de los dos índices en todos los países, se procede al análisis econométrico, que se ha hecho siguiendo las líneas descritas en el apartado de metodología. Se ha estudiado el IDH en función del IDT, según las teorías explicativas antes mencionadas. En primer lugar se procedió a comparar las distintas relaciones que podían existir entre los dos índices, a fin de intentar establecer si existía tal relación y si era así, qué tipo sería más aconsejable desarrollar. La más recomendable era realizar la estimación lineal, puesto que la correlación no aumentaba de forma importante al aumentar la complejidad del modelo. Por lo tanto, una vez determinado que el modelo lineal era el idóneo para los datos utilizados, se realizó el estudio completo utilizando la aplicación estadística STATA 14.0 por ser uno de los paquetes más adecuados para este tipo de datos.

Se analizó el modelo utilizando datos de panel, y se procedió a comprobar la relación entre los índices, su fiabilidad, así como comprobar la ausencia de defectos en dicho modelo. En la Figura 1 se observan los resultados del análisis del IDH con respecto al IDT para los 17 países estudiados, utilizando los datos correspondientes al periodo 2010-2014.

El análisis arrojó la siguiente estimación, de la que se comprobó que no tuviera problemas de autocorrelación ni de heterocedasticidad. En esta estimación, el IDH es la variable dependiente del IDT, y tanto esta última como la constante son significativas, lo que indica que deben estar dentro del modelo.

**Figura 1. Relación entre el IDH y el IDT para los países del Mediterráneo (2010-2014)**

Fixed-effects (within) regression		Number of obs = 85	
Group variable: id		Number of groups = 17	
<b>R-sq:</b>			
within	= 0.5969	Obs per group:	
between	= 0.8324	min =	5
overall	= 0.7874	avg =	5.0
		max =	5
		F(1, 16) = 57.92	
corr(u_i, Xb) = 0.8462		Prob > F = 0.0000	
(Std. Err. adjusted for 17 clusters in id)			
IDH	Robust		
	Coef.	Std. Err.	t P> t  [95% Conf. Interval]
IDI	.0888382	.0116729	7.61 0.000 .0640927 .1135836
_cons	.7426615	.0066405	111.84 0.000 .7285843 .7567388
sigma_u	.0714216		
sigma_e	.00323599		
rho	.99795137	(fraction of variance due to u_i)	

Fuente: resultados obtenidos de STATA a partir de los datos del PNUD y la UIT.

Después del tratamiento de los datos, los resultados afirman que sí existe relación entre las dos variables y que esta se puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$IDH = 0.0888382IDT + 0.7426615$$

Se observa que la relación entre ambas variables es positiva, concretamente la proporción en la que varia el IDH en función del IDT es de aproximadamente un 8%. Esto indica que si el IDT aumentara en una unidad, manteniendo el resto de factores constantes, el IDH crecería en 0.088 puntos. Sin embargo, cabe destacar en este punto que, debido a las características de ambos índices, es imposible que experimenten cambios iguales o superiores a la unidad, puesto que ambos tienen un recorrido entre 0 y 1. Esto explica lo reducido del porcentaje de variación. Por lo tanto, si el desarrollo tecnológico aumenta en 0.1 puntos, el desarrollo humano lo hace en 0.0088 puntos.

En cuanto a la constante de la formula, esta indica que aunque fuera cero el IDT, el IDH tendría aproximadamente un valor de 0.74. Esto quiere decir que, si bien la tecnología influye en el desarrollo humano, existen otros aspectos que también influyen en este.

Ha de mencionarse que, como se ha explicado en el análisis de los índices por separado, el IDH tiene un crecimiento más lento. Principalmente esto se debe a que posee unos valores mucho mayores que el IDT, es decir, que se ha llegado a un nivel de avance que acerca los valores de los países al techo del índice. Por ello, el camino que pueden recorrer los valores del IDH es mucho más limitado que el del índice tecnológico y así se explica que una variación del IDT provoque una menor variación del IDH.

## 5. CONCLUSIONES

Se pretende determinar si relacionar el IDH con el IDT puede mejorar la forma de valoración del nivel de desarrollo de los países, ya que no es muy amplio el número de estudios que hayan analizado de manera conjunta la relación entre ambos, a pesar de que son índices que tienen un amplio reconocimiento e importancia en el contexto científico. Para ello se han estudiado los países del área mediterránea, con el objetivo de ver las diferencias entre el norte y sur y sus variaciones en los últimos años.

Analizando el comportamiento del IDH y el IDT se pone de manifiesto que el desarrollo humano presenta valores mayores que el tecnológico, ya que (tomando ambas en una misma escala) hay una diferencia media de 0.2 puntos entre ambos índices. Esto significa que los países estudiados están más cerca de alcanzar el pleno desarrollo humano antes que el desarrollo tecnológico, existiendo por tanto una mayor brecha digital. En cambio se puede observar claramente que el aumento del IDT lo está haciendo en mayor medida que el IDH, lo cual se puede considerar normal dada la revolución digital en la que nos encontramos, como afirman Brynjolfsson et al. [45].

A su vez se puede afirmar que existe una brecha tecnológica importante entre los países del norte y el sur del Mediterráneo; ahora bien, aunque en todos los países se mejora el indicador, se están acortando ligeramente estas diferencias gracias a que los crecimiento porcentuales están siendo mayores en los países menos desarrollados que en los más desarrollados. El estudio de los países de la cuenca mediterránea nos permite establecer qué tipo de relaciones existen entre estos indicadores y cómo se comportan uno con respecto al otro.

Según los resultados, sí existe una relación entre los índices estudiados, ya que el IDT es significativo en el modelo, y además esta relación es posiva. Esto nos permite responder al principal objetivo planeado, ya que se puede afirmar que sí tiene sentido relacionar el IDT y el IDH, puesto que, suponiendo los demás factores constantes, un aumento del desarrollo de las TIC provoca un aumento del desarrollo humano del 8.8%.

Esta relación indica que un aumento del desarrollo tecnológico incide positivamente en el desarrollo humano y además, gracias a que los crecimientos porcentuales en el IDT están siendo mayores en los países menos

desarrollados (superiores al 30%), contribuyendo a que la brecha en el desarrollo pueda recortarse. De este modo, se puede decir que el aumento de la infraestructura tecnológica, del acceso a las TIC y la mejora del nivel de uso, influye en la calidad de vida de las personas. De ahí que la inversión y la promoción de las TIC sea uno de los caminos apropiados para incidir en el desarrollo de los territorios, especialmente para el caso de países en vías de desarrollo. El fomento de este tipo de tecnología por parte de los gobiernos e instituciones públicas y privadas se hace necesario, considerándolo un campo de escasa relevancia, como dejan patente Chen et al.<sup>[32]</sup>. Es evidente que gracias a los objetivos marcados por grandes compañías de telecomunicaciones, con fuertes inversiones en I+D+i, están habilitando la posibilidad de conexión a redes de comunicaciones en territorios que hasta ahora no tenían (concretamente en países africanos) permitiendo que su población pueda tener acceso a una mejora tecnológica y a las posibilidades de desarrollo sanitario, formativo y económico que esta tecnología permite.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado gracias al convenio de colaboración con el Instituto de las Culturas (Ciudad Autónoma de Melilla).

## REFERENCIAS

- [1] QURESHI, S. (2013): Information and Communication Technologies in the Midst of Global Change: How do we Know When Development Takes Place?. **Information Technology for Development**, 19 (3), 189-192.
- [2] OECD (2013): **How's Life? 2013: Measuring Well-Being**, New York: OECD Publishing.
- [3] PNUD (2010): **La Verdadera Riqueza de las Naciones: Caminos al Desarrollo Humano**. Nueva York: Publicaciones del PNUD.
- [4] PNUD (2013): **Informe Sobre Desarrollo Humano 2013**. Nueva York: PBM Graphics.
- [5] ELMAWAZINI, K.; ATALLAH, G.; NWANKWO, S. & DISSOU, Y. (2013): US Foreign Affiliates, Technology Diffusion and Host Country Human Development: Human Development Index versus Human Capital, **Industry and Innovation**, 20 (4), 69-91.
- [6] FUKUDA-PARR, S., & LOPES, C. (Eds.). (2013): **Capacity for Development: New Solutions to Old Problems**. Routledge.
- [7] UIT (2014): **Informe sobre medición de la sociedad de la información 2014. Resumen Ejecutivo**. Ginebra, UIT Publications.
- [8] CHETLEY, A. [editor]; DAVIES, J.; TRUDE, B.; MCCONNELL, H.; RAMIREZ, R.; SHIELDS, T.; DRURY, P.; KUMEKAWA, J.; LOUW, J.; FEREDAY, G.; NYAMAI-KISIA, C. (2006): **Improving health, connecting people : the role of ICTs in the health sector of developing countries**. A framework paper. infoDev working paper; no. 7. Health. Washington, DC: World Bank.
- [9] MINISTR, J. & PITNER, T. (2015): Academic-Industrial Cooperation in ICT in a Transition Economy – Two Cases from the Czech Republic. **Information Technology for Development**, 21 (3), 480-491.
- [10] RAMÍREZ, J., AVELLANEDA, C. & PINEDA, K. (2015): Estimación del Índice de Desarrollo Humano ajustado para los departamentos colombianos. **Lecturas de Economía**, 83, 135-160.
- [11] CASTILLO, M.; BERCOVICH, N. & FERNÁNDEZ, A. (2013): **Economía Digital para el Cambio Estructural y la Igualdad**. Santiago: CEPAL-ALIS.
- [12] FOLADORI, G. (2005): Modernización ecológica, cambio tecnológico y globalización. **Revista Economía, Sociedad y Territorio**, 18 (5), 335-353.
- [13] MOKYR, J. (1990): **The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress**. New York, Oxford University press, Inc.
- [14] PORTER, M. (1985): **Ventaja Competitiva: Creacion y Sostenibilidad de un Rendimiento Superior**. Free Press, New York.
- [15] BRAVEMAN, P. & GRUSKIN, S. ( 2003 ): La definición de la equidad en salud . **Revista De Epidemiología y Salud Comunitaria**, 57 (4), 254 - 258.

- [16] FOLADORI, G. (2012): La nueva revolución tecnológica y sus impactos a la salud de los trabajadores. **Temporalis**, 24 (2), 17-27.
- [17] PADDOCK, C. (2014). ¿Cómo Nigeria impidió una epidemia de Ébola. **Medical News Today**. Disponible en <http://www.medicalnewstoday.com/articles/284229.php> Consultado el 20/01/2017.
- [18] BERKLEY, S. (2013): How cell phones are transforming health care in Africa. **Mit Technology Review**. Disponible en <http://www.technologyreview.com/view/519041/how-cell-phones-are-transforming-health-care-in-africa/> Consultado el 15/02/2017.
- [19] KAHN, J. G.; YANG, J. S. & KAHN, J. S. (2010): 'Mobile' health needs and opportunities in developing countries. **Health Affairs**, 29 (2), 252-258.
- [20] BOULOS, MNK, Wheeler, S., Tavares, C., & Jones, R. (2011): How smartphones are changing the face of mobile and participatory healthcare: an overview, with example from eCAALYX. **Biomedical Engineering Online**, 10, 1-24.
- [21] PAYNE, K. F. B.; WHARRAD, H. & WATTS, K. (2012): Smartphone and medical related App use among medical students and junior doctors in the United Kingdom (UK): a regional survey. **BMC Medical Informatics And Decision Making**, 12 (1), 121.
- [22] MOSA, A. S. M.; YOO, I. & SHEETS, L. (2012): A systematic review of healthcare applications for smartphones. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, 12 (1), 67.
- [23] HANKS, C (2009): **Technology and Values: Essential Readings**. Chichester, West Sussex; Malden, Wiley-Blackwell.
- [24] RESNICK, M (2006): **Computer as Paintbrush: Technology, Play and the Creative Society**. New York, Oxford University Press, 192-206.
- [25] BELLOCH, C. (2013): **Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el aprendizaje**. España. Universidad de Valencia. Disponible en: [www.uv.es/bellochc/pdf/pwtic2.pdf](http://www.uv.es/bellochc/pdf/pwtic2.pdf). Consultado el 20/07/2017.
- [26] OLIVEIRA, M. (2001): Do mito da tecnologia ao paradigma tecnológico; a mediação tecnológica nas práticas didático-pedagógicas. **Revista Brasileira De Educação**, 18, 101-107,
- [27] BARTOLOMÉ, A.R. (2013): **Conocimiento y Aprendizaje en la Revolución Tecnológica**. Madrid, Borrasca.
- [28] CUBAN, L.; KIRKPATRICK, H. & PECK, C. (2001): High access and low use of technologies in high school classrooms: Explaining an apparent paradox. **American Educational Research Journal**, 38 (4), 813-834.
- [29] UNESCO, U. (2013): **Wadden Sea**. UWHC 1992–2013.
- [30] MAMTANI, R., LOWENFELS, A., CHEEMA, S. & SHEIKH, J. (2014): Impact of migrant workers on the Human Development Index. **Perspectives in Public Health**, 134 (1), 22-24.
- [31] WU, P.; FAN, C. & PAN, S. (2014). Does Human Development Index Provide Rational Development Rankings? Evidence from Efficiency Rankings in Super Efficiency Model. **Social Indicators Research**, 116 (2), 647-658.
- [32] CHEN, W.; LAKSHMANAN, L.V., & CASTILLO, C. (2013): Information and influence propagation in social networks. **Synthesis Lectures on Data Management**, 5 (4), 1-177.
- [33] RIFKIN, J. (2011): **La Tercera Revolución Industrial: Cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo**. Barcelona, Paidós.
- [34] TERZIYANA, V.; GOLOVIANKOB, M. & SHEVCHENKOB, O. (2015). Semantic Portal as a Tool for Structural Reform of the Ukrainian Educational System. **Information Technology for Development**, 21 (3), 381-402.
- [35] SAMOILENKO, S.V. (2014): Where do Investments in Telecoms Come from? Developing and Testing a Framework of Sustained Economic Impact of Investments in Information and Communication Technologies. **Information Technology for Development**, 22 (4), 584-605.
- [36] HANCLOVA, J.; ROZEHNAL, P.; MINISTR, J. & TVRDIKOVA, M. (2015): The Determinants of IT Adoption in SMEs in the Czech-Polish Border Areas. **Information Technology for Development**, 21 (3), 426-444.
- [37] HARRIS, R. W. (2016): How ICT4D Research Fails the Poor. **Information Technology for Development**, 22 (1), 177-192.

- [38] NEMER, D. (2016): Online Favela: The Use of Social Media by the Marginalized in Brazil. **Information Technology For Development**, 22 (3), 364-379.
- [39] SAHAYAB, S. (2016). Are we Building a Better World with ICTs? Empirically Examining this Question in the Domain of Public Health in India. **Information Technology for Development**, 22 (1), 168-176.
- [40] PONELIS, S. & HOLMNER, M. (2015): ICT in Africa: Building a Better Life for All. **Information Technology for Development**, 21 (2), 163-177.
- [41] ANDRES, L.; CUBERES, D.; DIOUF, M. & SEREBRINSKY, T. (2010): The diffusion of the Internet: A cross-country analysis. **Telecommunications Policy**, 34 (5), 323-340.
- [42] OYELARAN-OYEYINKA, B. & LAL, K. (2005): Internet diffusion in sub-Saharan Africa: A cross-country analysis. **Telecommunications Policy**, 29 (7), 507-527.
- [43] RODRIGUEZ, F. & WILSON, E. J. (2000): **Are poor countries losing the information revolution. the world bank infodev.** The World Bank Infodev. Disponible en [www.infodev/library/wilsonrodriguez.doc](http://www.infodev/library/wilsonrodriguez.doc). Consultado el 20/01/2017.
- [44] UIT (2015): **Informe sobre medición de la sociedad de la información 2015. Resumen Ejecutivo.** Ginebra, UIT Publications.
- [45] BRYNJOLFSSON, E. & MCAFEE, A. (2012): **Race against the machine: how the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy.** Brynjolfsson and McAfee.

## **CARACTERIZACIÓN DEL COMERCIO DE MÉXICO Y EL SALVADOR**

**Ignacio Caamal Cauich<sup>1</sup>, Verna Grisel Pat Fernández<sup>1</sup>, José Félix García Rodríguez<sup>2</sup>,  
David Martínez Luis<sup>3</sup>, Abisai Serrano López<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5. Carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Texcoco, Estado de México. México. <sup>2</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad, Zona de la Cultura, Col.

Magisterial, C.P. 86040. Villahermosa, Centro, Tabasco, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma del Carmen. Calle 56 No. 4. Col. Benito Juárez, C.P. 24180, Ciudad del Carmen, Campeche, México.

e-mail: <sup>1</sup>icaamal82@yahoo.com.mx; <sup>1</sup>gricelpat@hotmail.com; <sup>2</sup>fgr55@hotmail.com;

<sup>3</sup>dmartinez@panpano.unacar.mx, <sup>1</sup>nike\_abi@hotmail.com

### **RESUMEN**

México tiene Tratado de Libre Comercio con las Repúblicas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, firmado en San Salvador, El Salvador, el veintidós de noviembre de dos mil once, el cual facilita el comercio con estos países. El objetivo del estudio es evaluar el comportamiento del comercio internacional entre los Estados Unidos Mexicanos y la República de El Salvador, con las tasas de crecimiento anual y acumulada, de las exportaciones, importaciones y balanza comercial. El saldo de la balanza comercial entre México y El Salvador ha sido positivo y creciente de 1993 a 2015, lo que significa exportaciones mayores a importaciones, y la tasa de crecimiento acumulada del saldo de la Balanza Comercial de México con El Salvador es de 403.42% en el periodo estudiado. La tasa de crecimiento acumulado de las exportaciones fue de 461.02%, mientras que la tasa de crecimiento de las importaciones fue de 866.66%, observándose mayor tasa de crecimiento en las importaciones. La mayoría de las exportaciones mexicanas son de productos manufacturados y sólo de algunos cultivos agrícolas entre los principales exportados, los cuales son el aguacate y el maíz blanco harinero. El comercio entre México y El Salvador le genera a México un saldo positivo en la balanza comercial, lo que refleja exportaciones netas positivas, comercio favorable a México.

**Palabras clave:** exportaciones; importaciones; balanza comercial; tasa de crecimiento.

### **CHARACTERIZATION OF TRADE IN MEXICO AND EL SALVADOR**

### **ABSTRACT**

Mexico has a Free Trade Agreement with the republics of Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras and Nicaragua, signed in San Salvador, El Salvador, in twenty-two of November in twenty-eleven, which facilitates trade with these countries. The objective of the study is to evaluate the behavior of international trade between the United States of Mexico and the Republic of El Salvador, with annual and cumulative growth rates of exports, imports and trade balance. The balance of trade between Mexico and El Salvador has been positive and growing from 1993 to 2015, which means imports exceeding exports, and the cumulative growth rate of the balance of trade of Mexico with El Salvador is 403.42% in the period studied. The accumulated growth rate of exports was 461.02%, while the rate of growth of imports was 866.66%, with highest rate of growth in imports. The majority of Mexican exports are manufactured goods and only some agricultural crops between the main exported, which are avocado and white maize flour. Trade between Mexico and El Salvador brings it to Mexico a positive balance in the trade balance, reflecting positive net exports, trade favorable to Mexico.

**Key words:** exports; imports; trade balance; growth rate.

## 1. INTRODUCCIÓN

El intercambio mercantil entre México y El Salvador proviene desde la época prehispánica, cuando la región formaba parte de Mesoamérica y las culturas mesoamericanas intercambiaban productos, básicamente mediante el trueque. Posteriormente, el intercambio de mercancías entre las naciones de esta región se mantuvo hasta la actualidad, adoptando nuevos métodos y formas de intercambio, incrementándose con la apertura comercial.

México tiene Tratado de Libre Comercio con El Salvador, primero en el Tratado del Triángulo del Norte, actualmente Tratado de Libre Comercio entre los Estados Unidos Mexicanos y las Repúblicas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, firmado en San Salvador, El Salvador, el veintidós de noviembre de dos mil once [SE, 2017]. Así mismo, México ha presentado una apertura comercial que prácticamente inicia y se potencializa a raíz del ingreso al Acuerdo General de Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) en el año de 1986, apertura comercial que continúa con la firma del Acuerdo de Complementación Económica entre los Estados Unidos Mexicanos y la República de Chile en el año de 1992 [Tovar, 2016].

La apertura comercial de México, continua con el ingreso formalmente en el Mecanismo de Cooperación Asia Pacífico en el año de 1993; mismo año en el que se llevó a cabo la firma del Tratado Trilateral de Libre Comercio con Estados Unidos de América y Canadá, el cual entró en vigor en el año de 1994; así mismo, en dicho año México ingresa a la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)*; posteriormente, firma el Tratado de Libre Comercio con los Estados de Colombia y Venezuela en el año de 1995, el cual sigue en vigor, pero sólo con la participación de México y Colombia; en ese mismo año se firma el Tratado de Libre Comercio con Costa Rica; y así sucesivamente hasta la actualidad, en donde los Estados Unidos Mexicanos ha firmado once Tratados de Libre Comercio con un total de cuarenta y tres países, seis Acuerdos de Complementación Económica, Acuerdos para la Promoción y Protección Recíproca de las Inversiones con veinticinco países y ha suscrito Acuerdos para Evitar la Doble Tributación con más de treinta y uno países [SE, 2017].

El flujo de los bienes y servicios que intercambian los países centroamericanos con la economía mexicana ha mantenido una tendencia creciente en los últimos años, ya que, al ser mercados con grandes similitudes, las demandas de mercancías se conservan constantes.

El objetivo del trabajo es evaluar la distribución y el comportamiento del comercio internacional entre los Estados Unidos Mexicanos y la República de El Salvador para determinar la importancia del comercio entre dichos países. Para cumplir con el objetivo planteado se realiza un análisis del comportamiento de las exportaciones mexicanas con destino a El Salvador, para determinar el peso que tienen las exportaciones hacia El Salvador del total exportado, así como un análisis del comportamiento de las importaciones mexicanas de origen salvadoreño para conocer la importancia de las importaciones provenientes de este país con respecto al total importado. Además, se espera que las exportaciones mexicanas con destino a El Salvador hayan presentado un crecimiento mayor al de las importaciones mexicanas de origen salvadoreño, por lo que la tasa de crecimiento en el saldo de la Balanza Comercial de los Estados Unidos Mexicanos y El Salvador presenta un crecimiento constante.

La presentación del estudio se realiza con base al método deductivo, el cual organiza el trabajo de lo general a lo particular, y además se utiliza el método de análisis y síntesis, que consiste en descomponer un todo en partes para su estudio específico, y con posterioridad integrar cada una de las partes para obtener un nuevo conocimiento expresado de manera sintética [Perales y Lastiri, 2009]. El trabajo contiene apartados económicos generales, de importaciones y exportaciones, de balanza comercial de México y El Salvador, general y sectorial, y de fracciones arancelarias. Las principales variables que se cuantificaron y analizaron son las exportaciones, las importaciones y el saldo en la balanza comercial de los Estados Unidos Mexicanos y la República de El Salvador.

La cuantificación y análisis de la información requirió de la metodología de la tasa de crecimiento anual, de acuerdo con el Banco Mundial [2017] las tasas de crecimiento se calculan como promedios anuales y se presentan como porcentajes. Así mismo, las tasas de crecimiento de los valores se calculan a partir de series constantes y se calculan como variaciones proporcionales respecto del período anterior.

La fórmula para calcular la tasa de crecimiento para todo el periodo es:  $T=[(Vf/Vi)-1]*100$ , donde: T=Tasa de crecimiento; Vf=Valor final; y Vi=Valor inicial; y la fórmula empleada en el cálculo de la tasa de crecimiento anual es:  $Ta=[(Vf/Vi-1)-1]*100$ , donde: Ta=Tasa de crecimiento anual; Vf=Valor final; y Vi=Valor inicial.

## 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE MÉXICO Y EL SALVADOR

### 2.1. Estados Unidos Mexicanos

#### Ubicación geográfica

Los Estados Unidos Mexicanos, se localiza en la región de Norteamérica. Limita al Norte con los Estados Unidos de América y al Sureste con Guatemala y Belice (Fig.1). La superficie del México es de 1,964,375 km<sup>2</sup>. Tiene 11,122 km de litorales, repartidos en dos vertientes: al Occidente, el océano Pacífico y el Golfo de California; y al Este, el Golfo de México y el Mar Caribe. México tiene poco más de 3,200 km de largo entre los puntos terrestres más lejanos. La capital de México es la Ciudad de México.



Figura 1. Georreferenciación de México.

Fuente: Tomado de INEGI [2016].

#### Indicadores económicos básicos

El número de habitantes que tiene México en 2014, es un total estimado de 123,799,000; el Producto Interno Bruto (PIB) del país, en ese mismo año, fue de 1,282,720 millones de dólares; la Balanza de Cuenta Corriente presentó un saldo negativo de 26,453 millones de dólares; el comercio internacional como porcentaje del PIB fue de 65.6% [OMC, 2016]. El producto interno bruto per cápita se encuentra en cerca de 7,000 dólares (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores económicos básicos de México.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Población	Miles de personas	123,799
Población Económicamente Activa	Miles de personas	74,279
Producto Interno Bruto	Millones de dólares	1,282,720
PIB per cápita	Miles de dólares por persona	10.36
Saldo en la Balanza de Cuenta Corriente	Millones de dólares	-26,453
Comercio per cápita	Dólares	6,672
Ranking como exportador	Número	15
Ranking como importador	Número	14

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

### Política comercial

México ingresó a la OMC el primero de enero de 1995, el último examen a las políticas comerciales mexicanas se realizó en abril de 2013 [OMC, 2016]. México tiene el 100% de sus aranceles consolidados, es decir, presenta una apertura comercial total. En el sector agrícola se tiene que el 38.3% del total de importaciones fue libre de impuestos, mientras que en los sectores no agrícolas fue de 74% (Tabla 2).

Tabla 2. Política comercial mexicana.

Indicador	Unidad de medida	Fecha/Cantidad
Adhesión a la OMC	Fecha	1 de enero de 1995
Revisión de política económica	Fecha	Abril de 2013
Aranceles consolidados	Porcentaje	100.0
Importaciones agrícolas libres de impuestos	Porcentaje	38.3
Importaciones no agrícolas libres de impuestos	Porcentaje	74.0

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

### Comercio de mercancías

El valor de las exportaciones de bienes de México es de 397,506 millones de dólares, a precios FOB; el valor de las importaciones es de 411,581 millones de dólares, a precios CIF [OMC, 2016]. México aportó el 2.09% del total de las exportaciones a nivel mundial y el 2.16% del total de las importaciones del mundo (Tabla 3).

Tabla 3. Comercio de mercancías de México.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Exportación de mercancías (F.O.B.)	Millones de dólares	397,506
Importaciones de mercancías (C.I.F.)	Millones de dólares	411,581
Participación en las exportaciones mundiales totales	Porcentaje	2.09
Participación en las importaciones mundiales totales	Porcentaje	2.16
Exportación de productos agrícolas	Porcentaje	6.60
Exportación de combustibles y minerales	Porcentaje	13.40
Exportación de manufacturas	Porcentaje	77.80
Importación de productos agrícolas	Porcentaje	7.50
Importación de combustibles y minerales	Porcentaje	10.60
Importación de manufacturas	Porcentaje	79.20

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

El principal socio comercial de la economía mexicana es Estados Unidos, al cual van dirigidas el 80.2% de las exportaciones mexicanas y es origen del 49% de las importaciones mexicanas (Tabla 4).

Tabla 4. Ranking de los socios comerciales de México.

Ranking	País destino	Peso (%)	Ranking	País origen	Peso (%)
1	Estados Unidos	80.2	1	Estados Unidos	49.0
2	Unión Europea	5.1	2	China	16.6
3	Canadá	2.7	3	Unión Europea	11.1
4	China	1.5	4	Japón	4.4
5	Brasil	1.2	5	República de Corea	3.4

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

### Comercio de servicios

En comercio de servicios se tiene que México exporta 21,037 millones de dólares e importa 31,714 millones de dólares, lo que refleja un saldo negativo. Los principales servicios exportados por la economía mexicana son viajes y transporte, los cuales tienen una participación de 77.3% y 4.1% del total exportado, respectivamente. Los principales servicios importados por la economía mexicana son transporte y viajes, el primero con 46.3% y el segundo con 30.5% del total importado (Tabla 5).

Tabla 5. Comercio de servicios de México.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Exportaciones	Millones de dólares	21,037
Importaciones	Millones de dólares	31,714
Participación en las exportaciones mundiales	Porcentaje	0.43
Participación en las importaciones mundiales	Porcentaje	0.66
Exportación de transporte	Porcentaje	4.10
Exportación de viajes	Porcentaje	77.30
Importación de transporte	Porcentaje	46.30
Importación de viajes	Porcentaje	30.50

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

## 2.2. República de El Salvador

### Ubicación geográfica

La República de El Salvador está situada en la región de América Central, con un territorio de 20,742 km<sup>2</sup>, se refiere al país más pequeño de Centroamérica y es el único sin costas sobre el Mar Caribe. Limita al Norte con la República de Honduras, al Sur con el Océano Pacífico (307 km de costa), al Este con la República de Honduras y la República de Nicaragua (Golfo de Fonseca de por medio), y al Oeste con la República de Guatemala (Fig. 2).



Figura 2. Localización geográfica de El Salvador.  
Fuente: Tomado del Centro Nacional de Registros [2016]

### Indicadores económicos básicos

La República de El Salvador en 2014 tenía un total de 6,384,000 habitantes; el Producto Interno Bruto (PIB) fue de 25,220 millones de dólares (Tabla 6); la Balanza de Cuenta Corriente presentó un saldo negativo de 1,200 millones de dólares; el comercio internacional como porcentaje del PIB fue de 69.9% [OMC, 2016].

Tabla 6. Indicadores básicos de El Salvador.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Población	Miles de personas	6,384
Población económicamente activa	Miles de personas	2,808
Producto interno bruto	Millones de dólares	25,220
PIB per cápita	Miles de dólares por persona	3.95
Saldo en la balanza de cuenta corriente	Millones de dólares	-1,200
Comercio per cápita	Dólares	2,693
Ranking como exportador	Número	108
Ranking como importador	Número	100

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

### Política comercial

El Salvador ingresó a la OMC el siete de mayo de 1995, el último examen a las políticas comerciales salvadoreñas se realizó en febrero de 2010. El Salvador tiene el 100% de sus aranceles consolidados, es decir, presenta una apertura comercial total [OMC, 2016]. En el sector agrícola se tiene que el 24.7% del total de importaciones fue libre de impuestos, mientras que en los sectores no agrícolas fue de 58.4% (Tabla 7).

Tabla 7. Política comercial salvadoreña.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Adhesión a la OMC	Fecha	7 de mayo de 1995
Revisión de política económica	Fecha	Febrero de 2010
Aranceles consolidados	Porcentaje	100
Importaciones agrícolas libres de impuestos	Porcentaje	24.7
Importaciones no agrícolas libres de impuestos	Porcentaje	58.4

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

### Comercio de mercancías

El valor de las exportaciones de bienes es de 5,273 millones de dólares, a precios FOB; el valor de las importaciones es de 10,513 millones de dólares, a precios CIF. El Salvador aportó el 0.03% del total de exportaciones a nivel mundial y el 0.06% del total de importaciones del mundo (Tabla 8).

Tabla 8. Comercio de mercancías de El Salvador.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Exportación de mercancías (F.O.B.)	Millones de dólares	5,273
Importaciones de mercancías (C.I.F.)	Millones de dólares	10,513
Participación en las exportaciones mundiales totales	Porcentaje	0.03
Participación en las importaciones mundiales totales	Porcentaje	0.06
Exportación de productos agrícolas	Porcentaje	20.00
Exportación de combustibles y minerales	Porcentaje	4.10
Exportación de manufacturas	Porcentaje	75.40
Importación de productos agrícolas	Porcentaje	18.20
Importación de combustibles y minerales	Porcentaje	18.40
Importación de manufacturas	Porcentaje	63.20

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

El principal socio comercial de la economía salvadoreña es Estados Unidos, al cual van dirigidas el 46.5% de las exportaciones salvadoreñas y es origen del 41% de las importaciones de El Salvador. México figura como proveedor de la economía salvadoreña, ya que es el cuarto país, en grado de participación porcentual, del cual importa El Salvador sus mercancías, la participación de México en las importaciones del mercado salvadoreño es de 7% (Tabla 9).

Tabla 9. Ranking de los socios comerciales de El Salvador.

Ranking	País destino	Peso (%)	Ranking	País origen	Peso (%)
1	Estados Unidos	46.5	1	Estados Unidos	41.0
2	Honduras	14.2	2	Guatemala	9.5
3	Guatemala	13.4	3	China	7.3
4	Nicaragua	6.4	4	México	7.0
5	Costa Rica	4.6	5	Unión Europea	5.9

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

## **Comercio de servicios**

El Salvador, en materia de servicios, exporta 2,165 millones de dólares e importa 1,434 millones de dólares. Los principales servicios exportados por la economía salvadoreña son viajes y transporte, los cuales tienen una participación de 37.9 y 25.6% del total exportado, respectivamente. Los principales servicios importados por la economía de El Salvador son transporte y viajes, el primero con 40.3% y el segundo con 17.3% del total importado (Tabla 10).

Tabla 10. Comercio de servicios de El Salvador.

Indicador	Unidad de medida	Cantidad
Exportaciones	Millones de dólares	2,165
Importaciones	Millones de dólares	1,434
Participación en las exportaciones mundiales	Porcentaje	0.04
Participación en las importaciones mundiales	Porcentaje	0.03
Exportación de transporte	Porcentaje	25.60
Exportación de viajes	Porcentaje	37.90
Importación de transporte	Porcentaje	40.30
Importación de viajes	Porcentaje	17.30

Fuente: Elaborado con base de datos de la OMC [2016].

## **3. COMERCIO DE MÉXICO Y EL SALVADOR**

### **3.1. Importancia del comercio internacional de México con El Salvador**

Tabla 11. Comercio internacional de México con El Salvador.

Año	Exportaciones totales (Millones de dólares)	Exportaciones a El Salvador (Millones de dólares)	%	Importaciones totales (Millones de dólares)	Importaciones de El Salvador (Millones de dólares)	%
1993	51,886.00	113.40	0.22	65,366.50	14.10	0.02
1994	60,882.20	128.50	0.21	79,345.90	19.30	0.02
1995	79,541.50	147.70	0.19	72,453.10	7.90	0.01
1996	95,999.70	158.10	0.16	89,468.80	18.90	0.02
1997	110,431.50	214.10	0.19	109,808.20	24.10	0.02
1998	117,539.30	218.10	0.19	125,373.10	25.30	0.02
1999	136,361.80	244.40	0.18	141,974.80	18.20	0.01
2000	166,120.70	245.60	0.15	174,457.80	19.80	0.01
2001	158,779.70	274.30	0.17	168,396.40	29.90	0.02
2002	161,046.00	291.70	0.18	168,678.90	36.40	0.02
2003	164,766.40	286.40	0.17	170,545.80	44.30	0.03
2004	187,998.50	317.20	0.17	196,809.60	50.20	0.03
2005	214,232.90	471.60	0.22	221,819.50	58.50	0.03
2006	249,925.10	496.90	0.20	256,058.30	58.60	0.02
2007	271,875.30	518.30	0.19	281,949.00	61.60	0.02
2008	291,342.60	801.10	0.27	308,603.20	70.60	0.02
2009	229,703.50	462.50	0.20	234,385.00	71.10	0.03
2010	298,473.10	658.00	0.22	301,481.80	105.20	0.03
2011	349,433.40	665.80	0.19	350,842.90	110.30	0.03
2012	370,769.90	608.80	0.16	370,751.60	106.00	0.03
2013	380,015.00	639.20	0.17	381,210.20	125.80	0.03
2014	397,128.70	604.90	0.15	399,977.20	127.30	0.03
2015	380,772.00	636.20	0.17	395,232.40	136.30	0.03

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

El Salvador es un país de Centroamérica cuyo comercio internacional no tiene mucho impacto dentro de la balanza comercial de México, puesto que únicamente alcanza a representar el 0.22% de las exportaciones que la economía mexicana realiza. De igual manera, las importaciones provenientes de El Salvador representan el 0.03% de las importaciones totales realizadas por la economía mexicana (Tabla 11).

Las exportaciones de México a El Salvador en términos porcentuales promedios del total exportado por parte de la economía mexicana se encuentra en alrededor del 0.25%, a excepción del año 2008, en el cual llegó a ser de 0.27% (Fig. 3).

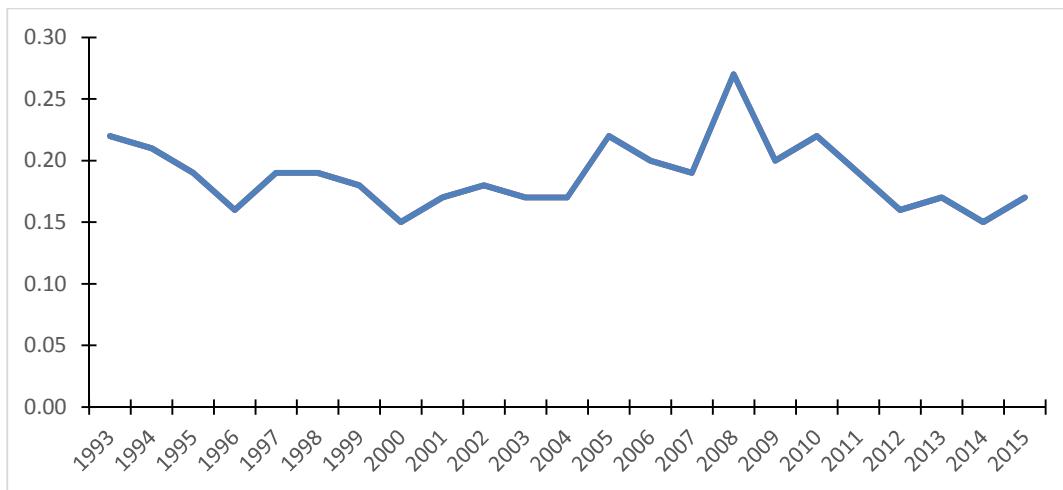


Figura 3. Importancia de las exportaciones mexicanas a El Salvador (%).

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

Las importaciones de México provenientes de El Salvador, en términos porcentuales del total importado por parte de la economía mexicana, no rebasan el 0.03% en los años de mayor proporción y ligeramente por arriba de 0.01 en los años de menor proporción (Fig. 4).

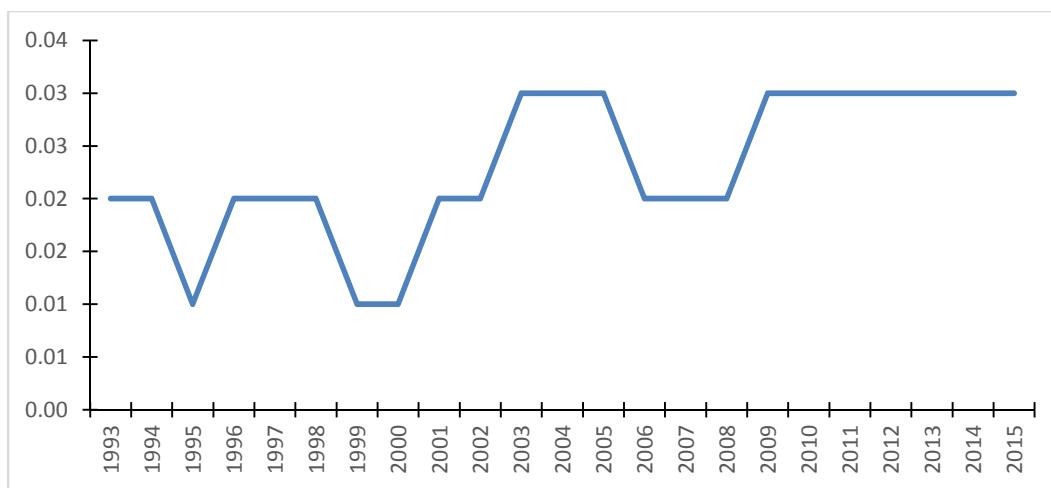


Figura 4. Importancia de las importaciones mexicanas de El Salvador (%).

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

### 3.2. Importancia del comercio internacional de El Salvador con México

La importancia del comercio internacional de El Salvador y México también es de bajo impacto, ya que del total de las exportaciones que realizó El Salvador en 2015, únicamente el 2.48% tuvieron como destino el mercado mexicano. Por el lado de las importaciones, el mercado salvadoreño adquirió de la economía mexicana un 6.11% del total de sus importaciones (Tabla 12).

Tabla 12. Comercio internacional de El Salvador con México.

Año	Exportaciones totales (Millones de dólares)	Exportaciones a México (Millones de dólares)	(%)	Importaciones Totales (Millones de dólares)	Importaciones de México (Millones de dólares)	(%)
1993	1,032.0	14.1	1.4	2,145.0	113.4	5.3
1994	1,249.5	19.3	1.5	2,575.4	128.5	5.0
1995	1,652.0	7.9	0.5	3,328.9	147.7	4.4
1996	1,788.3	18.9	1.1	3,221.4	158.1	4.9
1997	2,426.1	24.1	1.0	3,744.3	214.1	5.7
1998	2,441.1	25.3	1.0	3,968.0	218.1	5.5
1999	2,510.0	18.2	0.7	4,094.7	244.4	6.0
2000	2,941.3	19.8	0.7	4,948.2	245.6	5.0
2001	2,863.7	29.9	1.0	5,026.7	274.3	5.5
2002	2,995.0	36.4	1.2	5,184.4	291.7	5.6
2003	3,128.0	44.3	1.4	5,754.2	286.4	5.0
2004	3,304.6	50.2	1.5	6,328.9	317.2	5.0
2005	3,436.4	58.5	1.7	6,809.1	471.6	6.9
2006	3,729.9	58.6	1.6	7,762.6	496.9	6.4
2007	4,014.5	61.6	1.5	8,820.6	518.3	5.9
2008	4,641.0	70.6	1.5	9,817.6	801.1	8.2
2009	3,866.0	71.1	1.8	7,325.3	462.5	6.3
2010	4,499.2	105.2	2.3	8,416.1	658.0	7.8
2011	5,308.1	110.3	2.1	9,964.5	665.8	6.7
2012	5,339.0	106.0	2.0	10,258.0	608.8	5.9
2013	5,491.0	125.8	2.3	10,771.9	639.2	5.9
2014	5,272.6	127.3	2.4	10,512.8	604.9	5.8
2015	5,484.9	136.3	2.5	10,415.4	636.2	6.1

Fuente: Elaborado con datos de la SE [2016] y del Banco Central de Reserva de El Salvador [2016].

La importancia de las exportaciones de El Salvador a México, en términos porcentuales, del total exportado por parte de la economía salvadoreña, no rebasa el 3.0%, en todo el periodo analizado oscila entre 0.7 y 2.5% (Fig. 5).

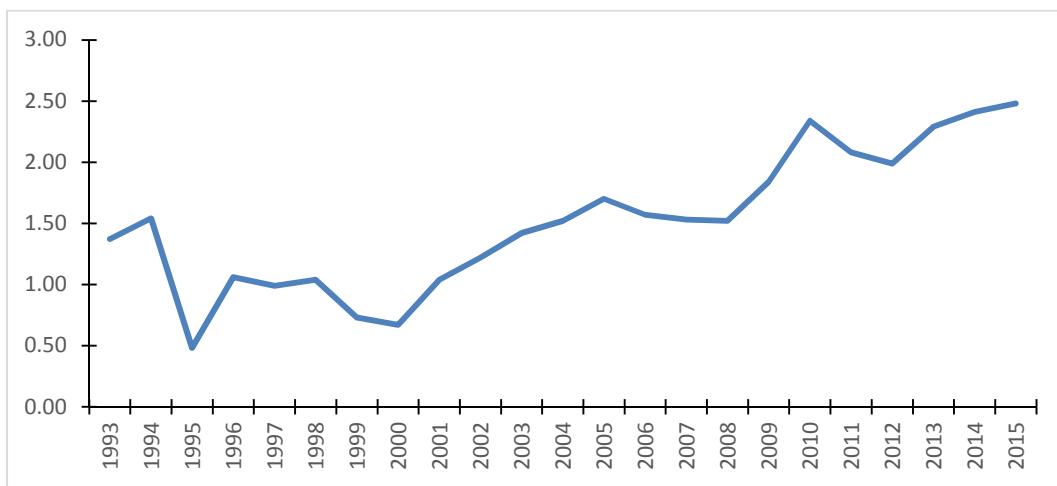


Figura 5. Importancia de las exportaciones salvadoreñas a México (%).

Fuente: Elaborado con datos de la SE [2016] y del Banco Central de Reserva de El Salvador [2016].

La importancia de las importaciones de El Salvador provenientes de México, en términos porcentuales del total importado por parte de la economía salvadoreña, no rebasa el 8.0%, en todo el periodo analizado oscila entre 4.5 y 8.2% (Fig. 6), esta proporción de importaciones de El Salvador de México es significativa para el país.

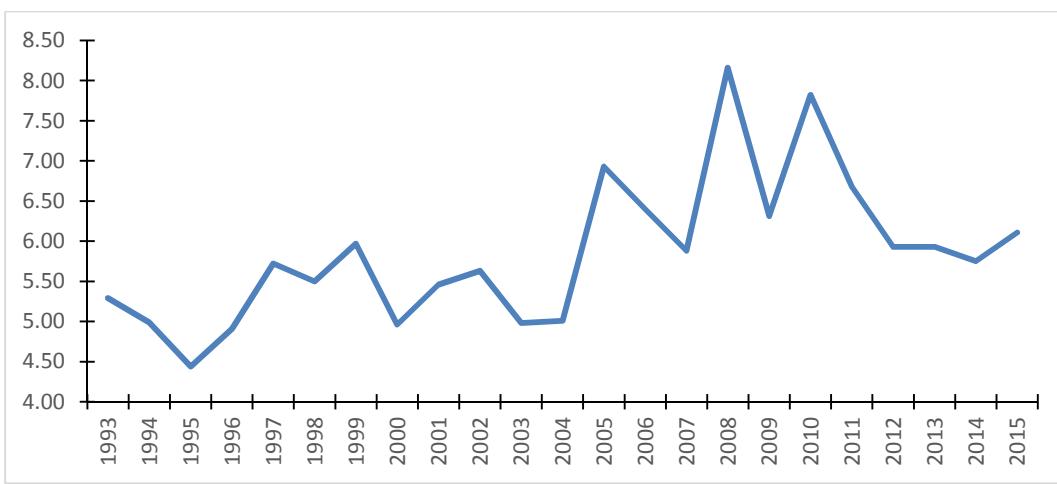


Figura 6. Importancia de las importaciones salvadoreñas de México (%).

Fuente: Elaborado con datos de la SE [2016] y del Banco Central de Reserva de El Salvador [2016].

### 3.3. Balanza comercial de México con El Salvador

El valor de las exportaciones de México en cada uno de los años del periodo ha sido mayor al valor de las importaciones, lo cual genera se tiene un saldo positivo en la balanza comercial de México con El Salvador (Tabla 13), en otras palabras, el comercio entre México y El Salvador ha sido favorable para México.

Tabla 13. Saldo de la balanza comercial de México con El Salvador.

Año	Exportaciones (millones de dólares)	Importaciones (millones de dólares)	Saldo de la Balanza Comercial (millones de dólares)	TCa
1993	113.4	14.1	99.3	0.0
1994	128.5	19.3	109.2	10.0
1995	147.7	7.9	139.8	28.0
1996	158.1	18.9	139.2	-0.4
1997	214.1	24.1	190.0	36.5
1998	218.1	25.3	192.8	1.5
1999	244.4	18.2	226.2	17.3
2000	245.6	19.8	225.8	-0.2
2001	274.3	29.9	244.4	8.2
2002	291.7	36.4	255.3	4.5
2003	286.4	44.3	242.1	-5.2
2004	317.2	50.2	267.0	10.3
2005	471.6	58.5	413.1	54.7
2006	496.9	58.6	438.3	6.1
2007	518.3	61.6	456.7	4.2
2008	801.1	70.6	730.5	60.0
2009	462.5	71.1	391.4	-46.4
2010	658.0	105.2	552.8	41.2
2011	665.8	110.3	555.5	0.5
2012	608.8	106.0	502.8	-9.5
2013	639.2	125.8	513.4	2.1
2014	604.9	127.3	477.6	-7.0
2015	636.2	136.3	499.9	4.7

Dónde: TCa=Tasa de crecimiento anual.

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

Los saldos anuales en la balanza comercial son positivos en todos los años con diferentes tasas de crecimiento. Los años en los cuales existe una disminución en el saldo de la balanza comercial de México con El Salvador son 1996, 2000, 2003, 2009, 2012 y 2014 (Fig. 7).

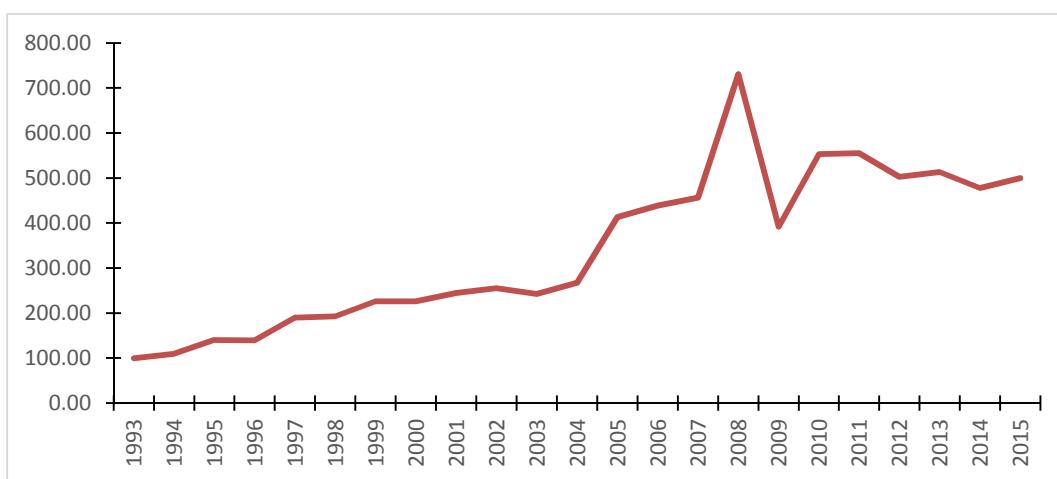


Figura 7. Saldo de la balanza comercial de México con El Salvador (millones de dólares).

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

Los años negativos en la tasa de crecimiento anual de la balanza comercial de México con El Salvador, reflejan que el más alto es el presentado en 2009 con -46.42 puntos porcentuales, eso significa que el saldo disminuyó en casi la mitad, siguiendo positivo. En lo general, el saldo en la balanza entre México y El Salvador ha estado en crecimiento a favor de la economía mexicana (Fig. 8).

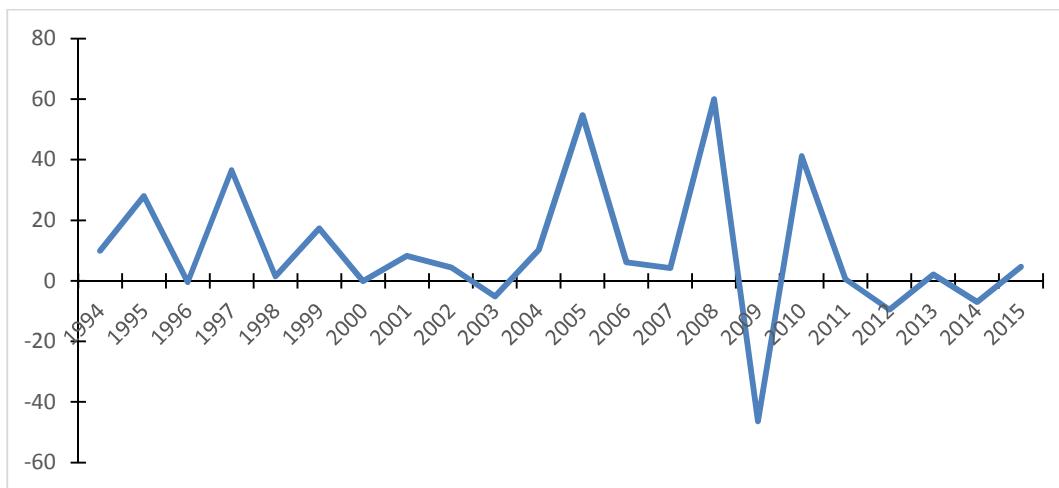


Figura 8. Tasa de crecimiento anual del saldo de la balanza comercial de México con El Salvador (%).

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

### 3.4. Principales productos comerciales de México con El Salvador

Los principales productos exportados por parte de México al mercado salvadoreño son agrícolas e industriales, dentro de este grupo sobresalen dos productos agrícolas, los cuales son los aguacates y el maíz blanco (Tabla 14).

Tabla 14. Principales productos exportados de México al El Salvador.

Ranking	Fracción	Descripción	2011	2012	2013	2014	2015
1	8528.72.06	Aparatos receptores de televisión, pantalla plana	29,398	32,012	24,869	27,375	31,190
2	0804.40.01	Aguacates	14,553	19,142	20,238	19,803	18,210
3	1005.90.04	Maíz blanco (harinero)	6,656	7,282	0	4	15,421
4	8544.49.04	Hilos de cobre, aluminio o sus aleaciones	3,265	1,953	7,262	14,425	12,779
5	9619.00.01	Toallas sanitarias	0	4,134	9,706	7,941	12,606
6	8704.21.03	Automóviles	0	0	0	0	12,323
7	3004.90.99	Medicamentos	11,737	11,253	11,336	12,670	11,019
8	8507.10.99	Acumuladores eléctricos de plomo	7,949	8,510	10,388	9,953	10,620
9	8418.10.01	Refrigerador con congelador	5,875	5,581	6,165	5,998	8,857
10	3305.10.01	Champúes	7,954	8,238	8,879	9,856	8,618
11	8517.62.99	Aparatos de conmutación y enrutamiento	602	974	1,827	5,374	8,376
12	2106.90.99	Preparaciones alimenticias	8,197	8,108	8,971	7,302	7,803
13	3305.90.99	Preparaciones capilares	8,213	7,247	7,200	6,930	6,902
14	2101.11.01	Café instantáneo	4,172	5,037	6,558	6,046	6,865
15	3903.19.02	Poliestireno cristal	3,863	4,977	8,952	9,902	6,760

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

Mientras que los principales productos importados por parte de México del mercado salvadoreño son industriales, entre los cuales destacan los arneses, las camisetas, los suéteres, entre otros (Tabla 15).

Tabla 15. Principales productos importados por México al El Salvador.

Ranking	Fracción	Descripción	2011	2012	2013	2014	2015
1	8544.30.02	Arneses para uso automotriz	0	0	12,205	37,536	36,332
2	6109.10.01	T-shirts y camisetas de algodón	16,593	13,505	14,963	16,236	18,778
3	6109.90.01	T-shirts y camisetas de fibras sintéticas	422	1,432	2,255	3,908	9,708
4	6107.11.01	Calzoncillos, calzones, etc. de algodón	8,421	8,222	7,155	8,608	9,707
5	6110.30.99	Suéteres de fibras sintéticas	281	401	3,067	3,277	5,164
6	2202.90.02	Agua a base de jugo de una sola fruta	8,735	5,738	1,616	317	4,904
7	8532.21.01	Condensadores del tantalio	4,172	4,573	3,641	4,671	4,528
8	5806.20.99	Cintas elásticas	108	622	2,129	4,174	3,584
9	3004.90.99	Medicamentos	3,686	2,605	2,725	1,973	3,197
10	4202.99.99	Baúles, maletas, etc.	2,298	3,384	3,304	3,028	2,617
11	4101.50.01	Cuero de bovino fresco	282	967	1,896	1,999	2,003
12	8532.24.99	Condensadores eléctricos con dieléctrico de cerámica	1,487	1,389	1,767	2,041	1,861
13	4819.20.99	Cajas y cartonajes	6,472	1,976	1,800	2,132	1,667
14	3923.29.01	Fundas, sacos y bolsas	56	74	623	1,110	1,197
15	2202.10.01	Agua, incluida mineral y gaseada	0	0	5,762	1,476	1,182

Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía [2016].

#### 4. CONCLUSIONES

La tasa de crecimiento acumulado de las exportaciones de México fue menor que la de las importaciones. Por otro lado, la tasa de crecimiento acumulado del saldo de la balanza comercial de México con El Salvador en el periodo estudiado fue positivo y alto, lo que refleja que a pesar de que las importaciones presentan un crecimiento más dinámico al de las exportaciones, el monto total importado de origen salvadoreño sigue siendo menor al monto total exportado a dicho país.

La mayoría de las exportaciones mexicanas son de productos manufacturados, se distinguen entre los principales a los aparatos receptores de televisión con pantalla plana; hilos de cobre, aluminio o sus aleaciones; entre otros. Sin embargo, se tienen dos cultivos agrícolas entre los principales productos exportados, éstos son los aguacates y el maíz blanco harinero.

Los principales productos que importa México de origen salvadoreño son prendas de vestir como T-shirts y camisetas de algodón; T-shirts y camisetas de fibras sintéticas; calzoncillos, calzones de algodón; suéteres de fibras sintéticas; entre otras. Además de productos para las industrias de ensamblaje establecidas en México como los arneses para uso automotriz. También se tienen productos del sector agropecuario como el cuero bovino en fresco.

En general, el mercado salvadoreño es de importancia para la economía mexicana, ya que se tiene un comercio favorable para México. Sin duda, la firma del tratado de libre comercio con los países de Centroamérica, en general, le ha dado dinamismo al comercio de la región.

## REFERENCIAS

- [1] BANCO CENTRAL DE RESERVA DE EL SALVADOR. (2016): Comercio exterior. República de El Salvador. [En línea] Disponible en Web: <<http://www.bcr.gob.sv/bcrsite/?cat=1012&lang=es>>
- [2] BANCO MUNDIAL (2017): Metodologías para el uso del material. [En línea] Disponible en Web: <<https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906531>> Consultado 12, 09, 2017.
- [3] CHACHOLIADES, M. (1995): *Economía Internacional*. 2<sup>a</sup> Ed. McGraw-Hill. México.
- [4] CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR). (2016): *Visualizador geográfico de El Salvador*. [En línea] Disponible en: <<http://cloud.cnr.gob.sv/CNRcloud/>>
- [5] INEGI. (2016): *Mapa nacional con coordenadas grado por grado*. Cuéntame-INEGI. México. [En línea] Disponible en: <<http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/coordenadas/coord-color-n.pdf>>
- [6] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE COMERCIO (OMC). (2016.): *Estadísticas. Datos comerciales y arancelarios*. [En línea] Disponible en Web: <[https://www.wto.org/spanish/res\\_s/statis\\_s/statis\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/statis_s.htm)>
- [7] PERALES S., A. y LASTIRI, A. (2009): *Metodología de la Investigación. Guía para elaborar una tesis*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- [8] SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE). (2016): Importaciones y exportaciones por país 1993 – 2016. México. [En línea] Disponible en Web: <<https://www.gob.mx/se/documentos/comercio-exterior-informacion-estadistica-y-arancelaria-importaciones-y-exportaciones-por-pais-1993-2016-por-socios>>
- [9] SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE). (2017): *Comercio Exterior/Países con Tratados y Acuerdos firmados con México*. México. [En línea] Disponible en Web: <<https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/comercio-exterior-paises-con-tratados-y-acuerdos-firmados-con-mexico?state=published>>, Consultado 11, 9, 2017.
- [10] TOVAR L., R. (2016): 30 años de apertura comercial en México: del GATT al Acuerdo Comercial Transpacífico. *El Cotidiano*. 200. En línea. Disponible en Web: <<http://www.elcotidianoenlinea.com.mx/numeros.asp?edi=200>>, Consultado 11, 9, 2017.

## Capítulo 11

pp 121-130

### ESTADÍSTICA Y FINANZAS PÚBLICAS EN LA ERA DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO

**Mario Miguel Ojeda Ramírez<sup>1</sup> y Fernando Velasco Luna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Veracruzana, Av Xalapa Esq. Ávila Camacho s/n, C.P. 91020. Xalapa, Veracruz, México.

<sup>2</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av San Claudio s/n. Puebla, México.

<sup>1</sup>[mojeda@uv.mx](mailto:mojeda@uv.mx), <sup>2</sup>[fvelasco@fcfm.buap.mx](mailto:fvelasco@fcfm.buap.mx)

#### RESUMEN

La estadística puede ser vista como una metodología que aporta técnicas y métodos para el diseño, desarrollo y reporte de proyectos de investigación. En las ciencias sociales en general, y en particular en las finanzas públicas, la estadística juega un rol preponderante en la identificación de las fuentes de información, en la definición de técnicas para obtener datos, en las actividades de preparación de éstos para los análisis y en la definición de estrategias para extraer los resultados que den respuesta a las interrogantes de investigación; así mismo, la competencia estadística es expresada en la lectura de los resultados relevantes y, finalmente, en su presentación adecuada. En este artículo se argumenta sobre la necesidad de una sólida formación en conocimientos, habilidades y valores para el uso de las técnicas y métodos estadísticos en el proceso de investigación en las finanzas públicas. Se parte de una caracterización de la metodología estadística, haciendo hincapié en el paradigma cuantitativo, pero también teniendo en cuenta la información de tipo cualitativo. Se argumenta sobre la transición que se vive en la investigación social. Se presenta una perspectiva del desarrollo de la investigación social en la era de la información y el conocimiento. Se presentan las competencias de un investigador de las finanzas públicas modernas para el correcto uso de la metodología estadística, dejando una clara perspectiva para el diseño de estrategias de formación; se señala que el enfoque basado en proyectos es el más adecuado para hacer frente a este reto.

**PALABRAS CLAVE:** Enfoque basado en proyectos, Aprendizaje en el proceso de investigación, Investigación mixta, Datos masivos, Competencias estadísticas para la investigación.

#### ABSTRACT

Statistics can be seen as a methodology that provides techniques and methods for the design, development and reporting of research projects. In the social sciences in general, and especially in public finances statistics plays a major role in the identification of information sources, in the definition of techniques for obtaining data, in the activities of preparation of these for the analysis, in the definition of strategies to extract from the data the results that answer the research questions; likewise, statistical competence is expressed in the reading of the relevant results and, finally, in its adequate presentation. This article argues about the need for a solid training in knowledge, skills and values for the use of statistical techniques and methods in the research process in public finances. It starts from a characterization of the statistical methodology, emphasizing the quantitative paradigm, but also taking into account the information of qualitative type. It argues about the transition that is experienced in social research. It presents a perspective of the development of social research in the information and knowledge age. The competences of a modern public finance researcher are presented for the correct use of the statistical methodology, leaving a clear perspective for the design of training strategies; it is pointed out that the project-based approach is best suited to meet this challenge.

**KEY WORDS:** Project-based approach, Learning in the research process, Mixed research, Massive data, Statistical skills in research.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cada vez es más claro que el planteamiento, análisis y elaboración de propuestas respecto a los problemas de la sociedad requieren de visiones integrales: que consideren la complejidad del sistema y los tejidos organizacionales que se forman con diversos subsistemas, como el político, el jurídico, el económico, el cultural, etc. También resulta claro que estas visiones no se pueden lograr desde la perspectiva unidisciplinaria, sino desde otra, que es la que nos permite la multi e interdisciplina. Es así que se explica el hecho de que los nuevos enfoques en ciencias sociales se estén ensanchando, que se estén enriqueciendo por el encuentro de saberes, considerando el análisis de decisiones de criterios múltiples (Anderson-Cook, 2016) [1]. El principal argumento es que las problemáticas son cada vez más complejas y por tal motivo el abordaje debe recurrir a una conceptualización de esta complejidad, pero asimismo es importante considerar que un conjunto de aristas de abordaje aisladas no darán la visión y el esquema que proporciona el abordaje integral. En este marco es necesario argumentar sobre el papel de visiones metodológicas que permitan la incorporación de todos los elementos para garantizar la obtención de conocimiento significativo y relevante que permita la toma de decisiones y, eventualmente, soluciones pertinentes y significativas.

Los investigadores en ciencias sociales, ante la irrupción de la tecnología -que trae consigo la creciente disponibilidad de datos y la conformación de nuevos fenómenos de comunicación, como el de la presencia del “internet de las cosas” y las llamadas redes sociales- se enfrentan a la paradoja de la información: tenemos tanta información que esto nos abruma y debemos bregar con ella para no perder el camino y la perspectiva de la búsqueda del conocimiento relevante y significativo. Así, las disciplinas se deben fusionar, el planteamiento de los problemas se debe ampliar y las estrategias de trabajo deben considerar saberes y competencias altamente especializadas. En este contexto, las finanzas públicas modernas –concebida como una ciencia social- se constituye en un punto de encuentro al que concurren varias disciplina que se han venido cultivando de manera separada, que van desde la filosofía y sociología del estado -considerando los aspectos técnicos y sociológicos de las finanzas públicas- pasando por la metodología de la investigación, y así hasta llegar a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). En la visión más integradora, que es de la que estamos hablando, no se concibe que este encuentro sea otro que el de la multidisciplina que evoluciona hacia la transdisciplina, esta última entendida como un principio de unidad del conocimiento, más allá de las disciplinas. Este principio agrupa formas integradoras de investigación, las cuales comprenden una familia de métodos para relacionar el conocimiento científico, la experiencia extra-científica y la práctica de la resolución de problemas. En este planteamiento la investigación transdisciplinar se orienta hacia los aspectos del mundo real, más que a aquellos que tienen origen y relevancia sólo en el debate científico. Una cuestión de mayor importancia en la investigación transdisciplinar es hasta qué punto se consigue la integración de las distintas perspectivas científicas. Este aspecto es a menudo usado para distinguir entre trans, inter y multidisciplinariedad; es decir, en la transdisciplina no se concibe que las disciplinas se presenten de una manera aislada, sino que se integran generando ensambles asociados a problemáticas generales –en nuestro caso enfatizamos en aquellas que son el objeto de las finanzas públicas-. De esta manera -considerando a la transdisciplina como el referente de la evolución de la multi e interdisciplina- en el perfil de un investigador en finanzas públicas modernas podemos identificar una serie de competencias que se requieren y que deberán adquirirse en los procesos formativos, que se dan a partir no sólo del estudio, sino que indudablemente requieren del ejercicio mismo de la investigación; esto es muy claro, sobre todo, en las competencias para la investigación (aquí se asume que no se puede aprender a hacer investigación sin hacer investigación). Así entonces, el escenario de formación de un investigador en finanzas públicas sólo se concibe en un encuentro armonioso de vertientes disciplinarias asociadas al proceso de investigación. Entre estas vertientes disciplinarias ensambladas con el proceso de investigación destacan las que atienden el instrumental metodológico, donde se ubica a la metodología estadística. Es decir, que aquí la estadística se presenta aunada a los procesos de diseño y desarrollo de la investigación en finanzas públicas –que necesariamente deben culminar con la elaboración de productos, como reportes para presentaciones en congresos o artículos científicos, y desde luego, referirse a propuestas para resolver los problemas que dieron origen a la investigación–.

La era de la información y el conocimiento es caracterizada de muchas maneras: una es a partir de la irrupción del “internet de las cosas”; ahora se tiene una fuente ilimitada de datos: no solamente son registros periódicos

en sistemas de información transaccionales -en todo tipo de organizaciones-, o aquellos que se obtienen por la vía de los sistemas de información gubernamentales, sino así mismo todos aquellos datos que se generan por las comunicaciones y las interacciones en la Web. Esto hace que los fenómenos sociales y económicos se dimensionen de una manera muy distinta a como lo hacíamos hace apenas un par de décadas atrás. De esta manera, los estudios multinacionales, los estudios económicos, los de los fenómenos sociales, y particularmente los de la planeación, ejercicio y rendición de cuentas de los fondos públicos, se enfrentan a retos que demandan de los equipos de investigación un conocimiento multi e interdisciplinario y competencias altamente especializadas (OCDE, 2005) [7].

En este trabajo se parte de una caracterización de la metodología estadística en el proceso de investigación, desmenuzando una serie de competencias que –encontrándose bien documentadas en la literatura- se requieren para el eficiente uso de esta metodología en el área de las ciencias sociales y particularmente en la investigación en finanzas públicas modernas. Se presenta una revisión de los principios, técnicas y métodos de diseño estadístico, presentando una articulación con las nuevas realidades de los datos abiertos y masivos. Se caracteriza la fase de preparación de los datos para los análisis estadísticos, destacando el reto de la presencia de datos no estructurados, datos complejos y, sobre todo, masivos; con este marco se introduce el concepto de minería de datos. Se presentan entonces las estrategias de análisis, empezando por la caracterización de las técnicas de exploración y visualización de los datos; las técnicas de minería de datos en una visión panorámica son entonces revisadas de manera sucinta; se discute brevemente sobre la modelación estadística y su evolución en las últimas décadas; se cierra esta fase con una breve descripción de lo que se entiende por estadística aplicada a Big Data.

Dado este marco, se analiza la formación requerida para la investigación en el área de las finanzas públicas modernas, enlistando una serie de competencias que el investigador requiere. Se analiza el enfoque basado en proyectos como una estrategia formativa, comentando brevemente la experiencia obtenida en el Doctorado en Finanzas Públicas de la Universidad Veracruzana.

## **2. CULTURA ESTADÍSTICA EN LA ERA DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO**

Aunque la estadística es definida como un método general para analizar situaciones a partir de datos, considerando métodos particulares que conduzcan a información útil, digamos conocimiento, a partir del cual se tomen decisiones en un contexto de incertidumbre (Grima, 2010[5]; Longford, 2013[6]), se sabe -y se reconoce ampliamente- que la estadística es una herramienta fundamental para la realización de procesos de investigación en ciencias fácticas, particularmente aquellas que utilizan el enfoque de la investigación cuantitativa, pero también se sabe que en la actualidad el paradigma cualitativo de la investigación así mismo requiere -y cada vez hace más uso- de la metodología estadística. Es así que se vuelve incuestionable que la estadística forma parte integral de los métodos de la investigación, en las tareas de la planeación para la obtención de los datos y en su transformación a información útil –aquí se puede hablar de tipos y fuentes de información muy diversas-, en su sistematización y análisis, y en la consecuente obtención de conocimiento, que se busca sea útil a la solución de los problemas que dieron origen a los proyectos. Esta caracterización de la estadística rompe con una visión estrecha en la que se le ubica en el paradigma de investigación cualitativa y se posiciona de una línea que conduce hacia un enfoque mixto de investigación, ya que hay áreas emergentes como la minería de texto o el análisis de datos textuales, las técnicas del análisis multivariante o las diversas vertientes de los algoritmos computacionales de aprendizaje supervisado.

A menudo se piensa que usar la metodología estadística para el desarrollo de una investigación es una tarea compleja que solamente se puede llevar a cabo con el apoyo de un asesor estadístico. Sin embargo, el avance tecnológico de las últimas décadas ha traído un desarrollo rápido de software estadístico, de uso fácil, que ha hecho que los investigadores -a veces es cierto que haciendo equipo con consultores estadísticos- logren usar adecuadamente la estadística en sus investigaciones; de esta manera se ha ido derribando el mito de que la estadística es una disciplina compleja que solamente puede ser desarrollada por especialistas estadísticos. De hecho, ahora los estadísticos deben inmiscuirse mucho más en el aprendizaje de las otras disciplinas para dar

mejores orientaciones; con este acercamiento, en los equipos de trabajo donde participa un estadístico se logra una mejor alfabetización sobre los principios y métodos de la estadística (Anderson-Cook, 2016) [1].

Ojeda (1994) [8] y Ojeda y Velasco (2010) [14] presentan una discusión detallada sobre la importancia de la estadística en la investigación. Sin entrar tanto en antecedentes, podemos partir de que los investigadores de las más diversas áreas requieren de una cultura estadística en cinco fases fundamentales de su trabajo: en la revisión de los resultados de investigaciones relativas al tema de interés; en la delimitación de los objetivos de investigación y en la planeación del trabajo investigativo; en la obtención de los datos y la información pertinentes; en la sistematización y el análisis de los datos y la información, y en la interpretación de los resultados; y, finalmente, en la elaboración del reporte y difusión de los resultados de la investigación.

Todos los investigadores que basan sus avances de investigación en la obtención de datos e información, en el manejo y sistematización de los mismos, y en la interpretación y discusión, requieren del método estadístico, y de su lógica, para proceder adecuadamente en sus “búsquedas de nuevos conocimientos”. Y no se está pidiendo que el investigador sea un conocedor de los procedimientos estadísticos, de las técnicas estadísticas y de los métodos estadísticos particulares -eso es ya una obligación que dejaríamos a los estadísticos-, pero sí es necesario -y deberíamos decir estrictamente necesario- que se cuente con una cultura estadística, la que, para ser precisos, debe permitirle al investigador: (1) entender que todos los procesos de toma de datos e informaciones son procesos de medición, en los que hay que definir la característica a medir y la forma e instrumento para hacerlo; (2) comprender con claridad que la estadística permite, con base en los datos –cuantitativos y cualitativos-, describir colectivos, identificar patrones en los colectivos, y estudiar “comportamientos atípicos” de individuos, pero con referencia al comportamiento del colectivo al cual el individuo pertenece; por tal motivo, es muy importante caracterizar con precisión el colectivo al que se está haciendo referencia. En este sentido es de vital importancia destacar que los colectivos generalmente son muestras de poblaciones mayores, algunas difíciles de caracterizar o de ubicar específicamente, por lo que se hace estrictamente necesario: (3) entender que los procesos de inferencia estadística son inducciones, juicios que van de lo particular a lo general, y por tanto están sujetas a incertidumbre, la cual, a través de la inferencia estadística, puede ser evaluada en términos probabilísticos. Si se aceptan estos puntos, resulta inmediato que la cultura estadística permite: (4) comprender y actuar en consecuencia respecto al hecho de que el método estadístico exige una planeación detallada de la investigación en cuanto a: qué datos e informaciones se requieren, cómo se obtendrán, qué resultados esperamos de éstos cuando al procesarlos se conviertan en información sintetizada, y qué tanto –a partir de esto- avanzaremos en nuestro conocimiento sobre el fenómeno que estamos estudiando.

En este enfoque para caracterizar la metodología estadística estamos implicando al proceso de investigación en su conjunto. Desde luego que se entiende que el uso de los principios y lógicas de la estadística como disciplina se empiezan a utilizar desde la caracterización misma del proyecto a abordar, desde el planteamiento y delimitación del problema y la definición de las necesidades concretas de información que el proyecto tiene. Hay que decir que este planteamiento del problema estará determinado en su pertinencia y significancia por el fundamento y profundidad teórica con que se delimita. La madurez del investigador o equipo investigador se demuestra justamente en este planteamiento, pero la estadística al incorporarse en esta etapa permite darle elementos de articulación teoría-realidad que hacen que el diseño de la investigación eleve su calidad. La consulta oportuna de un estadístico puede ser muy importante para garantizar que el diseño de la investigación utilice los principios del diseño estadístico, porque la visión rebasada de que la estadística empieza cuando los datos aparecen puede dar resultados lamentables para un proyecto de investigación.

Respecto a esto último debemos recalcar que la estadística no hace que las malas investigaciones se conviertan en buenas por el simple hecho de analizar los datos con algún método novedoso, o potente; las investigaciones son malas o buenas por sí mismas, dependiendo de su profundidad, de sus objetivos, de su importancia, pero sobre todo de su adecuada planeación y cuidadoso desarrollo. La cultura estadística permite que se entiendan juicios basados en números, en porcentajes e índices; pero sobre todo, permite que se comprenda que estos juicios son relativos a colectivos. De esta manera los investigadores que posean una adecuada cultura estadística serán diestros en la interpretación de los resultados de los diferentes análisis, en la construcción de tablas que resuman los hechos sobresalientes, como resultado de las investigaciones, y en

el diseño, elaboración e interpretación de representaciones gráficas. Todas estas destrezas le permitirán al investigador o grupo de investigación llevar las conclusiones estadísticas a conjeturas y a conclusiones extraestadísticas, las cuales a su vez darán origen a nuevas investigaciones, y así sucesivamente. Con todo lo dicho queda claro que para tener una adecuada cultura estadística no hace falta ser conocedor de las técnicas y procedimientos particulares de esta disciplina; basta con conocer sus principios, sus objetivos y algunas técnicas básicas e intermedias, que se estudian y utilizan incluso a nivel de licenciatura, principios y técnicas que nos permiten el manejo básico de la información, cuantitativa o cualitativa (ver el contenido de Ojeda *et al.*, 2011 [11]). Por lo demás, una adecuada cultura estadística nos debe inducir, de una manera rápida, a identificar, en el contexto de nuestro trabajo investigativo, los problemas que requieren de la asesoría de un especialista en estadística, para turnarlos oportunamente. Aquí tenemos que decir que una buena formación como investigador, en el sentido de conocer a profundidad la metodología de la investigación que se está abordando, generalmente lleva a realizar una consulta con un especialista en estadística desde la misma fase de la planeación del trabajo investigativo; es decir, desde la elaboración del protocolo. Es muy desalentadora para la cultura científica en general la gran proporción de investigadores que no tienen una mínima cultura estadística, requerida para las tareas de definición, planeación, desarrollo y presentación de resultados de investigaciones. Con bastante frecuencia estos investigadores recurren al estadístico para que les analice sus datos, cuando su investigación ya está transitando hacia el fracaso. Desde todos los frentes habrá que contribuir para que este tipo de eventos deje de suceder. En sí mismo, este trabajo pretende contribuir a una adecuada cultura estadística para la investigación, lo que hará que los procesos de obtención y difusión del conocimiento se den de mejor forma. Esto, sobre todo es de relevancia, en países donde se tienen rezagos en la investigación en ciencias sociales y de las finanzas públicas, como es el caso de México.

Los diseños estadísticos son los principios y procedimientos que permiten obtener los datos pertinentes, acorde a las restricciones –de tiempo y recursos- y para suplir las necesidades de información –que se precisan en las preguntas de investigación-. Dentro de la metodología estadística existen tres tipos de estudios: los observacionales, los experimentales y los de muestreo. En los estudios observacionales, las unidades de estudio están dadas en la investigación, de tal forma que el investigador sólo las observa en las características de interés para la investigación. En los estudios experimentales, el investigador tiene tratamientos y agrupa las unidades de estudio mediante un mecanismo aleatorio y asigna un tratamiento para cada grupo. Por otro lado, en los estudios de muestreo las unidades de estudio son una muestra de la población. Los estudios observacionales y los de muestreo son generalmente los tipos generales de diseños estadísticos a los que se hace referencia cuando se protocoliza una investigación en el área de las finanzas públicas. Para mayor información sobre este tipo de estudios ver Ojeda (1988) [9] y Ojeda *et al.* (2011) [14]. En cada caso de estudio estadístico hay que especificar algunos elementos clave como la fuente de los datos, la población objetivo, las unidades de estudio, las variables a medir, las escalas y los métodos de medición, el tamaño de la muestra, etc. La caracterización adecuada de estos elementos define el diseño particular de la investigación y establece la estructura de la base de datos con la que se van a realizar los análisis; a partir de una clara definición de estos elementos se puede bosquejar la metodología de análisis estadístico; es decir, los pasos a seguir para realizar el procesamiento de los datos, donde otra vez las preguntas de investigación son la guía fundamental. Todo esto se establece en el protocolo de investigación, que debe incluir de un marco conceptual, un marco teórico, una revisión de antecedentes –lo que se llama el estudio del estado de la cuestión o estudio del estado del arte- y una clara definición de objetivos, tanto general como particulares, seguida de una precisa delimitación del problema en estudio y de su justificación. Si vemos esta fase de la investigación, ya considerando los principios y las técnicas de la metodología estadística, podremos entender cómo se ensambla la metodología estadística al proceso de investigación en finanzas públicas. Ahora bien, debemos considerar que la metodología estadística comprende tres grandes pasos en el desarrollo de una investigación:

El primer paso se refiere al diseño adecuado para la obtención de datos e información necesaria para la investigación. En este sentido el diseño de la investigación es la guía que conduce el proceso completo; desempeña el mismo papel que el itinerario en un viaje, es el que lleva al investigador de un punto inicial u origen, al sitio final o resultados. Asimismo, conduce a la formulación de la metodología que se utilizará para obtener los datos de acuerdo con las necesidades de información. Entre los criterios que se emplean para

formular la metodología de trabajo es que los datos se colecten de la manera más rápida, económica y sencilla; es necesaria también conducir un procedimiento para garantizar la calidad de los datos.

El segundo se refiere a la sistematización y análisis de los datos y de la información hasta obtener los resultados. El análisis de los datos y la información procede a partir de una serie de métodos y procedimientos para explotar los datos y la información de manera tal que sea posible extraer de ellos la información sintética y relevante, tal que resuelva las preguntas que dieron origen al estudio –las llamadas preguntas de investigación–. Chatfield (1995) [3] plantea una serie de reglas para analizar datos en el contexto de un estudio o investigación. Estas reglas han sido discutidas y aplicadas en Ojeda y Velasco (2010) [13]: y finalmente,

El tercero involucra la interpretación, organización, presentación y discusión de los resultados. En la interpretación y representación de los resultados, una serie de principios y procedimientos de la estadística proporcionan los lineamientos generales para elaborar los formatos de presentación y elaboración de tablas y figuras –incluyendo bajo este rubro a lo que también se llama cuadros y gráficas–, además de proporcionar los elementos para construir los juicios de valor a partir de los resultados de los análisis estadísticos (ver Ojeda y Velasco 2010) [13].

Los tres pasos anteriores se deberán definir y protocolizar en un documento, que es precisamente el protocolo de la investigación. El investigador de las finanzas públicas en su enfoque moderno requiere de una formación sólida en estadística –pero claramente en este enfoque integral– que implica contar con un marco conceptual y una serie de motivaciones que propicien una reflexión y una evaluación positiva hacia la metodología estadística, buscando con todo esto un cambio de actitud hacia el uso de esta metodología en el proceso de investigación en ciencias sociales –en particular en la multi y la inter disciplina que se mueve hacia la transdisciplina, que es la concepción de la investigación en finanzas públicas modernas–.

Ahora bien, en la era de los datos abiertos y de los datos masivos, el investigador tiene acceso a múltiples fuentes de información y deberá tener en cuenta que estos pasos que hemos descrito se complican por el hecho de que se requiere contar con habilidades que nos permitan confeccionar, a partir de múltiples fuentes, una base de datos que es la que analizaremos. Como decíamos antes, el exceso de información nos impone el reto de saber con precisión lo que necesitamos (qué variables, qué indicadores, qué datos, qué procesamientos previos, etc.) para realizar un proceso de análisis estadístico. Aquí, en la era del Big data, la fase preparatoria para los análisis puede representar un alto porcentaje del éxito. Una vez que se cuenta con la base de datos, limpia y estructurada de la manera correcta, entonces realizar la minería de los datos se convierte en un asunto de rutina especializada (ver Cichosz, (2015) [4] y Berman (2013) [2] para un panorama de las técnicas de la minería de datos y las etapas preparatorias de procesamiento de grandes volúmenes de datos).

Hay que señalar que la irrupción de los datos masivos ha implicado un cambio en los paradigmas de la investigación en general, y de la investigación en ciencias sociales en particular: hay nuevos retos para los investigadores ante los datos de las redes sociales, ante las nuevas formas de comunicación ante las interacciones y las marcas que de éstas que se dejan en la Web, etc. Ante esto ha surgido lo que se denomina *Behavioral Big Data*, que en palabras de Shmueli (2017:2-3) [15]:

... capturan las acciones y las interacciones de la gente, sus opiniones, la percepción subjetiva, pensamientos y sentimientos que se refieren a su vida diaria. Diferentes a los *Big data* sobre artículos y productos, ya que el aspecto humano implica cuestiones de intención, engaño, emoción, reciprocidad, involucramiento, y otros aspectos humanos y sociales. En muchos casos, las personas son conscientes de que se recogen estos datos. Por lo tanto, podrían modificar sus comportamientos en consecuencia, que se eviten los riesgos legales, vergüenza o conductas no deseadas.

El uso de este tipo peculiar de *Big data* no sólo ha servido para predecir y cambiar comportamientos relacionados con el consumo. Por ejemplo, en el ámbito político usando modelos estadísticos se logró derivar datos a nivel individual y predecir su voto. Otro caso de aplicación se dio en la publicidad, dando lugar al

*Neuromarketing*, una combinación entre neurociencia y minería de datos, que integra el aprendizaje computacional automático con la intuición humana. El caso de las empresas que generan recomendadores “robot” que trabajan a nivel de segmentos pero también a nivel de individuos. Así, entonces, aparecen nuevos temas en los que hay que estar actualizado: (1) Calidad de los datos y sesgos de selección; (2) Tamaños de muestra, esquemas de selección, significancia, poder de inferencia, etc.; (3) Algoritmos computacionales, programación, *Machine learning*, técnicas de minería de datos, etc., pero también (a) Trabajo en equipo, multidisciplina, proactividad... y (b) Búsqueda de nuevos retos...aprender a aprender!. Entonces podemos concluir que: (1) La estadística y la informática se estarán ensamblando a nuevas disciplinas; (2) Los estudios que usan *Big data* cada vez serán más; y (3) Las competencias asociadas se deben atender en la formación de los estudiantes, sobre todo de aquellos que tendrán una responsabilidad como investigadores sociales en esta era de la información y el conocimiento.

Claramente este escenario nos plantea ensanchar la conceptualización de los procesos de diseño estadístico, considerando no solamente los estudios observacionales, los estudios de muestreo y los diseños experimentales, que también se utilizan en las ciencias sociales y eventualmente se incorporan a las investigaciones sobre comportamiento y expresión de preferencias y opiniones, tanto en el ámbito de la economía, del marketing y de la publicidad, pero así mismo en los de comportamiento social ante fenómenos diversos. En la actualidad la mayoría de las revistas que alojan estos tipos de investigación están reportando que las fuentes de información consideran redes sociales, páginas Web y tráfico en internet. Shmueli (2017:2-3) [15] presenta una revisión acerca de temas conexos como la privacidad, la ética, los asuntos legales, etc., que este tipo de escenarios plantean para los investigadores.

### **3. COMPETENCIAS ESTADÍSTICAS EN LA ERA DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO**

Las competencias han sido caracterizadas de diferentes maneras, pero podemos partir de que son conocimientos, habilidades y actitudes verificables en los individuos a partir de las acciones, actividades y los productos que realizan. En este sentido las competencias de un músico se verificarían cuando ejecuta una pieza musical. Luego entonces, la adquisición de las competencias de un usuario de la metodología estadística en el marco de las finanzas públicas modernas, requiere adquirir una serie de conocimientos, habilidades y actitudes para identificar, en el marco de la transdisciplina, problemas de finanzas públicas de índole estadística –hay que decir que muchos lo son–, y proponer estrategias generales de solución. En este sentido, la caracterización de la metodología estadística y la de la cultura estadística en la investigación son dos líneas que permiten entender con precisión de las competencias que se están hablando. En primera instancia se estaría hablando de una actitud y valoración de la estadística como disciplina de gran utilidad en la fase del diseño de la investigación.

En suma, en la formación del investigador en finanzas públicas modernas, se busca dotarlo de las competencias para diseñar y desarrollar estudios estadísticos, con énfasis en estudios observacionales y de muestreo -aunque también contamos con la experimentación social o la experimentación a gran escala- que consideren el uso de técnicas exploratorias univariadas y multivariadas, las de minería de datos para la segmentación, clasificación y en general para la identificación de patrones, tanto de tendencia central como de variabilidad, pero que también puedan considerar el uso de la modelación estadística, particularmente modelos de regresión, de series temporales, de clasificación, modelos gráficos, entre otros; cabe destacar que el uso de estas técnicas y procedimientos, requerirá así mismo que el investigador pueda implementarlas a partir de software estadístico. Esto puede parecer ambicioso, pero los esquemas de formación desde una perspectiva de una cultura, más que de una serie de habilidades técnicas, nos proporciona una oportunidad de darle a la formación un carácter de capacidad para interactuar con especialistas de la estadística y las ciencias de la computación para poder desarrollar los procesos en lo específico; es decir, es una competencia que permite articular su trabajo con el de los miembros de un equipo, porque claramente en los problemas de las ciencias sociales en general, y de las finanzas públicas en particular, cada vez será más frecuente que las investigaciones se aborden a partir de equipos multidisciplinarios.

Concretamente los objetivos de formación para un investigador en finanzas públicas modernas en la era de la información y el conocimiento serían:(1) Analizar el proceso de aplicación de la estadística en el contexto de investigaciones sociales, y particularmente en el contexto de los problemas de las finanzas públicas modernas, en presencia de los fenómenos de los datos abiertos y masivos.(2) Identificar las fases del proceso del diseño estadístico, clasificando y caracterizando los diferentes tipos de estudios estadísticos, identificando los temas centrales en la irrupción de los datos masivos.(3) Caracterizar particularmente el proceso de diseño y análisis de un estudio observacional y de un estudio de muestreo en el marco de las finanzas públicas, pero así mismo conocer que existen los principios y procedimientos de diseño de la experimentación social.(4) Diseñar e implementar el proceso de obtención de datos. Esto implicará identificar las fuentes (a veces los datos serán no estructurados, no numéricos, complejos, textuales, etc.), para lo que deberá saber con qué profesionales debe contar a fin de resolver el reto de contar con los datos pertinentes de manera eficiente (al más bajo costo, en el menor tiempo y con la mayor completitud y calidad).(5) Diseñar una base de datos de acuerdo a las necesidades de análisis de la investigación, identificando información relevante y redundante. La limpieza y calidad de los datos se puede convertir en el garante de la calidad de una investigación que usará minería de datos o técnicas de análisis estadístico. Cuando haga la obtención de los datos de forma directa, deberá verificar la calidad de los datos y supervisar que la edición y captura de los mismos se realice con el mínimo de errores. (6) Seleccionar el paquete estadístico apropiado a las necesidades de análisis planteadas por la investigación, lo que implica el conocimiento y ciertas habilidades en las nuevas opciones de paquetería en línea, así como el software libre, particularmente el orientado a la minería de datos, como R (Cichosz, 2015) [4].(7) Caracterizar los elementos de una estrategia para el análisis estadístico de los datos en una investigación particular, considerando como referencia el análisis inicial y el análisis definitivo –el que puede incluir el proceso de modelación estadística–, en presencia de facilidades computacionales. Aquí las técnicas de visualización de datos tienen una implicación muy definitiva; muchas veces con estas técnicas es posible agotar los objetivos de una investigación. Una vez que los datos han sido obtenidos el investigador se debe aplicar a la tarea de analizarlos hasta producir la información susceptible de interpretación para obtener las conclusiones. En este sentido el proceso de modelación enseña que a veces la síntesis de una investigación es una ecuación ajustada a un conjunto masivo de datos. Al realizar correctamente las exploraciones y análisis preliminares a fin de producir una serie de resultados básicos para realizar una tarea descriptiva del colectivo que produjo los datos, es posible postular un modelo que permita hacer este esfuerzo de síntesis. A esta última fase le llamaríamos diseño de una estrategia de análisis definitivo acorde a las necesidades informacionales y objetivos de la investigación, lo que implica: (a) identificar y caracterizar los elementos distintivos del análisis multivariado de naturaleza exploratoria y descriptiva; (b) diseñar e implementar procesos de aplicación que impliquen las técnicas estadísticas multivariantes de naturaleza exploratoria, tales como: análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, análisis de correspondencia, análisis de correlación canónica; (c) y adquirir las habilidades para plantear, ajustar modelos estocásticos, particularmente modelos estadísticos lineales, tales como modelos de análisis de varianza, modelos de regresión, y modelos lineales multinivel.(8) Mostrar la habilidad para la organización y sistematización de los resultados, así como la correcta interpretación de los mismos, cuidando el lenguaje técnico y garantizando que los análisis estadísticos realizados brinden el conocimiento que las preguntas de investigación requieren.(9) Desarrollar las habilidades para el diseño y confección del reporte de la investigación. El reporte debe de ser un escrito organizado, con partes definidas acorde a los estándares estilísticas y de forma del área (Introducción, metodología, resultados y discusión) y con un lenguaje directo y claro; así como diseñar y desarrollar la presentación de resultados de la investigación en formato de ponencias en congresos y escritura de artículos científicos.

El enfoque de aprendizaje basado en proyectos ha sido utilizado ampliamente en diferentes ámbitos de la educación. Se ha utilizado para formar profesionales de diferentes tipos, sobre todo para desarrollar competencias profesionales en el área de la salud, del deporte, de las finanzas, etc., pero también para desarrollar la capacitación y entrenamiento en estadística. Ojeda *et al.* (2011) [13] presentó una serie de lineamientos para la utilización de los principios de diseño estadístico a fin de garantizar la elaboración de protocolos de proyectos de investigación. Ojeda (2011) [10] aplicó este enfoque a la formación de investigadores en el área de ciencias alimentarias. Los proyectos desarrollados por un grupo de estudiantes les permitieron desarrollar competencias específicas de diseño y análisis estadístico, así como de la elaboración de presentaciones tipo congreso y la escritura de artículos científicos. En la misma perspectiva, Ojeda y Jarvio

(2017) [12] presentaron los resultados de aplicar este enfoque mediado por el uso de TIC en la formación de profesionales de la lectura en un programa de posgrado en la Universidad Veracruzana. En el caso de las finanzas públicas se reportó, por parte de Ojeda *et al.*, (2011) [14], la realización de una serie de proyectos en un curso de estadística aplicada. La publicación de referencia contiene una serie de lineamientos metodológicos así como el desarrollo de las temáticas principales que fueron tratadas en el curso y, en la segunda parte, se incluyen los reportes de los proyectos realizados por los estudiantes en coautoría de los miembros del equipo coordinador. Con esto se muestra la viabilidad del desarrollo de las competencias para la aplicación de la estadística en problemas abordados desde el enfoque de las finanzas públicas modernas. Cabe hacer notar que algunos de los trabajos que fueron desarrollados en el marco de este curso-taller –que así se concibió por su diseño e implementación- después fueron publicados como artículos y como capítulos de libro. Los estudiantes mostraron un aprecio por la capacitación en la metodología asociada a una de las principales tareas que les depara su futuro profesional, y que además tuvieron oportunidad de trabajar en un equipo multidisciplinario donde los problemas abordados fueron analizados en diferentes perspectivas; en los trabajos se muestra la pertinencia de los contenidos del curso a la luz de las aplicaciones que los estudiantes realizaron.

#### **4. CONCLUSIÓN**

La estadística es una herramienta que se ha convertido en imprescindible para las investigaciones fácticas, ya que en la llamada sociedad de la información y el conocimiento adquiere una mayor relevancia en razón de que los avances tecnológicos y la gran diversidad, volumen y velocidad de generación de los datos, lo que hace que se convierta en elemento importante de la llamada “ciencia de los datos”, fundamental para el desarrollo de las investigaciones y estudios económicos y sociales. En este contexto, los investigadores en finanzas públicas requieren tener una cultura estadística que les permita desarrollar investigaciones de una forma adecuada, aprovechando todos los elementos de información disponibles (datos abiertos, datos masivos, datos en redes sociales, etc.). Ante este reto, no es necesario que estos investigadores sean expertos en el manejo de técnicas estadísticas, pero si deben de conocer los principios, los usos potenciales, las limitaciones y las ventajas de las técnicas y procedimientos estadísticos; así como los retos derivados de los temas relativos a *Big Data*. Pero más importante que todo esto es que conozcan y valoren la metodología y los conceptos estadísticos en cada una de las fases de la investigación. En este sentido la presentación de los métodos y técnicas estadísticas se debe dar con énfasis del para qué usos sirve la técnica o procedimiento, cuándo y cómo se aplica, que características deben tener los datos, la estructura de la base de datos, cómo y con qué librerías o paquetes se implementa el análisis, cómo se deben leer las salidas y los resultados, como se deben interpretar, qué conclusiones se pueden hacer, así como cuáles de éstas son extraestadísticas; por otro lado en la parte de la presentación de los resultados se debe abonar a una comunicación clara, a la presentación técnica correcta, pero asimismo a la presentación de lo relevante y significativo siguiendo las convenciones de las reglas editoriales para la publicación de artículos, pero también para la presentación en congresos y demás eventos académicos. Este fin no se puede lograr a partir de lecciones, se requiere una experiencia basada en el diseño y desarrollo de proyectos que impliquen el uso de los principios y las técnicas en el planteamiento de los problemas, en su delimitación correcta, y en la conducción del proceso completo de la investigación hasta la difusión de los resultados. Es imprescindible recurrir a lecciones, al establecimiento de guías precisas para integrar los protocolos, a la revisión de casos exitosos y artículos donde se reporten experiencias similares; asimismo se debe capacitar en el uso de librerías y paquetes para acceder a los repositorios de datos (para el caso de México, principalmente las librerías del software R para acceder a las bases de datos del Instituto de Estadística y Geografía, el INEGI). Se debe proporcionar un entrenamiento en la utilización de estrategias de análisis de datos y en la aplicación del proceso de modelación, considerando datos tipo panel, series temporales, datos con estructura jerárquica, etc. En este contexto, sin embargo, lo más importante es el diseño, desarrollo y reporte del proyecto que cada estudiante realiza, porque es a partir de éste que se van integrando los elementos conceptuales y se van adquiriendo las competencias necesarias para el desarrollo de la investigación. En el Doctorado en Finanzas Públicas de la Facultad de Economía en la Universidad Veracruzana, durante varias promociones, se ha venido instrumentando este enfoque para el curso de estadística, el cual se ha experimentado y reportado como una estrategia exitosa (ver Ojeda (2011) [10] y referencias que se citan). Los proyectos realizados en este marco han nutrido varias de las tesis doctorales y han producido capítulos de libros y artículos que han difundido las investigaciones realizadas. De

esto se deriva la factibilidad y pertinencia del enfoque basado en proyectos para promover el desarrollo de las competencias estadísticas en el proceso de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] ANDERSON-COOK, C.M. (2016): Optimizing in a complex world: A statistician's role in decision making. *Quality Engineering*, DOI:10.1080/08982112.2016.1217120.
- [2] BERMAN, J.J. (2013): *Principles of Big Data*. MK: Amsterdam.
- [3] CHATFIELD, C. (1995): *Problem Solving: A statistician's guide*. Second edition, Chapman and Hall, London, UK.
- [4] CICHOSZ, P. (2015): *Data Mining Algorithms: Explained using R*. Wiley: New York.
- [5] GRIMA, P. (2010): *La Certeza Absoluta y otras Ficciones: Los secretos de la estadística*. RBA Coleccionables: España.
- [6] LONGFORD, N.T. (2013): *Statistical Decisions Theory*. Springer: London.
- [7] OCDE (2005): *Statistics, Knowledge and Policy: Key indicators to inform decision making*. OECD Publishing.
- [8] OJEDA, M.M. (1994): La importancia de una buena cultura estadística en la investigación. *La Ciencia y el Hombre*, 17, 143-152.
- [9] OJEDA, M.M. (1988): Análisis de datos. *La Ciencia y el Hombre*, 1, 121-133.
- [10] OJEDA, M.M. (2011): *Aprender Estadística con Proyectos: Memoria de una experiencia replicable*. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- [11] OJEDA, M.M., DIAZ, C.J.E., APODACA, C., TRUJILLO, I. (2011): *Metodología de Diseño Estadístico*. Segunda Edición. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- [12] OJEDA, M.M. y JARVIO F.A.O. (2017). Profesionalización de promotores de lectura con el aprendizaje basado en proyectos mediado por TIC. *Revista de Educación a Distancia*, Núm. 54, Artic. 10. 30-06-2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/red/54/10>  
[http://www.um.es/ead/red/54/ojeda\\_jarvio.pdf](http://www.um.es/ead/red/54/ojeda_jarvio.pdf)
- [13] OJEDA, M.M. y VELASCO, F. (2010): Aplicaciones de la Estadística en el área Biomedica. En Garcia, R. J. y Bouza, H. C. (Eds.) *Investigación Aplicada a la Salud. Una mirada desde la investigación de operaciones*. Editorial Ultradigital Press, S.A. México.
- [14] OJEDA, M.M., VELASCO, L.F., CRUZ, L.C. & TAPIA, B.P. (2011): *Metodología Estadística Aplicada a las Finanzas Públicas*. Doctorado en Finanzas Públicas, Universidad Veracruzana.
- [15] SHMUELI, G. (2017): Analyzing behavioral big data: Methodological, practical, ethical, and moral issues. *Quality Engineering*, 29, 1-30.

**PAPEL DE LAS START-UPS EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO ECONÓMICO. ESTUDIO DE PERCEPCIÓN DE DOCENTES UNIVERSITARIOS EN TABASCO, MÉXICO**

José Félix García Rodríguez<sup>1</sup>, Ignacio Caamal Cahuich<sup>2</sup>,

Oscar Priego Hernández<sup>1</sup>, Jorge Rebollo Meza<sup>1</sup>, Rilton Goncalvo Primo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Económico-Administrativas.

[jfgr55@hotmail.com](mailto:jfgr55@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chapingo. Facultad de Economía

<sup>3</sup>Universidad Federal de Bahía, Salvador Bahía, Brasil

**RESUMEN**

Actualmente la innovación tecnológica desempeña un papel fundamental en el mundo empresarial. Esta es la principal característica de las empresas de base tecnológica, más conocidas como Start-ups, mismas que a través de ideas innovadoras y amparadas en las nuevas tecnologías de la comunicación ofrecen soluciones más eficientes a problemas cotidianos, generando empleos y riqueza. Por estas razones, las Start-ups tienen cada vez mayor presencia en el mundo. El propósito de la investigación es analizar de qué manera la creación de Start-ups en el Estado de Tabasco, México, puede contribuir a su desarrollo y crecimiento económico. Ello ante la difícil situación por la que atraviesa en materia de desempleo, bajo crecimiento económico, pobreza y desigualdad. Para ello, se llevó a cabo una investigación con enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo; en su diseño se partió de un universo poblacional constituido por los docentes de la División Académica de Ciencias Económico-Administrativas (DACEA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), determinándose un tamaño de muestra de 56 profesores, a quienes se aplicó un cuestionario estructurado a partir del objetivo de la investigación. Los resultados demuestran la potencialidad de las Star-ups para impulsar el desarrollo y crecimiento económico del estado de Tabasco.

**Palabras clave:** Desarrollo, Crecimiento económico, Start-ups, Hub tecnológico

**ROLE OF START-UPS IN GROWTH AND ECONOMIC DEVELOPMENT. STUDY OF PERCEPTION OF UNIVERSITY TEACHERS IN TABASCO, MEXICO**

**ABSTRACT**

Currently, the technological innovation plays a fundamental role in the business world. This is the main characteristic of Start-ups (technology-based companies), same as through innovative ideas and the protecting power of new communication technologies, which offer more efficient alternative solutions to everyday problems, generating jobs and wealth. For these reasons, start-ups have an increasing presence in the world. The purpose of the research is to analyze how the creation of Start-ups in the State of Tabasco, Mexico, can contribute to its development and economic growth. Considering the difficult situation the state has regarding to unemployment, low economic growth, poverty and inequality. Because of this with a quantitative and descriptive research was performed; it was designed based on a population universe constituted by the professors of División Académica de Ciencias Económico Administrativas (DACEA) at Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), determining a sample size of 56 teachers to whom a structured questionnaire was applied according to the research objective. The results demonstrate the potential Start-ups have in order to boost the development and economic growth of the state of Tabasco.

**Key words:** Development, Economic growth, Start-ups, Hub tecnológico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El propósito básico de esta investigación es analizar el potencial de las Start-ups para el crecimiento económico, el desarrollo y bienestar de los países y sus regiones. Las Start-ups, definidas por REYES [2013] como “empresas emergentes, generalmente sustentadas en la tecnología y la calidad; centradas en satisfacer las necesidades del cliente, lo que las hace contar con un alto nivel de proyección” [párr. 1]. Estas empresas destacan por su alto nivel de innovación tecnológica y por impulsar ideas nuevas, con el fin de simplificar diferentes procesos a través de elementos tecnológicos. De igual manera, una forma en la que sobresalen es que diseñan procesos que pueden ser adquiridos por compañías con mayor trayectoria en el mercado, lo cual les da un impulso relevante en la industria. Hay que tener en cuenta que en la actualidad, los nuevos mecanismos que tienen como base elementos tecnológicos y medios online, tienen la tendencia a cobrar relevancia de forma acelerada, así como éxito, ya sea por un periodo determinado o por un lapso más prolongado de tiempo, lo cual depende de las acciones implementadas para propiciar resultados favorables.

En la investigación se destaca también la necesidad de incentivar la creación de Start-ups a fin de contribuir al desarrollo de México y particularmente del estado de Tabasco, puesto que este tipo de emprendimientos, por su alto nivel de innovación y componente tecnológico, impulsarían la productividad en las actividades económicas propias de la entidad como son la agricultura, la ganadería, la pesca, la industria petrolera, el comercio y los servicios y, mejor aún, se podría aprovechar el potencial de otros sectores poco o nada explotados. La experiencia histórica de los países que han apoyado este tipo de emprendimientos así lo indica.

Tabasco, pese a ser una tierra llena de gran riqueza potencial, es una de las entidades federativas con menor crecimiento económico y con la tasa de desempleo más alta de todo el país, lo cual ha dado lugar al surgimiento de diversas problemáticas que afectan la vida cotidiana de sus habitantes. Los esfuerzos llevados a cabo tanto por el Gobierno Federal, el Gobierno Estatal, así como los municipales por impulsar el progreso de la entidad, no han dado los resultados esperados. Por otro lado, a pesar de ser uno de los Estados más ricos en actividad petrolera, Tabasco sufre de pobreza y marginación, pues la presencia de Petróleos Mexicanos (PEMEX) no se ha traducido en un mayor bienestar para todos los tabasqueños.

Aunado a ello, la caída de los precios del petróleo a nivel internacional y la reducción de las aportaciones federales al presupuesto estatal han sido catastróficos para la economía del Estado, afectando directamente a la mayoría de la población, puesto que esta situación eleva drásticamente los niveles de desempleo, inseguridad y pobreza, entre otros problemas socioeconómicos. Las evidencias así lo demuestran:

1. Estudios realizados por la Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) del INEGI arrojaron que la percepción de inseguridad en la entidad fue de 86.1% en el 2014, mientras que a nivel nacional el promedio fue de 73.3%.
2. En materia de desempleo, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) señala que Tabasco posee la tasa más alta del país, con un 7.1%, al segundo trimestre de 2016, mientras que el promedio nacional fue de 3.9%.
3. En crecimiento económico la organización “México, ¿Cómo vamos?” dio a conocer que la economía tabasqueña creció un 0.9% durante el primer trimestre de 2016 de una meta de 4.5% y además, dos terceras partes de la Población Económicamente Activa (PEA) trabaja en la informalidad.
4. En cuanto a competitividad, el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) ubicó durante el año 2014 a la entidad en la posición 25 a nivel nacional, es decir, uno de los últimos lugares.
5. En bienestar social, aunque este es un tema más complejo que incluye los puntos anteriores, no se puede hablar de bienestar cuando casi la mitad de la población vive en situación de pobreza.

Considerando todo lo antes mencionado, es de suma importancia buscar alternativas que contribuyan a la solución de la problemática que enfrenta el Estado. Por esta razón, la investigación destaca la importancia de la creación de Start-ups, puesto que este tipo de emprendimiento por su alto nivel de innovación y componente tecnológico, podría contribuir de manera significativa al progreso de Tabasco.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Con amplias posibilidades potenciales de ser una de las entidades más productivas y ricas del país, hasta hace poco Tabasco había dejado prácticamente de lado su sector industrial y agrícola para concentrarse preponderantemente en la producción petrolera. Sin embargo, ello no le ha significado hasta ahora una mejoría en el bienestar de su población, ya que enfrenta una contrastante concentración y dependencia de la riqueza petrolera, actividad económica actualmente en crisis debido a la caída de los precios del petróleo a nivel internacional, lo que ha traído desempleo, marginación y pobreza al Estado.

De esta manera, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en su informe 2014 sobre la situación de pobreza en México, señala que el 49.6% de la población de Tabasco vivía en condiciones de pobreza multidimensional. A ello se agrega que la tasa de desempleo en el Estado de Tabasco, según cifras del INEGI se ubicó en 7.6% de la Población Económicamente Activa (PEA), con lo cual la entidad encabezó la lista con la mayor tasa de desempleo del país, cuando a nivel nacional fue de 4.4%. Respecto a los demás Estados de la República, la entidad ocupa el primer lugar en desempleo, adelante del Estado de México, que tuvo una tasa de desocupación de 5.7% y el Distrito Federal (ahora Ciudad de México) con 5.2%.

Por otro lado, Tabasco se ubica en el lugar 25 del Índice de Competitividad Estatal 2014, del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) y se ubicó por debajo de la calificación promedio del país. Además, la entidad enfrenta graves problemas en redistribución de la riqueza generada, lo que se traduce en un elevado nivel de desigualdad y marginación; además está presente un grave rezago en materia de educación y salud de la población, y un bajo nivel de tecnificación en sus ramas productivas; bajo atractivo para la industrialización y producción, y una enorme dependencia de la actividad petrolera. Éste es en términos generales el problema de investigación planteado, mismo que metodológicamente se sistematiza en la siguiente pregunta de investigación, objetivo general e hipótesis de investigación:

*¿De qué manera puede contribuir la creación de empresas de base tecnológicas o Start-ups al desarrollo y crecimiento económico del Estado de Tabasco?* Esta gran interrogante conduce al planteamiento del objetivo general de la investigación: *Analizar de qué manera la creación de Start-ups en el Estado de Tabasco puede contribuir a su desarrollo y crecimiento económico.* Por su parte, la hipótesis a comprobar en esta investigación es: *Si en el Estado de Tabasco se lograra impulsar la creación de empresas de base tecnológica más conocidas como Start-ups, entonces podría contribuirse al desarrollo y crecimiento económico de la entidad.*

La presente investigación encuentra su justificación en el hecho de que Tabasco es uno de los Estados más ricos en actividad petrolera, pero sufre de pobreza y marginación; la presencia de Petróleos Mexicanos (PEMEX) no se ha traducido en un mayor bienestar para los tabasqueños. Además, se agrega la actual crisis derivada de la caída de los precios internacionales del petróleo y también, el recorte al presupuesto estatal proveniente de la Federación. Todo lo anterior ha contribuido de manera alarmante al incremento de los niveles de desempleo, trabajo informal, inseguridad, emigración de empresas, etc., entre otros problemas que han empeorado la ya de por sí difícil situación de la entidad. Por lo tanto, es de suma importancia buscar alternativas que contribuyan al desarrollo y crecimiento económico del Estado.

De esta manera, la investigación busca incentivar el emprendimiento tecnológico en el Estado de Tabasco mediante la creación de Start-ups que impulsen la productividad y generen empleos en las principales actividades económicas del Estado, como son la agricultura, la ganadería, la pesca, la industria petrolera, el comercio y los servicios, así como impulsar otras actividades como el turismo y el sector industrial. Asimismo, pretende señalar la necesidad de superar modelos tradicionales de negocios, muchos ya obsoletos, para poder así estar al nivel de las tendencias de negocios actuales en el país y en el mundo, que le permitan a Tabasco ser más productivo y competitivo, así como, jugar un papel económico y social más significativo en el contexto nacional.

### **3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

De acuerdo a NÚÑEZ-TORRÓN [2016], las Start-ups, también conocidas como empresas de base tecnológica, son negocios con ideas innovadoras que despuntan en el mercado y crecen amparadas en el poder de las nuevas tecnologías. Constituyen modernas organizaciones humanas en las que destaca la capacidad de mando, y en cuyo seno se desarrollan productos o servicios sumamente innovadores, muy deseados y demandados, cuyo diseño y comercialización están totalmente orientados a satisfacer al cliente. Una clave fundamental de cada Start-up es que están respaldadas por una idea innovadora que busca simplificar procesos y trabajos complejos, facilitando su uso y aplicación por parte de los consumidores.

A nivel mundial existen muchos casos de éxito en la creación de Start-ups, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo y emergentes, y la tendencia es que todos los países, independientemente de su grado de desarrollo apoyen ampliamente su creación, dada su potencialidad para impulsar el crecimiento económico y la modernización. En este sentido, PÉREZ [2016] señala que en la actualidad las Start-ups tienen un papel fundamental en el crecimiento de la economía y el bienestar de la población, ya que las innovaciones tecnológicas que antes parecían impensables, ahora están sucediendo y benefician directa e indirectamente a millones de personas en el mundo. Y es que si antes todo era previsible, actualmente todo está en una evolución tan constante que cuesta mucho estar al día de todo. Lo que hace unos años valía para ser considerado como innovación, ahora pocos avances nos sorprenden gratamente. Las Start-ups poseen el potencial tecnológico para que las empresas alcancen una mayor nivel de productividad y valor añadido en sus productos a través de la creatividad y la innovación, así como para que muchos sectores económicos de los países y sus regiones crezcan y se modernicen, y la población tenga acceso a bienes y servicios de calidad.

Es importante tener en cuenta que las empresas de base tecnológica de reciente creación necesitan un impulso y estímulo económico muy fuerte para su desarrollo y crecimiento. Por ello, las ideas y/o los emprendimientos que conducen a la creación de una Start-up se gestan frecuentemente en los espacios conocidos como Hubs tecnológicos, los cuales según el blog de tecnología “TECHHUB” [s.f.] reúnen las siguientes características: “Los hubs tecnológicos crean espacios alrededor del mundo para que los emprendedores tecnológicos se reúnan, trabajen, aprendan y colaboren, además de grandes eventos, sesiones de consultoría y más. Proveen espacios físicos y virtuales que permiten a las Start-ups tecnológicas trabajar de manera más lista, desarrollarse más rápido e incrementar sus oportunidades de éxito a través de una visión global. Cada miembro trabaja en un producto tecnológico” [párr. 1].

Al respecto, BROCAL [2013] comenta que los Hubs constituyen espacios tecnológicos que se encuentran próximos a los centros de investigación, y que normalmente son impulsados tanto por empresas privadas como universidades y centros de investigación con enfoque tecnológico. Gracias a una adecuada política de investigación y desarrollo, una importante inversión física y el impulso de diversas instituciones públicas (como sucede en Europa), los Hubs se constituyen en una muestra de innovación y avance tecnológico a nivel mundial. Así, estos ecosistemas tecnológicos se han convertido en un instrumento estratégico de los países en cuestión de innovación, pues se constituyen en puntos de acceso y apoyo en los cuales nacen oportunidades y mercados nuevos. Silicon Valley, en Estados Unidos, continúa liderando el ranking de los hubs tecnológicos, seguido de Nueva York y Londres. Asimismo, existen otras ciudades que están floreciendo en este rubro, como es el caso de Berlín, Toronto, Barcelona o Santiago de Chile.

Por otro lado, y pese a ser un término ampliamente difundido en el mundo de los negocios, el concepto de Start-ups sigue siendo causa de confusiones y ambigüedades, por lo que es usual considerarlo como sinónimo de Pymes (pequeñas y medianas empresas), algo totalmente alejado de la realidad. Así, para LASCURÁIN [2014]: “En realidad, hay algo de verdad en ello y, sin embargo, existen diferencias sustanciales. Efectivamente, la mayoría de las Start-ups pueden considerarse pymes, pero pymes muy distintas a las que comúnmente existen en nuestro país. Más allá de la cantidad de definiciones de Start-up que se han dado, los principales factores de diferenciación con respecto a las pymes tienen que ver con la condición de escalabilidad, el grado de innovación, una operación basada en tecnología y el potencial para afectar a un sector, un producto, un servicio o un sistema” [párr. 2].

Por su importancia tecnológica y su impacto económico, existe una tendencia emprendedora mundial encaminada a la creación Start-ups, y el interés en el término ha crecido de forma exponencial durante los

últimos años. De acuerdo a ORTEGA [2016, párr. 2], estas son cinco de las Start-ups más importantes del mundo:

1. Uber. Posee un valor de 74 mil millones de dólares y se dedica a la prestación de servicios de taxi a través de apps, innovación tecnológica que ha propiciado el crecimiento de otros emprendimientos de negocio similares.
2. Xiaomi. Corresponde a la fabricación de dispositivos móviles, es de origen chino y posee un valor de mercado de 46 mil millones de dólares. Actualmente se posiciona como uno de los principales fabricantes e innovadores dentro de la industria de la comunicación, con una cuota de mercado en crecimiento principalmente en los territorios asiáticos.
3. Airbnb. Esta plataforma tecnológica de búsqueda de alojamiento es ampliamente utilizada a escala mundial, y está valuada en 25.5 mil millones de dólares; durante el año 2015 gestionó tecnológicamente el hospedaje de 5 millones de personas.
4. Palantir. Se trata de una empresa especializada en el análisis de información, misma que ha sido valuada en 20 mil millones de dólares. Sus principales clientes son agencias e instituciones gubernamentales, y su software se utiliza para distintos fines, destacándose la lucha contra el terrorismo.
5. Snapchat. Se ha convertido en una de las apps y redes sociales más populares gracias a que ofrece un espacio donde compartir fotos y videos de corta duración. Su valor asciende a 16 mil millones de dólares.

Por otra parte, las Star Ups tienen una importancia estratégica fundamental para el desarrollo y crecimiento económico de los países y las regiones donde se ubican. Eso explica la tendencia de los países desarrollados y algunos emergentes para atraer su instalación y/o gestionar su creación. En este contexto, para el Banco Mundial (BM) [1991], el concepto de desarrollo implica “el mejoramiento sostenible del nivel de vida, el cual comprende consumo material, educación, salud y protección del medio ambiente. En un sentido más amplio, la definición comprende también otros trascendentes aspectos conexos, principalmente la mayor igualdad de oportunidades, la libertad política y las libertades civiles. Por consiguiente, el objetivo global del desarrollo es el de dotar de mayores derechos económicos, políticos y civiles a todos los seres humanos, sin distinción de sexo, grupo étnico, religión, raza, región o país” [pág. 68].

Para su medición, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha propuesto el uso de indicadores compuestos como lo es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), mismo que considera las tres dimensiones básicas para el Desarrollo establecidas por el mismo organismo internacional:

- 1) La posibilidad de gozar de una vida larga y saludable.
- 2) La capacidad de adquirir conocimientos.
- 3) La oportunidad de tener recursos que permitan un nivel de vida digno.

Por otro lado, el Crecimiento Económico, según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [2004], corresponde al aumento del producto e ingreso por persona en el largo plazo. Así, el crecimiento es el proceso por el cual una economía (nacional, regional o la economía mundial) se vuelve más rica. Respecto a la medición del crecimiento económico, HERNÁNDEZ [2011] afirma que: “crecimiento económico y Producto Interno Bruto (PIB) son dos conceptos estrechamente vinculados. El PIB es un indicador que determina la capacidad productiva de un país, y frecuentemente se utiliza la tasa de crecimiento de éste para conocer el crecimiento económico, tomando esta medida como referencia para hacer comparaciones de crecimiento entre varios países [párr. 1].

Por su parte, el emprendimiento de Start-ups está creciendo cada vez más en México, muestra de ello es la ciudad de Guadalajara, Jalisco, la cual se pretende convertir en la capital de la innovación creativa de las Start-ups en América Latina. Si bien Jalisco se ha distinguido por su desarrollo en tecnologías de la información (TI) desde hace más de 20 años, fue hace poco cuando decidió dar un giro en su propuesta y pasar de las manufacturas al diseño y creación de software y hardware [MARTÍNEZ, 2014]. Así, esta ciudad busca aprovechar al talento nacional y extranjero de diseñadores e ingenieros y vincularlos con las más de mil

compañías relacionadas directamente con el sector tecnológico albergadas en su territorio. Prueba de lo anterior es que Guadalajara ha conseguido atraer a los jóvenes y profesionistas que tienen algún proyecto ambicioso relacionado con la creatividad e innovación y tiene el potencial para convertirse en un hub mexicano replicable a nivel internacional.

#### **4. METODOLOGÍA**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, el cual de acuerdo a HERNÁNDEZ et al. [2006], “usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías” [p. 5]. Asimismo, es de tipo descriptivo, que en palabras de HERNÁNDEZ et al. [2006], “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” [p. 102], además de que “en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga” [p. 102].

En cuanto al diseño de la investigación, el universo poblacional y el marco muestral lo constituyen los profesores investigadores de la División Académica de Ciencias Económico-Administrativas (DACEA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), bajo el criterio que son quienes poseen una información más adecuada sobre el tema de investigación, debido a su perfil académico, profesional, experiencia y conocimientos en el área objeto de estudio. Por estas razones, constituyeron los candidatos más adecuados para responder de una forma razonada y objetiva el instrumento de investigación aplicado, habiéndose incorporado en el mismo una perspectiva de género. Para la determinación de la muestra poblacional se aplicó un muestreo de tipo probabilístico, definido por HERNÁNDEZ et al. [2006], como “un subgrupo de la población en el que todos los elementos de ésta tienen la misma posibilidad de ser elegidos” [p. 241]. Bajo estos criterios, se obtuvo un tamaño de muestra de 56 profesores investigadores, a partir de un marco muestral de 280 catedráticos.

El instrumento de investigación de campo utilizado en la recopilación de información consistió en un cuestionario estructurado, mismo que fue aplicado a las y los profesores investigadores de la DACEA considerados en la muestra. SEGÚN HERNÁNDEZ et al. [2006], “un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir” [p. 310]. Dicho cuestionario consta de 20 preguntas cerradas, definidas por HERNÁNDEZ et al. [2006] como “aquellas que contienen opciones de respuesta previamente delimitadas” [p. 310]. El mismo HERNÁNDEZ et al. [2006] aclara que “hay preguntas cerradas donde el sujeto puede seleccionar más de una opción o categoría de respuesta” (p. 311). De igual forma, el cuestionario consta de preguntas cerradas de tipo dicotómicas (dos posibilidades de respuesta) y de varias opciones de respuesta. Además, el cuestionario fue aplicado de manera autoadministrada, es decir, “que el cuestionario se proporciona directamente a los participantes, quienes lo contestan. No hay intermediarios y las respuestas las marcan ellos” [HERNÁNDEZ et al, 2006, p. 331].

#### **5. RESULTADOS**

El Estado de Tabasco, rico en recursos naturales y yacimientos petrolíferos, enfrenta una dura recesión económica derivada principalmente de la caída de los precios del petróleo a nivel internacional, lo que se ha traducido en un incremento alarmante de los índices de desempleo, inflación, pobreza, inseguridad y bajo crecimiento económico, además de otros problemas asociados al rezago social. Ante ello, es preciso implementar diversas medidas para fomentar la inversión productiva y la generación de empleos a efectos enfrentar este desalentador panorama. Indudablemente, una actitud emprendedora enfocada a la creación de empresas de base tecnológica podría contribuir de manera significativa a la reactivación económica y el progreso de la entidad. Ello ante las experiencias exitosas de otros países y regiones, así como de algunas

entidades de la República Mexicana que han tenido resultados positivos a partir del emprendimiento de este tipo de empresas.

Un aspecto preocupante al respecto, es que en Tabasco existe aún desconocimiento de la existencia de empresas de tipo Start-up. Además, la mayoría de los encuestados mayores de 50 años son los menos familiarizados con dicho término. Lo anterior es preocupante, ya que independientemente de la edad de los profesores deberían conocerlo, pues dicho término es hoy día muy empleado en el mundo de los negocios, y es una tendencia global de emprendimiento con fuerte presencia en algunos Estados de la República Mexicana. Además, la División Académica a la que pertenecen los entrevistados (la DACEA), constituye un área de conocimiento especializada en Economía y Administración, y por lo tanto, debería ser preciso que el cuerpo docente de la misma conociera cuando menos conceptualmente la existencia de esta tendencia en el ámbito empresarial. De los pocos que admitieron conocer el término “Start-up” es debido a que se dedican a impartir cursos sobre este tipo de emprendimiento o bien, han leído sobre ello.

En cuanto a la formación profesional, más de la mitad de los encuestados tiene una formación en el área de Administración, seguido de la Contabilidad, lo cual refuerza las estadísticas del Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO), como las dos carreras más estudiadas en las universidades del país, ocupando el primer y segundo lugar a nivel nacional respectivamente. Esto se traduce en un mercado cada vez más saturado y competitivo entre estas y otras carreras altamente demandadas. En consecuencia, estas estadísticas apoyan la importancia que tiene el presente trabajo de investigación, pues resalta la imperiosa necesidad de formar profesionistas que sean emprendedores, con la diferencia de que sus emprendimientos tengan una base tecnológica con un alto nivel de innovación para diferenciarse de los negocios tradicionales y poder competir, o bien, para formar profesionales que sepan cómo funciona y cómo dirigir de la mejor manera una Start-up. Esto cobra relevancia cuando el mismo IMCO (2014) coloca a Tabasco en la posición 27 a nivel nacional en el subíndice de “Innovación”, es decir, uno de los últimos lugares en este ámbito. Tomando en cuenta lo antes mencionado, “en teoría” todos sabemos que la innovación y la tecnología son fundamentales para el progreso, pero en la práctica, al menos en nuestra entidad, ocurre todo lo contrario.

Por otro lado, aunque pudiera parecer obvio que todos los entrevistados, incluso aquellos sin formación en el área de la economía y la administración, podrían opinar siempre a favor de que la innovación y la tecnología son fundamentales para el progreso de toda sociedad y que la mayor prueba de ello son los países desarrollados, lo cierto es que en la práctica en nuestra entidad sucede lo opuesto. Si bien casi el 100% de los profesores encuestados respondieron que la innovación y la tecnología son fundamentales para el progreso, esta afirmación deja de ser tan obvia, cuando la gran mayoría nunca antes había escuchado un término mundialmente divulgado desde hace algunos años y con mayor fuerza en la actualidad como lo es el constructo “Start-up”.

Respecto a experiencia laboral en el sector privado de los profesores encuestados, la mayoría la tiene. Esto es importante a tomar en cuenta en esta investigación, pues sólo aquellos que tienen experiencia en el sector saben las dificultades a las que las empresas se enfrentan en la vida cotidiana y no basan su conocimiento sólo en estadísticas. Por ello, poseen una mayor apreciación del impacto y de la importancia que tienen las empresas y los emprendedores en el desarrollo y crecimiento económico del país. De igual manera, se observó que la mayoría tiene experiencia en empresas de servicios y muy poco en el comercio y la industria.

Para validar el grado de conocimiento y actualización en materia de empresas de base tecnológica, se le preguntó si conocían el funcionamiento de empresas como Uber, Dropbox, Snapchat, Pinterest y Airbnb, todas ellas ejemplos de las Start-ups más conocidas en el mundo. Al respecto, si bien la mayoría de los profesores no están familiarizados con dicho constructo, si conocen todas o a algunas de estas empresas. Incluso muchos de ellos son clientes de las mismas. Tal es el caso de Uber, aplicación tecnológica que resultó ser la más conocida entre los docentes, seguida de Dropbox. Respecto a la calidad del producto y servicio recibido, la mayoría refirió que nunca han tenido queja del servicio que les ofrece Uber, y que su experiencia ha sido de lo mejor. Lo anterior es importante destacarlo, porque precisamente las Start-ups tienen como objetivo satisfacer una demanda no atendida, o bien, como en el caso de Uber, mejorar la calidad de una ya existente, como lo es el deficiente servicio de taxis del país y de la entidad.

De igual manera, en cuanto a la presencia de “Start-ups” como empresas de base tecnológica e innovadora, la mayor parte de los profesores manifestó que es muy importante y que debe ser implementado en la entidad. Sin duda alguna es de suma importancia no sólo conocer el concepto, sino la divulgación y la aplicación del mismo. En relación a si los docentes conocen indicios de emprendimientos tipos Start-ups en Tabasco, poco menos de la mitad de ambos géneros dijeron que “sí” y que la mayor parte de esos proyectos están enfocados en servicios. Cabe destacar que algunos mencionaron a Uber como ejemplo que, si bien está operando actualmente en la entidad, esta empresa es de origen extranjero (EUA). Por otro lado, las que mencionaron como de origen tabasqueño, son en realidad proyectos universitarios que a lo mucho llegan a concursos de emprendimiento, y que por lo tanto no logran trascender hasta convertirse en empresas sólidas. Todo esto muestra el desconocimiento existente en el ámbito local en materia tecnológica, y más allá, la falta de innovación y conocimiento de las nuevas tendencias en el mundo de los negocios, la falta de cultura empresarial y el rezago tecnológico en el que nos encontramos en la entidad. De igual forma, menos de la mitad de los profesores ha tenido una idea de negocio relacionada con el concepto “Start-up”, la mayoría enfocada a servicios de diversa índole como consultoría, salud, desarrollo de aplicaciones y capacitación entre otras. Sin embargo, por ahora esas son sólo ideas, pues ninguno manifestó haberla llevado a cabo o por lo menos, estar trabajando en ello para desarrollarla.

Respecto a qué tan preparada está la sociedad para la implementación de las Start-ups en la entidad, el 80% de los entrevistados considera que está poco preparada. Esto se sustenta en varias razones significativas:

1. Desconocimiento de qué es y cómo funciona una “Start-up”.
2. Gran parte de la población aún ignora el nombre y servicios que ofrecen empresas como Uber, Dropbox y otras ya mencionadas.
3. Debido a que casi la mitad de la población vive en la pobreza, difícilmente podría costear algunos de los servicios que ofrecen las Start-ups.
4. Más de la mitad de la población vive en comunidades rurales, de las cuales, gran parte de ellas no tiene acceso a internet. O bien, su único contacto con internet es a través de sus teléfonos celulares.
5. Desconfianza de hacer uso de servicios en línea, así como de realizar pagos a través del mismo medio.
6. Una parte importante de la población no tiene acceso a servicios financieros y, por lo tanto, no posee tarjetas de crédito y/o débito. Esto afectaría a muchas Start-ups, pues casi todas hacen sus transacciones financieras y cobros de servicios en línea y, por ende, se necesita que el cliente posea alguna tarjeta bancaria, ya sea de crédito o débito.

En relación a si la creación de Start-ups podría contribuir a la mejora de las actividades clave del Estado como lo son la explotación petrolera, la agricultura, la ganadería, el comercio y los servicios, e impulsar sectores como el turismo y la industria, la mayor parte de los profesores se muestra optimista al opinar que sí pueden contribuir de manera definitiva. Prueba de ello son los países desarrollados, como Estados Unidos, Israel, Alemania y otros países europeos que han visto enormes beneficios derivados del apoyo a este tipo de emprendimiento. Sin embargo, la mayoría opina que la entidad subiría de nivel, pero no al de las entidades más desarrolladas y líderes en la creación de Start-ups como lo son la Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León, pues la entidad no cuenta con los recursos financieros ni el talento humano con los que disponen estas entidades para apoyar este tipo de emprendimiento, además sus habitantes tienen mayor acceso a internet y poseen un mayor nivel de ingresos.

Así, aunque la mayoría de los profesores consideran que la entidad reúne las condiciones necesarias para la creación de Start-ups, lo cierto es que se carece de lo antes expuesto y también de un “hub tecnológico”, es decir, estos centros de emprendimiento tecnológico de trabajo cooperativo en el que se desarrollan las Start-ups. Si bien hay algunas incubadoras de negocios en la ciudad de Villahermosa, como es el caso del Centro de Emprendimiento (CEDEM) de la UJAT, de nada sirve si no se cuenta con personal calificado para poner en marcha una Start-up, pues como ya se ha dicho, éstas no se gestan como los negocios tradicionales que vemos cotidianamente, pues requieren de una atención y asesoría más especializada.

Para implementar la creación de Start-ups en la entidad, la mayoría coincide en que se debe incentivar la innovación, pues como ya se abordó en puntos anteriores, Tabasco se encuentra en los últimos lugares en este ámbito. Asimismo, los profesores coinciden en su mayoría en que el papel de las universidades es el de promover creación de este tipo de emprendimiento, es decir, educar y difundir qué son, para qué sirven, cómo

funcionan y cuáles son los beneficios de las Start-ups. Por otra parte, en cuanto al papel que el gobierno desempeña en este tema, la opinión generalizada es el papel del gobierno es multidimensional, destacándose el fomento de la innovación, otorgamiento de facilidades de financiamiento, legislación adecuada y mayores niveles de inversión al desarrollo de ciencia y tecnología. Así, sin duda el rol del gobierno en cuanto a la creación de Start-ups es algo más complejo y determinante.

Entre los factores que podrían propiciar el éxito de las Start-ups en Tabasco, los entrevistados señalan que la ubicación geográfica de la entidad es importante, pues punto de enlace y comunicación entre la Península de Yucatán y el resto del país; igualmente, la actitud de la población hacia las mismas es importante, pues ella constituye la demanda potencial de las mismas, siendo relevante que se cuenta con una población poco preparada para este tipo de emprendimiento; aunado a ello, otros factores asociados a la población, como son las cuestiones socioeconómicas y culturales cobran relevancia. En consecuencia, el éxito de las Start-ups en la entidad es de naturaleza multifactorial. Definir un solo factor como determinante de éxito sería falso; lo mismo sucede con los factores que propiciarían su fracaso en la entidad, pues aunque la mayoría de los entrevistados señalan la inseguridad como el principal factor, la escasa inversión en ciencia y tecnología y la poca disponibilidad de personal capacitado son factores de igual peso en la puesta en marcha de una Start-up y por supuesto, hay más factores involucrados que influyen en ello.

En cuanto a las razones por las que los profesores no usan alguna de las Start-ups a su disposición, la más sobresaliente fue el desconocimiento de cómo funcionan, y esto es lógico cuando gran parte del marco muestral desconoce su existencia. Por otra parte, la razón principal por la que aceptarían el uso de una Start-up es por el alto grado de innovación y calidad del producto o servicio que ofrecen, lo cual se traduce en una ventaja competitiva. En este sentido, casi el 90% de los profesores se muestra optimista al señalar que con la creación de Start-ups habría un cambio significativo en la situación socioeconómica prevaleciente en la entidad, o al menos mejorarían algunos indicadores, lo que se podría traducir en un mayor desarrollo y crecimiento económico en los años siguientes.

## **6. DISCUSIÓN**

El desarrollo y fomento del emprendimiento es un factor fundamental para el progreso de un país y sus regiones, ya que de ella se deriva la creación de buena cantidad de empresas que son fuente generadora de empleo y contribuyen de manera importante a la innovación tecnológica, impulsando así el crecimiento y desarrollo económico del país y el bienestar de su población. Tal es el caso de las Start-ups, empresas de base tecnológica cuya creación es un acontecimiento global que ha dado resultados positivos en los países y regiones en los que se impulsa su creación y uso. Por su base tecnológica y alto nivel de innovación, ofrecen una alternativa viable de crecimiento económico y bienestar en un mundo cada vez más globalizado; además, son una importante fuente generadora de empleos directos e indirectos.

Todo lo anterior resulta fundamental para el estado de Tabasco e su circunstancia actual, pues le resulta urgente crear empresas, generar empleos e incrementar su nivel de innovación tecnológica para reactivar economía. La creación de Start-ups es una alternativa viable y necesaria para el desarrollo y crecimiento económico de la entidad. No resulta una tarea fácil y de corto plazo; sin embargo, a largo plazo los resultados podrían ser positivos y se traducirían en una mejoría de los indicadores socioeconómicos de bienestar y de inseguridad que hoy ponen a Tabasco en focos rojos en el contexto nacional. Más allá de ello, se impulsaría el progreso económico y el bienestar de sus habitantes. El impulso de las Start-ups es una tarea compleja que requeriría del trabajo conjunto de la sociedad, el gobierno, la iniciativa privada y las universidades. Sin embargo, las grandes hazañas requieren de tiempo para poder lograr el resultado esperado, pero sólo el trabajo cooperativo y solidario pueden hacerlas realidad.

En conclusión, la creación de Start-ups constituye una alternativa viable y necesaria para el desarrollo y crecimiento económico de la entidad, lo que se traduciría en una mejoría en las condiciones socioeconómicas y el bienestar de su población.

## REFERENCIAS

- [1] BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. (2004): Parte 1-La economía en el largo plazo [versión PDF]. [Disponible en <http://www.iadb.org/res/laresnetwork/files/pr238finaldraft.pdf>](http://www.iadb.org/res/laresnetwork/files/pr238finaldraft.pdf).
- [2] BROCAL, A. (02 de diciembre de 2013). Startup hubs: los principales focos de emprendimiento en Europa y en el mundo [Mensaje en un blog]. Disponible en: <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/startup-hubs-los-principales-focos-de-emprendimiento-en-europa-y-en-el-mundo>
- [3] Capítulo 12. La evolución del pensamiento sobre desarrollo. (s.f.). Teorías del Desarrollo [versión PDF]. Disponible en: <https://www.insumisos.com/lecturasinsumisas/Teorias%20del%20Desarrollo.pdf>
- [4] DIRECCIÓN DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS. (2016). Primer informe de actividades. Disponible en: [http://www.archivos.ujat.mx/2016/div\\_dacea/Informe\\_2016\\_DACEA.pdf](http://www.archivos.ujat.mx/2016/div_dacea/Informe_2016_DACEA.pdf)
- [5] HERNÁNDEZ, A. (31 de marzo de 2011). Crecimiento Económico y Producto Interno Bruto [Mensaje en un blog]. [Recuperado de http://www.economiatic.com/crecimiento-economico-y-producto-interior-bruto/](http://www.economiatic.com/crecimiento-economico-y-producto-interior-bruto/)
- [6] HERNÁNDEZ, M. A. (2017). Título de la tesis de Licenciatura: **Importancia de la creación de Start-ups (empresas de base tecnológica) para el desarrollo y crecimiento económico de Tabasco**. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tab.
- [7] HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación: cuarta edición [versión PDF]. Disponible en [https://competenciashg.files.wordpress.com/2012/10/sampieri-et-al-metodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006\\_ocr.pdf](https://competenciashg.files.wordpress.com/2012/10/sampieri-et-al-metodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006_ocr.pdf)
- [8] LASCURÁIN, P. G. (23 de abril de 2014). Pymes y startups: la forma es el fondo. Forbes México. Disponible en <http://www.forbes.com.mx/pymes-y-startups-la-forma-es-el-fondo/#gs.PycUzxw>
- [9] MARTÍNEZ, A. (27 de mayo de 2014). Guadalajara apuesta a ser el hub de innovación de las startups en AL. El Financiero. Disponible en <http://www.thefinanciero.com.mx/empresas/guadalajara-apuesta-a-ser-el-hub-de-innovacion-de-las-startups-en-al.html>
- [10] NÚÑEZ-TORRÓN, A. (06 de agosto de 2016). ¿Qué es una startup? [Mensaje en un blog]. Disponible en: <http://www.ticbeat.com/tecnologias/que-es-una-startup/>
- [11] OFICINA DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO HUMANO DEL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO EN MÉXICO. (2014). Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología [versión PDF]. Disponible en: [http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReducción\\_Pobreza/InformesDesarrolloHumano/UNDP-MX-PovRed-IDHmunicipalMexico-032014.pdf](http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReducción_Pobreza/InformesDesarrolloHumano/UNDP-MX-PovRed-IDHmunicipalMexico-032014.pdf)
- [12] ORTEGA, J. Y. (03 de febrero de 2016). Estas son las 5 startups más valiosas del mundo. Merca2.0. Disponible en: <http://www.merca20.com/estas-son-las-5-startups-mas-valiosas-del-mundo/>
- [13] PÉREZ, M. (16 de junio de 2016). Por qué la economía mundial necesita la creación de startups [Mensaje en un blog]. Disponible en: <http://comunidad.iebschool.com/iebs/emprendedores-y-gestion-empresarial/creacion-de-startups/>
- [14] REYES, J. A. (noviembre de 2013). Startups [Mensaje de un blog]. Disponible en: <https://sg.com.mx/revista/42/startups#.WDp2o9LhDIWTechhub.> (s.f.). About TechHub [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.techhub.com/about-us/>

## Capítulo 13

pp 141-149

### MÉXICO, IMPERIO AZTECA Y COLONIZACIÓN: ¿PERSISTENCIA O REVERSO DE LA FORTUNA?

### MEXICO, AZTECA EMPIRE AND COLONIZATION: ¿PERSISTENCE OR REVERSE OF THE FORTUNE?

Camilo Andrés Mesa Salamanca.

Docente Departamento de Economía Universidad Central. Estudiante del Doctorado en Economía de la Universidad de Los Andes. [cmesas@ucentral.edu.co](mailto:cmesas@ucentral.edu.co) [ca.mesa@uniandes.edu.co](mailto:ca.mesa@uniandes.edu.co)

#### RESUMEN.

El presente documento hace una aproximación sobre el posible reverso o persistencia de la fortuna en el caso de México. Utiliza un enfoque institucionalista para dar cuenta del análisis y se fundamenta en el Imperio Azteca como fuente generadora de determinadas instituciones que tenían en la época pre colonial, donde los asentamientos indígenas eran marcados y reflejaban el alto nivel de desarrollo de las ciudades. Utilizando los datos de Bruhn y Gallego (2012), se hacen regresiones bajo MCO, con el fin de evaluar la hipótesis, sin embargo los resultados no son concluyentes.

**Palabras Clave:** instituciones, crecimiento económico, historia económica.

**Clasificación JEL:** N16, N96, C10.

#### ABSTRACT.

The present document makes an approximation on the possible reverse or persistence of fortune in the case of Mexico. It uses an institutionalist approach to account for the analysis and is based on the Aztec Empire as a source of certain institutions that had in the pre-colonial period, where indigenous settlements were marked and reflected the high level of development of cities. Using data from Bruhn and Gallego (2012), regressions are done under OLS, in order to evaluate the hypothesis, however the results are inconclusive.

**Key Words:** institutions, economic growth, economic history.

**JEL Classification:** N16, N96, C10.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

En las ciencias económicas el papel de las instituciones y su relación con la historia han mostrado ser fundamentales para dar cuenta de los hechos que han llevado a las naciones por diferentes caminos. En varios de ellos, se ha evidenciado el paso de sociedades con bajo nivel de desarrollo a altos niveles en la actualidad, así como casos contrarios, y sin importar cuál sea, el papel jugado por las instituciones y el cambio institucional han sido determinantes en el proceso.

El presente trabajo está encaminado en ese sentido. Existe una motivación por comprender aún más los diferentes caminos que ha tomado el desarrollo del nuevo mundo a partir de la colonización y su efecto en la economía de hoy. Uno de estos caminos es el que surge en México a partir de las instituciones indígenas, en concreto, las del imperio azteca y su choque con las europeas. Este es un fenómeno que no se entiende completamente hoy en día y que es interesante por los rumbos que ha marcado en la historia de México.

La hipótesis que maneja el trabajo es que el desarrollo del imperio azteca en México fue muy importante y en su momento mostró ser una sociedad opulenta, lo que estableció algunas instituciones sociales, económicas y políticas que sostuvieron este desempeño, el cual se refleja en una alta tasa de urbanización indígena. Sin embargo, este marco económico e institucional se ve interrumpido por el proceso de colonización española, lo que lleva al establecimiento de otro tipo de instituciones que fueron ineficientes y han perjudicado el desarrollo económico de México hasta la actualidad por lo menos en términos relativos. Lo que se trata de mirar en este caso, es si existe a nivel subnacional algún tipo de persistencia o reverso de la fortuna<sup>1</sup> con respecto a la época antes de la colonia española, lo cual sería evidencia de la persistencia o no de las instituciones indígenas. Este planteamiento puede ser débil en términos de que no necesariamente las regiones más pobladas antes y que son más pobladas ahora reflejan tales instituciones, pero si es una aproximación para descubrir el tipo de instituciones que han afectado el desempeño económico.

## **2. MARCO CONCEPTUAL: INSTITUCIONES, PERSISTENCIA Y REVERSO DE LA FORTUNA.**

Existen diferencias en el desempeño económico que permiten hablar de instituciones eficientes e ineficientes. Acemoglu (2006), discute sobre lo que lleva a determinadas sociedades a tener instituciones ineficientes en algún momento, que conducen necesariamente a un desempeño económico pobre. El análisis de este tipo de casos se puede hacer a partir de la estructura social y de los grupos de poder que hay dentro de ella, pero en el fondo lo que genera las ineficiencias son la lucha de poderes entre grupos de poder por la extracción de recursos de una parte hacia otra modificando el marco de reglas de juego. La historia ha evidenciado distintos cambios institucionales que han llevado a la consolidación económica de los países donde hay persistencia en el desarrollo, pero esta misma historia también registra reversos en el desempeño económico: sociedades que en algún momento fueron prosperas y que posteriormente ya no lo eran, o lo contrario, economías de desempeño pobre en una etapa y en épocas posteriores de gran desempeño.

La literatura contemporánea en historia económica registra varios de estos casos. Borcan, Olsson y Puttermann (2014), ofrecen un análisis del desarrollo desde la formación del Estado hace seis milenios y su relación con el crecimiento actual, para lo cual encuentran que las civilizaciones pioneras en la conformación del Estado son en la actualidad sociedades pobres en comparación con aquellas que tuvieron una formación tardía de su Estado. Bockstette, Chanda y Puttermann (2002), muestran evidencia que la antigüedad de formación del Estado tiene una relación positiva con las tasas de crecimiento actuales en diferentes países. La idea es que la formación del Estado está relacionada con la conformación de instituciones y la estabilidad política. Por su parte, Chanda y Puttermann (2007), sostienen que efectivamente desde 1500 hasta 1960 existió un reverso de la fortuna, especialmente en países no europeos, pero que este fenómeno, si se mira a la luz de datos más recientes, ya ha comenzado a mostrar un efecto de persistencia con respecto al proceso institucional que se

<sup>1</sup> Reverso de la fortuna hace referencia al cambio que tuvieron sociedades que en algún momento fueron opulentas, con alto desarrollo económico y en la actualidad no lo son.

dio en 1500, por lo que no queda totalmente en claro si se trata de un fenómeno de reverso de la fortuna o de persistencia.

El trabajo de Olsson y Paik (2013), estudian la relación inversa que se ha dado desde la transición del neolítico hasta la actualidad. Este trabajo indica un reverso de la fortuna para aquellas regiones que realizaron inicialmente su transición hacia la agricultura en comparación con aquellas que lo hicieron posteriormente. Este trabajo es similar al de Hibbs y Olsson (2004), donde la argumentación sobre la relación histórica de la transición del neolítico al desarrollo actual está marcada es por diferencias en las dotaciones geográficas y biológicas, más que por las instituciones de los países, aun cuando en este análisis se evidencia es persistencia y no reverso de la fortuna.

Engerman y Sokolof (2006) sostienen que durante el periodo de colonización en el 1500 las migraciones de personas permitieron el desarrollo de gobiernos, leyes, políticas, mercados y la conformación de un capital humano y social que incidieron en el desarrollo posterior de las colonias. La idea central es mostrar una persistencia en términos de que aquellas regiones desiguales continuaron siéndolo aun dada la colonización, en comparación con aquellas menos desiguales que hoy día son más desarrolladas.

Acemoglu, Johnson y Robinson (2002) , rescatan el reverso de la fortuna a partir de la época de la colonización europea en América. El argumento es el establecimiento de instituciones buenas en regiones que eran pobres permitiendo que en el siglo XIX se diera el reverso de la fortuna. Este argumento está fundamentado en que las regiones pobres tenían baja mortalidad para los colonizadores y permitieron su asentamiento junto con sus instituciones que florecieron tiempo después. Este resultado es confirmado por Chanda, Cook y Puttermann (2014), pero adicionan que en el fondo existe persistencia para ciertas poblaciones y sus descendientes, esto es, el pasar de ser una sociedad desarrollada a una menos desarrollada en la actualidad es un fenómeno que se da entre países mas no dentro de los países, al respecto, un argumento similar se puede encontrar en el trabajo de Maloney y Caicedo (2016) y de Bruhn y Gallego (2012).

### **3. INSTITUCIONES EN EL IMPERIO AZTECA.**

La civilización azteca tuvo sus orígenes como una comunidad nómada que provenía del norte y que logró su asentamiento hacia el siglo XIV en el valle de México, específicamente lo hicieron en Tenochtitlan y su posterior desarrollo los llevo a dominar gran parte del golfo de México en aproximadamente 200 años por lo que se les consideró como un imperio. En concreto, los historiadores reconocen que el imperio azteca hace referencia al dominio que ejercieron los aztecas sobre sus aliados regionales. De esta manera, el núcleo central del imperio no fue solamente Tenochtitlan sino también ciudades aledañas al lago Texcoco y Chalco (Carrasco, 1996).

Este imperio surge en el contexto de lo que se conoce como la triple alianza, dada por las ciudades de Tenochtitlan, Texcoco y Tlacopan. La formación del Imperio azteca está marcada por conflictos militares de territorio en el centro de México y aproximadamente es en 1428 cuando se forma la triple alianza dada la expansión militar lograda a partir de Tenochtitlan. El territorio mencionado en su momento fue conformado por las tres ciudades ya mencionadas, 489 pueblos y 38 provincias (Marcus, 1992).

La estructura social de los aztecas está documentada como una ciudad-Estado, donde la organización sociopolítica era autónoma, gobernada por un rey y estructurada bajo un rango de nobleza que era hereditaria, muy semejante a las ciudades-Estado que se han presentado a través de la historia (Smith, 1987). La expansión del imperio fue militarmente amplia hasta la aparición de los colonizadores españoles. Los principios de gobierno eran entonces monárquicos, dados por dinastías que se mantenían en el poder principalmente por creencias religiosas que la sociedad asumía como legítimas, por ejemplo, los líderes gobernantes eran considerados como representantes de los dioses (Almazán, 1999).

De acuerdo con Almazán (1999), el objetivo central de la sociedad azteca se puede resumir en 3 principios: la preservación del orden cósmico (que se entendía socialmente como el cumplimiento del deseo de los dioses,

lo que en repetidas ocasiones llevó a sacrificios de indígenas), la preservación del territorio y las dinastías gobernantes y la conservación de las instituciones sociales. Este último punto es relevante, ya que la solución a los problemas de negociación con otros territorios justificó en muchos casos las guerras bajo un manto religioso para expandir y sostener el poder, al punto que las disputas y sacrificios de enemigos tenían ritos a seguir como si se tratara de un acto diplomático. Sin embargo, este mismo autor, menciona que varios aspectos de la vida social tenían instituciones informales que implicaban las alianzas con otros territorios e interacción con otros pueblos particularmente en el matrimonio.

En la parte económica, se basaron fundamentalmente en una producción agrícola donde el maíz fue su fuente principal de abastecimiento. Esta actividad fue ante todo patriarcal, pero dividida en estratos, donde los campesinos se encargaron del cultivo y mientras que el manejo de tecnologías más sofisticadas que implicaron el uso de metales para la elaboración de armas, artículos religiosos y construcciones de piedra, correspondieron a la clase noble (Smith, 1987). El desarrollo de intercambios dependía de tres instituciones: la distancia de comercio, las plazas de mercado y la producción destinada a los tributos a los dioses; las dos primeras gozaron de un amplio desarrollo entre las ciudades del imperio, mientras que la tercera implicaba más que nada el pago de un impuesto para mantener las guerras, rendir tributos a los dioses y desarrollar actividades de diplomacia con otras regiones (Smith, 1987)<sup>2</sup>.

Al respecto, Almazán (1999), rescata que el imperio azteca logra la construcción de redes de comercio con productos que gozaban de alta calidad y precios dados por el trueque lo que constituía una institución en sí misma. Este tipo de economía, con el tiempo, permitió el surgimiento de los comerciantes como clase social, especialmente porque fueron los encargados del intercambio con otras regiones y en tal sentido debían cubrir las distancias entre ciudades llevando la mercancía denominada de lujo en el sentido que era necesaria como símbolo social de estatus. En este punto, Smith y Berdan (1992), consideran que el imperio azteca realizó exportaciones de cerámicas, dados los hallazgos arqueológicos de este tipo de bienes por fuera del territorio azteca.

De la parte económica y política, se desprende la opulencia y riqueza con la que contó el imperio azteca durante su periodo de permanencia y que sin duda se reflejan en sus altas tasas de urbanización y crecimiento de la población indígena. El orden social, político y económico, en parte, dictaminado por creencias religiosas, permitió el desarrollo de instituciones que no pueden ser desconocidas dado que son similares a las que se encuentran en el estudio histórico de otras civilizaciones. Sin embargo, no se puede obviar que existían factores de dominio y opresión por parte del imperio que mantenían a varias regiones oprimidas bajo las normas ya mencionadas (Carrasco, 1996).

La caída del imperio azteca se da con la llegada de los españoles, en el año de 1521, cuando Hernan Cortes, después de librar diversas batallas logra la caída de Tenochtitlan, en parte, gracias a la ayuda de los enemigos militares de los aztecas (Carrasco, 1996). Esta caída da paso a la colonización española y la implementación de nuevas instituciones en el territorio lo que llevó a una disminución de la población indígena.

#### **4. ¿REVERSO DE LA FORTUNA O PERSISTENCIA?: METODOLOGÍA Y EVIDENCIA EMPÍRICA.**

Como se mencionó anteriormente, el imperio azteca contó con una gran riqueza hasta su caída. Se documenta esta sociedad como de gran crecimiento y urbanización que dominó gran parte de los estados mexicanos conocidos hoy en día. De acuerdo con Marcus (1992), se caracterizó por tener grandes asentamientos de población indígena en cada una de sus regiones lo que le facilitó aún más el desarrollo y establecimiento de instituciones políticas, sociales y económicas.

---

<sup>2</sup> La complejidad de los lugares de comercio de los aztecas y su jerarquización en términos de plazas de comercio es bien presentada y documentada en Smith (1979).

Posterior a la época de colonización sobre estos territorios indígenas y en general sobre el territorio mexicano se gestaron nuevas instituciones que surgieron de una mezcla dadas las instituciones indígenas y las que trajeron los colonizadores. Al respecto, varios argumentos sobre el proceso de desarrollo que sufrió la región latinoamericana a partir de la época han sido esgrimidos con el fin de dar explicación al pobre desempeño económico actual.

Como fue mencionado en el marco conceptual, uno de ellos es el del establecimiento de instituciones extractivas, donde se plantea que los colonizadores (dada la tasa de mortalidad que sufrían) en las regiones donde se dieron grandes densidades de población indígena no desarrollaron asentamientos ni instituciones “buenas”, sino que extrajeron riquezas de forma permanente llevando al desarrollo de instituciones ineficientes (Acemoglu, Johnson, & Robinson, 2002). De otro lado, está el planteamiento de la persistencia subnacional de la fortuna, esto es que las instituciones indígenas, a pesar de la llegada de los colonizadores persistieron, pero se deterioraron llevando al bajo desempeño económico actual (Mahoney & Kelly, 2015).

Por su parte, Maloney y Caicedo (2016), en concordancia con este último planteamiento, que efectivamente existe una persistencia subnacional dentro de los territorios que fueron altamente indígenas. Esto es, regiones que en la época de colonización fueron altamente indígenas son hoy en día bastante urbanizadas y desarrolladas económicamente, reflejando su persistencia en el desarrollo. Parte del argumento es debido a un efecto de aglomeración porque los colonos se asentaron por razones estratégicas y comerciales en las zonas más densamente pobladas, lo cual en parte estaría de acuerdo con el documento de Acemoglu et al. (2002), pero rechaza el efecto de las instituciones.

El presente trabajo busca analizar la existencia de reverso o persistencia de la fortuna en el caso de México, para lo cual se ha fundamentado en el imperio azteca como la región indígena que se ubicó en esta región. Para este fin se utilizan los datos de Bruhn y Gallego (2012), donde se encuentran los 32 estados de México, para cada uno se cuenta con información sobre la densidad poblacional indígena en la época pre colonial y su PIB per cápita en paridad de poder adquisitivo en dólares del año 2000, además de otras variables de control geográficas y de desarrollo.

En concreto, *lyppp* es el logaritmo del PIB per cápita en PPP del año 2000, *lpopd* es el logaritmo de la densidad poblacional en la época pre colonial, *lgini* es el coeficiente de Gini actual, *native* es el porcentaje de población indígena en la época pre colonial, *temp\_avg* es la temperatura promedio durante el año en la región en grados centígrados y *alti* es la altitud sobre el nivel del mar en kilómetros de la capital del estado. La tabla 1 resume las principales estadísticas descriptivas.

**Tabla 1.**  
**Estadísticas descriptivas.**

VARIABLES	(1) N	(2) mean	(3) sd	(4) min	(5) max
<i>lyppp</i>	32	8.9782	0.461	8.206	10.04
<i>lpopd</i>	32	2.2068	1.59	-0.906	5.97
<i>lgini</i>	32	-0.6594	0.083	-0.863	-0.522
<i>native</i>	32	7.5784	10.76	0.097	39.67
<i>temp_avg</i>	32	20.3437	4.13	-12.2	28.1
<i>alti</i>	32	1.23	0.903	0	2.68

Fuente datos: (Bruhn & Gallego, 2012). Elaboración: Autor.

Con el fin de evidenciar la hipótesis del trabajo se hacen las siguientes estimaciones:

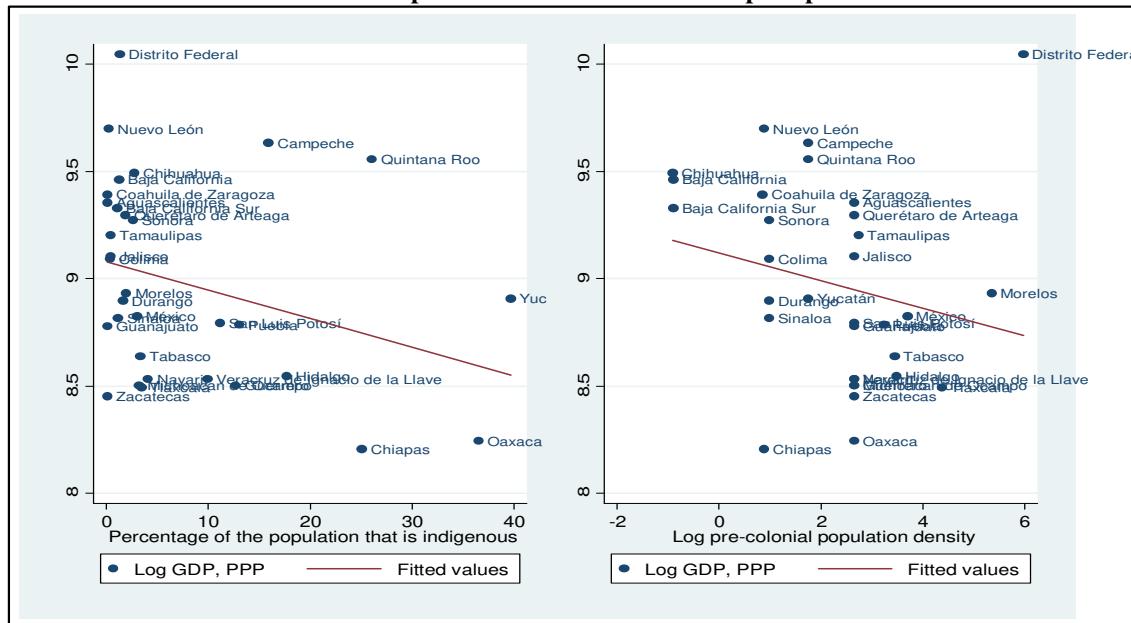
$$lyppp_i = \beta_0 + \beta_1 lpopd_i + \beta_2 lgini_i + \beta_3 temp\_avg_i + \beta_4 alti_i + u_i$$

$$lyppp_i = \beta_0 + \beta_1 native_i + \beta_2 lgini_i + \beta_3 temp\_avg_i + \beta_4 alti_i + u_i$$

Lo que se busca es que en caso de existir persistencia  $\beta_1$  debería ser positivo y en caso de reverso de la fortuna sería negativo. Las otras variables se están utilizando como controles. Para cada caso, se hacen regresiones simples y múltiples. Se evidencia que la diferencia entre las dos ecuaciones está en el uso de la variable de interés, que en un caso es la densidad poblacional y en la otra la proporción de población indígena en la época pre colonial. Además, la variable de interés utilizada en las regresiones, esto es *lpopd* y *native* son proxy del desarrollo económico de la época colonizadora.

El grafico 1 muestra una primera relación entre las variables que son usadas como proxy del desarrollo regional en México antes de la colonia y el ingreso per cápita actual. Se evidencia en los dos gráficos una relación inversa, lo que intuitivamente conduce a concluir en primera estancia la presencia de un reverso de la fortuna en el caso subnacional.

**Figura 1.**  
**Relación entre el PIB per cápita actual  
 vs la densidad poblacional en México en la época pre colonial.**



Fuente datos: (Bruhn & Gallego, 2012). Elaboración: Autor.

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados de las regresiones utilizando MCO. En la primera regresión (tabla 2), se evidencia en el caso de la regresión simple un reverso de la fortuna, mientras que, en la regresión múltiple, al adicionar algunos controles, hay persistencia. Esto es, a partir del simple coeficiente estimado no se puede establecer cuál es la relación clara del crecimiento actual con los asentamientos en México durante la época pre colonial, más aún cuando en ninguna de las dos estimaciones de la primera regresión la variable de interés no resulta significativa.

**Tabla 2. Resultados de la regresión.**  
**Variable dependiente: *lyppp***

VARIABLES	(1) Simple	(2) Múltiple
<i>Lpopd</i>	-0.0646 (0.0516)	0.0124 (0.0611)
<i>Lgini</i>		-2.284** (1.072)
<i>temp_avg</i>		-0.0139 (0.0409)
<i>Alti</i>		-0.133 (0.209)
<i>Constant</i>	9.121*** (0.140)	7.890*** (1.392)
Observations	32	32
R-squared	0.050	0.234

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente datos: (Bruhn & Gallego, 2012). Elaboración: Autor.

En la tabla 3 se reportan los resultados cambiando la variable de interés por el porcentaje de población indígena en la región o estado. En este caso, tanto en la regresión simple como en la regresión múltiple parece evidenciarse un reverso de la fortuna: la mayor proporción de población indígena en el siglo XV genera una reducción del ingreso per cápita en la actualidad. Sin embargo, la variable de interés resulta solo significativa en la regresión simple, mas no en la múltiple, lo que refleja una inconsistencia dado que se sabe que el uso de variables de control mejora la precisión de la estimación al disminuir el problema de variable omitida.

**Tabla 3. Resultados de la regresión.**  
**Variable dependiente: *lyppp***

VARIABLES	(1) Simple	(2) Múltiple
<i>Native</i>	-0.0133* (0.00744)	-0.00962 (0.00974)
<i>Lgini</i>		-1.351 (1.360)
<i>temp_avg</i>		-0.0114 (0.0399)
<i>Alti</i>		-0.169 (0.199)
<i>Constant</i>	9.079*** (0.0969)	8.600*** (1.535)
Observations	32	32
R-squared	0.096	0.260

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente datos: (Bruhn & Gallego, 2012). Elaboración: Autor.

Este último resultado es interesante, dado que contradice la posición dada por Maloney y Caicedo (2016), Chanda, Cook y Puttermann (2014) y Bruhn y Gallego (2012), sobre la persistencia subnacional y corroboraría los resultados de Acemoglu et al. (2002) de reverso de la fortuna. Esto favorece la hipótesis de que este cambio en la riqueza de México entre el siglo XV y el tiempo actual, donde el país se ha vuelto más pobre en términos de su desempeño económico ha sido por un cambio institucional: la desaparición de la población indígena en su momento, la reducción y caída del imperio azteca, llevaron a una modificación en las instituciones generando aquellas que fueron mayormente extractivas dentro de las poblaciones urbanizadas mayoritariamente indígenas, lo que lleva a instituciones y economías ineficientes.

De todas maneras, los resultados no son concluyentes y requieren de una revisión más exhaustiva, dada la baja significancia estadística de los resultados. Por ejemplo, la primera regresión realizada no descarta la posición contraria bajo la cual existe es persistencia en el desarrollo en cuyo caso un análisis institucional brindaría mejor idea de esta situación.

## 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo realiza una indagación sobre la persistencia o reverso de la fortuna en el caso de México, tomando como línea base en el tiempo el periodo pre colonial, más exactamente aquel que tiene que ver con el mayor asentamiento indígena como fue el de los aztecas, época en la que se establecieron determinadas instituciones sociales, económicas y políticas. Los resultados de las estimaciones realizadas no permiten ofrecer un resultado contundente al respecto desde el punto de vista econométrico. Al utilizar diferentes variables de interés y usando regresiones simples y múltiples no se encuentra suficiente evidencia de un reverso subnacional de la fortuna o una persistencia. Desde una perspectiva institucional, los datos regionales de México no dan claridad al respecto. Si bien el imperio Azteca estaba consolidado institucionalmente y era opulento, el efecto colonizador bien pudo o no socavar estas instituciones afectando el futuro desempeño económico del país.

Es importante mencionar que existen problemas en las estimaciones. Por un lado, las regresiones no consideran el posible caso de endogeneidad. Es decir, la hipótesis de trabajo está fundamentada en que pueden existir factores institucionales de la época colonial que han evolucionado en el tiempo y que han afectado el desempeño económico actual, pero es evidente que dichas instituciones del siglo XV también incidieron en su momento, lo que hace que los estimadores puedan tener sesgo de variable omitida. Así, el uso de variables instrumentales sería ideal para ajustar la estimación o incluir una medida de instituciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acemoglu, D. (2006). A simple model of inefficient institutions. *Scandinavian Journal of economics*, 515-546.
- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. (2002). Reversal of fortune: geography and institutions in the making of the modern world income distribution. *The Quarterly Journal of Economics*, 1231-1294.
- Almazán, M. (1999). The Aztec States-Society: Roots of Civil Society and Social Capital. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 162-175.
- Ang, J. (2012). What drives the formation and persistent development of territorial states since 1 AD? *MPRA paper 42357, Monash University*, 1-20.
- Ang, J. (2013). Institutions and the long-run impact of early development. *Journal of development economics* 105, 1-18.
- Ang, J. (2015). What drives the historical formation and persistent development of territorial states? *The Scandinavian Journal of Economics* 117, 1134-1175.

- Bockstette, V., Chanda, A., & Puttermann, L. (2002). States and markets: the advantage of an early start. *Journal of economic growth* 7, 347-369.
- Borcan, O., Olsson, O., & Puttermann, L. (2014). State history and economic development: evidence from six millennia. *SSRN Electronic Journal*, 1-68.
- Bruhn, M., & Gallego, F. (2012). Good, Bad, Ugly Colonial Activities: Do they matter for economic development. *Review of economics and statistics*, 433-461.
- Carrasco, P. (1996). *Estructura plítico-territorial del imperio Tenochca. La triple alianza de Tenochtitlan, Tetzcoco y Tlacopan*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Chanda, A., & Puttermann, L. (2007). Early starts, reversals and catch-up in the process of economic development. *The Scandinavian Journal of Economics*, 387-413.
- Chanda, A., Cook, J., & Puttermann, L. (2014). Persistence of fortune: accounting for population movements, there was no post-columbian reversal. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 1-28.
- Comin, D., Easterly, W., & Gong, E. (2006). Was the wealth of nations determined in 1000 B.C.? *NBER Working paper 12657*, 1-46.
- Engerman, S., & Sokoloff, K. (2006). Colonialism, inequality, and long-run paths of development. En Banerjee, Benabou, & Mookherjee, *Understanding poverty*. Oxford Scholarship Online.
- Hibbs, D., & Olsson , O. (2004). Geography, biogeography, and why some countries are rich and others are poor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS*, 3715-3720.
- Mahoney, J., & Kelly, A. (2015). The emergence of the new world states. *The oxford handbook of transformations of the state*, 1-38.
- Maloney, W., & Caicedo, F. (2016). The persistence of (subnational) fortune. *The Economic Journal*, 1-52.
- Marcus, J. (1992). Political fluctuations in Mesoamerica. *National Geographic Research and Exploration* , 392-411.
- North, D. (1991). Institutions. *Journal of economics perspectives*, 97-112.
- Olsson, O., & Paik, C. (2013). A western reversal since the neolithic? The long-run impact of early agriculture. *Working papers in economics 552, University of Gothenburg*, 1-66.
- Smith, M. (1979). The aztec marketing system and settlement pattern in the valley of Mexico: a central place analysis. *American Antiquity*, 110-125.
- Smith, M. (1987). Archaeology and the Aztec Economy: the social scientific of archaeological Data. *Social Science History*, 237-259.
- Smith, M., & Berdan, F. (1992). Archaeology and the Aztec Empire. *World Archaeology*, 353-367.

## Capítulo 14

pp 150-159

### LOS RETOS ACTUALES DE LA UNIVERSIDAD EN SU VÍNCULO CON LA SOCIEDAD PARA SU PROGRESO ECONÓMICO Y SOCIAL

Alisva Cárdenas-Pérez, Mariela Chango Galarza y Amparo Álvarez Montalvo

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

#### Resumen

Las universidades son clave para la generación de desarrollo y progreso a la sociedad siempre que su vínculo sea directo con las necesidades de la misma. Este artículo es el resultado de la ejecución de dos proyectos de vinculación con la sociedad en la Provincia de Cotopaxi - Ecuador, con la participación de 204 comerciantes del mercado cerrado del Cantón Latacunga y 205 artesanos de distintos gremios y asociaciones a nivel provincial. Se presenta una solución a la problemática encontrada en los sectores comerciales populares que generalmente son desatendidos por la propia colectividad afectada al no encontrar una motivación para corregir los conocimientos empíricos aplicados en sus negocios; con estos proyectos la universidad procura aportar al progreso económico y social, dinamizando la economía popular de la ciudad de Latacunga y de la provincia de Cotopaxi, entregando un servicio comercial público accesible y de alta calidad a la ciudadanía.

**Palabras clave:** Universidad, Vinculación, Sociedad, Calidad, Conocimiento, Progreso

#### Abstract

Universities are key to the generation of development and progress to society if their relationship is direct with the needs of the same. This article is the result of the execution of two projects of relationship with the society in the Cotopaxi Province - Ecuador, with the participation of 204 merchants of the closed popular market of the Latacunga city and 205 craftsmen of different unions and associations at provincial level. A solution to the problems found in popular commercial sectors that are generally neglected by the community affected on not finding a motivation to correct empirical knowledge applied in their businesses is presented; these projects the university seeks to contribute to economic and social progress, boosting the popular economy of the Latacunga city and the Cotopaxi province, delivering an affordable, high-quality commercial public service citizenship.

**Key words:** University, Relationship, Society, Quality, Knowledge, Progress.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo se origina a partir de la ejecución de dos proyectos de vinculación con la sociedad que son parte de un programa global titulado “Programa de preparación contable para personas naturales y entes jurídicos obligadas a llevar contabilidad, mediante el uso de sistema contables para la gestión tributaria y laboral” [1] que se desarrolla en el departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y del Comercio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, como también de otros trabajos de investigación previos publicados respecto de algunas experiencias en actividades de vinculación con la sociedad realizadas en otras universidades del mundo.

La postura de las investigadoras es reflexiva y crítica respecto del objeto de estudio y de los casos fenomenológicos sociales encontrados en la ejecución de estos dos proyectos, lo cual valida el rol importante que tienen las universidades como base del progreso económico y social del territorio en donde desarrollan sus actividades y cómo las mismas involucran el compromiso de trabajar inseparablemente con tres actores fundamentales: universidad, empresa y sociedad (en los setenta el triángulo de Jorge Sábato (1968) y en los ochenta el “triángulo de Burton Clark (1983)) [2].

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, realiza actividades de vinculación en su campus matriz en Sangolquí; así como también, en sus extensiones universitarias ubicadas en las ciudades de Latacunga y Santo Domingo de los Colorados. Los proyectos de vinculación propuestos son sometidos a la rigurosa evaluación de un comité evaluador, mismos que se formulan en base a las necesidades que revelan los sectores marginales y urbanos marginales. Es así que la ESPE al mantener una estructura organizativa departamental basada en la docencia, investigación y vinculación con la sociedad trabaja de forma conjunta los tres actores fundamentales que dan el soporte a las carreras de pregrado y posgrado que oferta.

Las oportunidades de ayuda social que puede ofrecer una universidad a través del conocimiento de sus estudiantes y docentes deben ser muy valoradas no solo por el sector que las recibe y se beneficia sino por la propia universidad, ya que la entrega de este tiempo y esfuerzo es el que permite que exista una real pertinencia de la universidad en un territorio específico. En medio de lo descrito, parafraseando a Naidorf et al. [2], en su publicación sobre la “*Pertinencia social de la Universidad como categoría equívoca*”, es necesario considerar el imperioso llamado que hace la sociedad a la universidad a tener un mayor sentido de pertinencia y responsabilidad social de su producto en relación con el cumplimiento de lo que verdaderamente se demanda para la procura de un verdadero desarrollo territorial y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Este artículo, trata uno de los tres actores antes mencionados: la vinculación con la sociedad, el cual presenta la siguiente estructura: Primero, se realizará una revisión del estado del arte dentro del área de la vinculación con la sociedad de las universidades latinoamericanas entendidas en algunas como comunitarismo, extensión, convenios institucionales o los actos de solidaridad ejecutados desde las universidades con ayuda del conocimiento de sus docentes y estudiantes.

Segundo, se presentan dos proyectos de vinculación ejecutados por el Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y del Comercio (DCEAC) de la ESPE extensión Latacunga en donde se expone los resultados obtenidos en los mismos, considerando el antes y el después de la ejecución.

Seguidamente, se muestran algunas reflexiones-críticas de las investigadoras respecto de la experiencia obtenida en la ejecución de estos proyectos para finalmente determinar algunas conclusiones preliminares e indicar las futuras líneas de investigación que quedan abiertas para el interminable trabajo del quehacer científico en esta área.

## 2. ESTADO DEL ARTE

El término de vinculación con la sociedad, aparentemente innovador en la cultura académica ecuatoriana, toma especial énfasis en Ecuador a partir de la aprobación en octubre de 2010 de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), en donde se considera como una de las actividades académicas de los docentes y estudiantes de las universidades ecuatorianas [3].

Seguidamente, organismos como el Consejo de Educación Superior (CES), Consejo Nacional de Evaluación y Acreditación (CONEA) [4] y el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) [5] regularon estas actividades mediante los procesos de evaluación institucional de cada una de las universidades y por ende dentro de cada una de las carreras.

De ahí que la revisión del estado del arte de este artículo no puede soslayar que la literatura científica que aborda el tema de vinculación con la sociedad en Ecuador actualmente es nula, en contraste con lo que ocurre con la academia mexicana, colombiana y argentina, en donde es posible visualizar los años de adelanto que tienen estas universidades latinoamericanas dentro de su labor de vinculación con la sociedad y búsqueda de un significado que le entregue un sentido de pertinencia a los productos académicos ofertados en los territorios en los cuales se desenvuelven.

Con lo indicado anteriormente, no se pretende decir que no existan estudios dentro de esta área en otras universidades del mundo, por el contrario, existe gran cantidad de libros y artículos que datan las experiencias y resultados obtenidos en Norteamérica y Europa en donde estas actividades han sido parte de la innovación de muchas empresas, aun así es necesario reconocer que la realidad de sus contextos sociales y culturales es totalmente diferente a lo que se vive hoy en día en Ecuador, por tanto sería inverosímil tomar estos ejemplos como un *patrón paradigmático* para el caso ecuatoriano. A pesar que muchos de los modelos acogidos por organismos de control gubernamental de este país sí lo han hecho.

En este orden de ideas, algunos autores [6], afirman que “la vinculación puede convertirse en un instrumento eficaz de promoción de la universidad”, con lo que dejan apreciar que uno de los puntos a favor de esta actividad es la de mejorar la imagen institucional dentro del contexto social donde se desarrolla. Es decir, que hace más de diez años, en México ya se veía de forma prospectiva esta área de trabajo como uno de los ejes fundamentales en los cuales la universidad debe irse afincando, incorporando nuevos actores como los sectores sociales (incluido el gobierno) además del ámbito de la industria o el desarrollo tecnológico.

Por otro lado, académicos mexicanos [7] han sido un punto de referencia muy citado en la escasa literatura científica latinoamericana del tema que nos ocupa, como el caso del artículo “*La vinculación universitaria: ese oscuro objeto del deseo*” publicado en la revista electrónica de Investigación Educativa de la Universidad de Baja California, México. Aquí, ya se planteaba la problemática que se encontraba alrededor de las actividades de vinculación con la sociedad dentro de la universidad mexicana, misma que al igual que el caso ecuatoriano actual era realizada en el contexto del desconocimiento sobre el significado de esta actividad.

A manera de dar una distinción a este término, se destacaban tres conceptos: el primero bajo una *visión economicista*, en donde se ve a la vinculación “básicamente como venta de servicios” y la forma de sacar de los aprietos presupuestarios a las universidades; el segundo enfoque es el de la *visión fiscalista* (se refiere a la medida en que se acortan las distancias materiales *físicas* entre universidad y sociedad) y una tercera forma de visualizarla como una *nueva función* de las universidades, en donde la vinculación debía ser realizada primeramente al interior de la propia universidad como ayuda fundamental de los centros de investigación para la generación de “redes” de cooperación entre agentes, como el gobierno, las empresas, el sistema educativo global y los centros de investigación del nivel superior. Así, estos dos académicos, dejaban presente la propuesta para que las universidades adopten esta actividad como una “*función sustantiva*” que sea complementaria a otras actividades que son totalmente diferentes y que suelen ser confundidas con las de vinculación como las de extensión y las de prestación de servicios.

A tenor de lo expuesto, existen investigaciones [8] que exponen la realidad que vivía la universidad colombiana hace diez años atrás, en cuanto a sus procesos de vinculación con la sociedad, en donde la

responsabilidad social de la misma se ve limitada a las regulaciones gubernamentales existentes con la consecuente pérdida de autonomía universitaria, llevando con esto a una pérdida de la idea de una universidad responsable consigo misma y buscando hacer de las actividades de vinculación con la sociedad la principal fuente de financiamiento de los déficits presupuestarios de las universidades, llevando a la masificación de la educación superior, superando la propia capacidad interna y poniendo en grave riesgo la calidad de la educación superior. En este contexto, el autor revela la existencia de una crisis en la academia respecto del significado de vinculación con la sociedad y su estrecha relación con el sentido de pertinencia de la universidad dentro del territorio en donde se desenvuelve.

Esta crisis académica es expuesta desde algunos enfoques (político, economicista, social e integral), haciendo énfasis en los aportes de los más importantes representantes del enfoque social [9], [10], [11], [12], [13].

Finalmente, se encuentran estudios que mencionan los dos extremos en los cuales la universidad colombiana se encontraba dentro del campo de la vinculación social: por un lado la autonomía mal entendida como un “auto-encierro” de las universidades y por otra la tendencia de llevar la academia al plano “puramente disciplinar” desconectándolas de los territorios y las realidades sociales en las cuales se desenvolvían.

Entonces resulta que en referencia a la vinculación social universitaria, es posible establecer que en las universidades latinoamericanas es coincidente entenderla hace más de una década, como el punto clave que ancla la pertinencia universitaria desde un enfoque social, en la cual -aceptando que no tiene una sola interpretación- concordamos que ésta se puede asumir como un *significante vacío* [2], [14] y [15].

### **Proyectos de vinculación universitaria del DCEAC de la ESPE Latacunga**

Toda vez que se ha revisado teóricamente los distintos significados que las universidades latinoamericanas han dado a la función de vinculación con la sociedad a lo largo del tiempo, se presentan dos proyectos de vinculación ejecutados por el Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y del Comercio de la ESPE.

### **Proyecto de generación de conocimientos contables, laborales y tributarios a los artesanos que forman parte de la Junta Provincial de Defensa del Artesano de Cotopaxi**

El principal objetivo de este proyecto fue el de contribuir al conocimiento de los artesanos en la determinación de los costos unitarios de sus productos, sin recurrir al empirismo o a la simple comparación de precios con la competencia, de esta forma mejorar los procesos en cada uno de los talleres artesanales de la provincia de Cotopaxi, lo que permitirá a sus propietarios optimizar el uso de sus recursos, tomar decisiones acertadas e incrementar sus niveles de ingreso y rentabilidad para una recuperación de la inversión en un tiempo racional generando nuevas fuentes de empleo [16].

### **Proyecto de preparación en coaching y emprendimiento, técnicas financieras y tributación para los comerciantes de plazas y mercados del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi**

Estudiar el contexto social en el que se desenvuelven las plazas y mercados en Ecuador, constituye por sí mismo una investigación de su cultura histórica, pues su existencia ha determinado en gran medida las delimitaciones culturales y geográficas de muchos de los pueblos y ciudades. En el cantón Latacunga, la producción agrícola es muy variada, así como también la producción textil artesanal y artículos para la vivienda, la venta de estos productos es una de las actividades más emblemáticas e importantes de la región. El objetivo principal de este proyecto fue el de fortalecer el emprendimiento para motivar a los comerciantes del mercado cerrado del cantón Latacunga y con esto optimizar sus recursos a través de herramientas administrativas y financieras [17].

### **Resultados obtenidos: Vinculación universitaria de la ESPE en Cotopaxi**

De acuerdo con lo indicado anteriormente se pueden distinguir algunos cambios trascendentales en la realidad social de los sectores beneficiados con la ejecución de los dos proyectos, tanto para los artesanos de la provincia de Cotopaxi como para los comerciantes del mercado cerrado del cantón Latacunga.

En el primer caso, la Junta de Defensa del Artesano fue un pilar fundamental para realizar la convocatoria a inscripción de los participantes para la capacitación en los diferentes módulos, empezando con un numérico superior a 100 personas participantes y concluyendo con 204 comerciantes, esto constituyó un gran esfuerzo por parte de los artesanos considerando que para recibir las capacitaciones -durante los cuatro meses de ejecución del proyecto- debían viajar cada viernes y sábado desde los diferentes cantones de la provincia de Cotopaxi hacia el campus Centro Latacunga de la ESPE.

**Tabla 1. Resultados obtenidos en el proyecto de vinculación aplicado a los artesanos calificados por la Junta de Defensa del Artesano de la Provincia de Cotopaxi**

ANTES	DESPUÉS
<b>Carencia del conocimiento de los activos</b>	Adaptación de una cultura contable que les permitió realizar una identificación adecuada de los activos que poseen en sus negocios
<b>Desconocimiento de los principios básicos de la partida doble, desconocimiento de su patrimonio real</b>	Instrucción en los principios básicos contables que permitieron la determinación del patrimonio real de sus negocios
<b>Inadecuada forma de registro de ingresos y gastos debido al desconocimiento sobre la identificación de los mismos</b>	Aprendizaje de sistemas informáticos adecuados para el registro contable y determinación de la utilidad contable
<b>Falta de contratos acorde a las necesidades de cada artesano</b>	Elaboración oportuna de los contratos de trabajo, acorde a las necesidades de los artesanos “eventuales, por obra, a destajo entre otros.”
<b>Precios de venta al público no reales</b>	Determinación del precio, basado en contabilidad de costos
<b>Falta de legalización de contratos y finiquitos</b>	Adequado registro y cumplimiento con la normativa vigente por el Ministerio de Relaciones Laborales
<b>Cancelación de horas extras de manera empírica</b>	Conocimiento y aplicación de las formas de cálculo eficiente de horas extras de acuerdo a lo indicado en la ley ecuatoriana
<b>Parte tributaria:</b> Desorganización de sus documentos tributarios, facturas, notas de venta, retenciones. Utilización incorrecta de los gastos Errores en las declaraciones presentadas Omisión de información	Organización adecuada de la información Corrección de la información tributaria Aplicación de los beneficios tributarios Aplicación de incentivos del Código de la Producción
<b>Inexistencia de planificación económica</b>	Ahorro e inversión adecuada de sus ingresos, egresos, prospectiva de sus necesidades de endeudamiento y su capacidad de pago
<b>Inversión y endeudamiento poco productivo</b>	Viabilidad correcta del recurso recibido por terceros y conocimiento de las oportunidades de ahorro e inversión que ofrecen las diferentes empresas bancarias del sistema financiero ecuatoriano

Fuente: Cárdenas-Pérez, A.; Chango, M.; y Álvarez, A. (2016).

Como se puede observar, la problemática ante-proyecto en el sector artesanal se encontraba en la carencia de conocimientos respecto de la contabilidad básica para el funcionamiento adecuado de sus negocios, especialmente con el sistema tributario en donde más del 50% de artesanos se encontraban con multas por atrasos en sus declaraciones, información errónea, entre otros. Esta estadística se disminuyó al término del proyecto a un 8% de participantes que tuvieron multas por atraso en sus declaraciones, considerando que éstas ya pudieron ser realizadas por ellos mismos y no por sus “contadores de confianza”.

En comparación al proyecto anterior, es necesario indicar que no sucedió lo mismo en el segundo proyecto, puesto que a pesar de tener el apoyo de la alcaldía del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Latacunga, fueron los participantes (comerciantes) quienes en un principio no deseaban asistir a las capacitaciones, arguyendo entre otras cosas: falta de tiempo, poca relevancia para sus actividades diarias, malas experiencias con otras universidades, entre otras justificaciones, por lo que el primer fin de semana de capacitación solamente se contó con la presencia de 10 participantes.

Ante lo indicado, se procedió a realizar una serie de actividades que promovieron la incorporación de los comerciantes en esta actividad de vinculación social, tales como: visitas *in situ*, inscripciones, entrega de folletos informativos, entre otras; el resultado obtenido en el siguiente fin de semana fue de 162 personas asistentes, numérico que se fue incrementando en el transcurso del mes hasta llegar a 204 participantes permanentes durante los cuatro meses de capacitación.

La tabla 2 resume los resultados obtenidos en forma comparativa entre el antes y después de la ejecución de este proyecto.

**Tabla 2. Resultados obtenidos en el proyecto de vinculación aplicado a los comerciantes del mercado cerrado de la ciudad de Latacunga**

<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>
<b>Resistencia a colaborar con el proyecto por parte de las autoridades y participantes.</b>	Interés por la continuidad de eventos de vinculación con el resto de comerciantes de plazas y mercados del cantón Latacunga.
<b>Limitado apoyo administrativo del GAD Municipal</b>	Cooperación a nivel alto, medio y operativo (Alcalde, Administradora y Supervisores).
<b>Desconfianza, desidia y desinterés por la participación en este tipo de proyectos</b>	A través de diferentes manifestaciones se observó el mejoramiento en un 100% de la puntualidad y cumplimiento en las tareas enviadas.
<b>Desmotivación, miedos e incertidumbre de los estudiantes capacitadores</b>	Se capacitó adecuadamente a los estudiantes en los temas a ser impartidos, los docentes tutores acompañaron personalmente en el desarrollo de las capacitaciones, esto motivó y generó mayor confianza en los estudiantes.
<b>Desconocimiento por parte de los participantes del significado de “vinculación con la sociedad”</b>	Los participantes comprendieron que el significado de la vinculación con la sociedad es el de llevar la universidad a los sectores más necesitados mediante la transferencia de conocimientos que les permitan alcanzar un mejor nivel y calidad de vida.
<b>Falta de integración de los comerciantes dentro del mercado cerrado</b>	Por iniciativa propia los participantes decidieron organizar directivas de aula en pro de una mejor organización y se conocieron entre ellos, sus problemas, la forma cómo han logrado salir de ellos y llegaron a organizar una rifa interna para ayudar a otros comerciantes que sufrieron un accidente laboral.

<b>Apertura de cuentas corrientes para el manejo del dinero de sus negocios</b>	Mediante el módulo de “Ahorro e Inversión” se capacitó a los comerciantes en las formas de empezar a ahorrar e invertir sus ahorros; así se logró que comiencen a llevar sus finanzas con ayuda del sistema bancario. De los 300 comerciantes el 30% tenía una cuenta corriente, se logró la apertura de más cuentas corrientes en diferentes entidades bancarias con lo que el número ascendió a 93%. El 7% restante prefirieron seguir manejando sus negocios mediante cuentas de ahorro en cooperativas.
<b>Desconocimiento total del manejo de documentos tributarios del Sistema de Rentas Internas (SRI)</b>	Los participantes aprendieron formas adecuadas de llevar organizadamente sus documentos tributarios como facturas, notas de venta, comprobantes de retención del IVA, etc. Con esto ellos comprendieron por qué se debe tributar, cómo hacerlo, cuándo hacerlo y la forma fácil de manejar por ellos mismos el sistema de tributación informático del SRI.
<b>Mala atención al cliente, pobre imagen de marketing y falta de técnicas de mercadeo eficientes de los negocios</b>	Mediante el módulo de planificación estratégica, marketing y atención al cliente los comerciantes pudieron elaborar estrategias de mercadeo eficientes, publicidad de sus negocios, mejoraron su atención al cliente, pintaron y arreglaron sus locales comerciales, lo cual incrementó sus niveles de ventas en un 10% a 20% en su primer mes de curso.
<b>Falta de motivación de los propios comerciantes para mejorar sus niveles de conocimiento</b>	Al impartir conocimientos sobre coaching, liderazgo empresarial y motivar a los comerciantes a ser proactivos en su mercado para el mejoramiento de sus niveles de ventas, ellos comprendieron la importancia de poner en práctica lo aprendido, motivaron a sus familiares, vecinos y amigos para que se sigan esforzando y educándose continuamente para poder conseguir habilidades y competencias que sean de ayuda real para su vida diaria.

Fuente: Cárdenas-Pérez, A.; Chango, M.; y Álvarez, A. (2016).

### **3. REFLEXIONES Y CONCLUSIONES**

#### **La universidad como aporte al progreso económico y social del territorio**

La experiencia que se adquiere por parte de los estudiantes y docentes que realizan actividades de vinculación con la sociedad es invaluable, se podría decir que no solamente significa ser benévolos con la sociedad sino ser condescendientes con la propia universidad, con su imagen institucional y el alto posicionamiento de ésta dentro de un territorio o región [6].

La universidad no puede existir sola, la sociedad sin universidad tampoco, esto significaría tener muy poca sensatez humana y espíritu de creatividad e innovación, lo cual es intrínseco del ser humano; es en el estudio, la publicación y la difusión de la investigación científica que se realiza en las universidades en donde se encuentra el desarrollo y el progreso económico y social de la población de un territorio.

Para el caso de los proyectos de vinculación desarrollados por el DCEAC de la ESPE extensión Latacunga, siendo los artesanos un ente altamente importante dentro del desarrollo económico de toda la sociedad es importante dar a conocer la problemática que este sector se encontraba experimentando, pues al no tener el conocimiento pleno en temas contables y de índole empresarial -siendo el más crítico la determinación de los costos en la elaboración y venta de sus productos- carecían de un margen de utilidad que permita su crecimiento y permanencia en el mercado; al mismo tiempo el considerar importante el análisis de la competencia y como competir con ventaja comparativa.

El desconocimiento de temas contables y tributarios perjudicaban enormemente a este sector ya que el gran porcentaje de multas y sanciones a las que debían hacer frente por obligaciones tributarias pasadas lamentablemente no pueden ser eximidas de responsabilidad alguna, más sin embargo, la ESPE generó un espacio de discernimiento, aprendizaje y cultura contable y tributaria en el sector artesanal, lo cual es de gran aporte para minimizar pérdidas por incumplimientos tributarios o malas prácticas contables que sigan perjudicando económicaamente a este sector.

Por otra parte, los comerciantes del mercado cerrado del cantón Latacunga, fueron un verdadero reto para estudiantes y docentes de la ESPE. Concordamos con quienes han presentado la vinculación universitaria como “un recurso efectista de la célebre película de Luis Buñel “Ese oscuro objeto del deseo” [7], puesto que esta experiencia es una comprobación propia de que todas las universidades desean llegar con la vinculación social a este tipo de sectores marginados por otros -desde el político hasta el religioso- pero resulta que no es suficiente tener conocimientos sobre cómo solucionar el problema encontrado, sino ir más allá, a la parte humana, acogiendo el sentir diario de ese sector, empoderándose y viviendo esa realidad que se quiere cambiar, promoviendo el liderazgo participativo, aceptando posibles rechazos con humildad, volviendo a intentar, en fin, razonando en lo que Einstein expresó sobre que “*todos somos ignorantes, lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas*”, ya que aún en el conocimiento empírico de los comerciantes – algunos solamente han terminado la primaria, otros ni eso- existe también sabiduría, la cual llega por la experiencia de su actividad diaria y es endosada a sus generaciones por medio de su ejemplo.

#### **4. CONCLUSIONES PRELIMINARES**

A partir de lo expuesto, se puede concluir que en la universidad ecuatoriana las actividades de vinculación con la sociedad han sido realizadas desde hace más de una década, aunque con escaso conocimiento de su significado, más sin embargo desde esta perspectiva se ha podido atender las necesidades de los sectores que así lo han requerido; esto ha permitido retroalimentar la academia, su pertinencia universitaria y en algunos casos obtener recursos adicionales para poder cubrir déficits presupuestarios o proyectos de investigación.

En Ecuador, los procesos de cambio en materia de calidad universitaria que se han presentado en el transcurso de los últimos seis años, han sido drásticos, pasando de un *status quo* de “auto encierro universitario” en el que la mayoría de las universidades se encontraban a uno diferente de “integración social universitaria”, sin embargo, a pesar de que se han tomado estos cambios como un reto por superar, aún persiste la necesidad de establecer un modelo participativo, pertinente y holístico de vinculación social de la universidad con su propia realidad, la cual por la situación geográfica y pertinencia de sus carreras es distinta en cada uno de las regiones del Ecuador; de esta forma se puede llevar a las universidades a la apertura y creación de posibilidades que vayan de la mano de las nuevas tendencias científicas, económicas, educativas, culturales, tecnológicas y por ende sociales que se desarrollan mundialmente.

La vinculación de la universidad ecuatoriana con su realidad social debe ser considerada uno de los ejes básicos de su pertinencia, la cual debe desarrollarse desde el interior de la misma mediante la investigación y transfiriendo sus resultados a la sociedad, no solamente a sectores marginales o urbanos marginales, sino también al sector productivo, generando una sinergia importante entre universidad – empresa – sociedad en nuevos emprendimientos y la promoción de mayor número de plazas de empleo en nuestro país.

De esta manera, la investigación concluye que existe un aporte significativo de parte de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en su extensión de Latacunga, dado que promueve el desarrollo económico y social no solo de esta ciudad sino de toda la Provincia de Cotopaxi, asumiendo retos con las comunidades marginales y urbanas marginales que más lo necesitan, promoviendo un cambio en la cultura social de pasar del pensamiento pasivo de “esperar la solución” al pensamiento proactivo de “crear la solución”.

## 5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las líneas de investigación que se abren en el campo de la vinculación con la sociedad son amplias, pues generan un abanico de opciones dentro de las cuales la universidad encuentra su razón de ser o pertinencia substancial y que da significancia a su actividad académica e investigativa, por lo cual se dejan abiertas dos líneas de investigación:

Una que hace referencia al desarrollo integral territorial desde el pedido de la sociedad (marginal y urbana marginal) hacia la universidad para casos puntuales -vinculación externa- y la segunda en donde el desarrollo de la investigación producida dentro de la universidad se basa en la vinculación social con la empresa para llegar a toda la sociedad -vinculación interna.

## REFERENCIAS

- [1] UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN. (2016). Programa de preparación contable para personas naturales y entes jurídicos obligadas a llevar contabilidad, mediante el uso de sistema contables para la gestión tributaria y laboral. Latacunga: Cárdenas Pérez, Alisva de los Ángeles.
- [2] NAIDORF, J., GIORDANA, P.; HORN, M.; (2007). La pertinencia social de la Universidad como categoría equívoca. Nómadas (Col), () 22-33. Consultado el 10 de octubre de 2016 en <http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=105116595003>
- [3] LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Publicado en el Registro Oficial Suplemento 298 de 12-oct-2010. Ecuador.
- [4] CONSEJO NACIONAL DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR DEL ECUADOR. (2009). Mandato Constituyente No. 14. Evaluación de desempeño institucional de las Universidades y Escuelas Politécnicas del Ecuador.
- [5] CONSEJO DE EVALUACIÓN, ACREDITACIÓN Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR. Adaptación del Modelo de Evaluación Institucional de Universidades y Escuelas Politécnicas 2013 al proceso de Evaluación, Acreditación y Recategorización de Universidades y Escuelas Politécnicas 2015.
- [6] ALCÁNTAR, V. M. Y ARCOS, J. L. (2004). La vinculación como instrumento de imagen y posicionamiento de las instituciones de educación superior. Revista Electrónica de Investigación Educativa, 6 (1). Consultado el 06 de octubre de 2016 en: <http://redie.uabc.mx/vol6no1/contenido-enriquez.html>
- [7] CAMPOS, G. Y SÁNCHEZ DAZA, G. (2005). La vinculación universitaria: Ese oscuro objeto del deseo. Revista Electrónica de Investigación Educativa, 7 (2). Consultado el 06 de octubre de 2016 en: <http://redie.uabc.mx/vol7no2/contenido-campos.html>
- [8] MALAGÓN, L A. (2006). La vinculación Universidad-Sociedad desde una perspectiva social. Educación y Educadores, 9: 79-93. Consultado el 07 de octubre de 2016 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83490210>

- [9] GARCÍA GUADILLA, C. (1996). Situación y principales dinámicas de transformación de la educación superior en América Latina. Caracas, Centro Regional para la Educación superior en América Latina y el Caribe/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- [10] VESSURI, L. (1996). La pertinencia de la enseñanza superior latinoamericana a finales del siglo XX. Nueva Sociedad, 146, 102-107.
- [11] TÜNNERMANN BERHEIM, C. (2001). Universidad y sociedad. Balance histórico y perspectivas desde América Latina, 2<sup>a</sup>.ed. Managua. Hispamer.
- [12] NAISHAT, F. (2003). Universidad y conocimiento: por un ethos de la impertinencia epistémica. Espacios de Crítica y Producción, No. 30. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- [13] MUÑOZ, G. (1982). Sociología fundamental. Gedisa. Barcelona.
- [14] LACLAU, E. (2005). La razón populista. Fondo de Cultura Económica 268-269. Buenos Aires, Argentina.
- [15] \_\_\_\_\_. (1996). Política del sujeto y sujeto de la política, en: Emancipación y diferencia. Buenos Aires, Ariel.
- [16] UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA. (2016). Proyecto de generación de conocimientos contables, laborales y tributarios a los artesanos que forman parte de la Junta Provincial de Defensa del Artesano de Cotopaxi. Latacunga: Chango Galarza, Mariela Cristina.
- [17] UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA. (2016). Proyecto de preparación en coaching y emprendimiento, técnicas financieras y tributación para los comerciantes de plazas y mercados del cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Latacunga: Álvarez Montalvo, Amparo del Carmen.

## MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE LA MOVILIDAD DE UN DIENTE MEDIANTE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES SIMPLES

Manuel Ignacio Balaguera<sup>1</sup>, Jenny-Paola Lis - Gutierrez<sup>2</sup>, Mercedes Gaitán-Angulo<sup>2</sup>,  
Paula Viviana Robayo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIMI, Facultad de Matemáticas e Ingenierías, Fundación Universitaria Konrad Lorenz

<sup>2</sup>CIEN, Escuela de Negocios, Fundación Universitaria Konrad Lorenz

### Abstract

The present work explores the basic mathematical modeling involved in the kinematical description of a single tooth suffering general motion: translation and rotation. To facilitate the understanding of the concepts, mathematical structures and processes involved, a 2D scenario is used as case of study, however, it can be easily extended to the most general 3D scenario by appropriately adding elements, both in the points coordinates and in the transformation matrixes.

**Keywords:** Tooth movement, kinematical modeling, motion simulation, translation matrix, rotation matrix.

### Resumen

El presente trabajo explora el modelado matemático básico involucrado en la descripción cinemática de un solo diente bajo movimiento general: traslación y rotación. para facilitar el entendimiento de los conceptos, estructuras y procesos matemáticos involucrados, se usa un escenario 2D como caso de estudio que puede ser extendido fácilmente a 3D agregando apropiadamente elementos en las coordenadas de los puntos y en las matrices de transformación.

**Palabras Clave:** Movimiento dental, modelado cinemático, simulación de movimiento, matriz traslación, matriz rotación.

### 1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

La disponibilidad de herramientas computacionales para el modelado y la simulación de sistemas complejos (Pullman, 1996) permite que en muchos campos de la actividad humana se aborde el tratamiento de problemas para los cuales, por su complejidad, no existía camino alguno de intervención.

Es el caso de una gran diversidad de problemas clínicos en odontología, por ejemplo la ortodoncia (McNeill, 2005), en los que la variabilidad de las respuestas biológicas y fisiológicas a las intervenciones clínicas dificultaban grandemente el éxito de los tratamientos.

El mercado de software para el diseño y pronóstico de los diversos tratamientos en ortodoncia crece día a día así como su facilidad de uso, sin embargo dada la complejidad del sistema estomatognártico y de sus componentes siempre será necesario que el usuario final del software tenga absoluta claridad sobre un mínimo conjunto de conceptos biomecánicos básicos.

La conexión entre los métodos de la práctica odontológica y los principios fundamentales de la física es mucho más estrecha de lo que comúnmente reflejan los currículos de los programas académicos en odontología (Cromer, 1982).

La fuerza, los materiales, la energía y la radiación son insumos fundamentales de la práctica odontológica y su tratamiento en los contextos educativos, investigativos y de la práctica clínica con gran frecuencia es superficial e inadecuado.

En el pasado, por la carencia de herramientas idóneas para el tratamiento cuantitativo de problemas

complejos, las descripciones y los análisis tendientes a la toma de decisiones clínicas se desarrollaban mediante el uso de modelos cualitativos y analógicos limitando así el alcance y la precisión de los procedimientos.

Existen ya las herramientas apropiadas para pasar de los modelos cualitativos a los cuantitativos no así las plataformas didácticas apropiadas para la formación de odontólogos adecuadamente preparados para servirse de ellas. Dicha preparación implica la inclusión en sus sistemas de conocimiento de conceptos y principios propios de la física.

Además del propósito general de motivar a la comunidad científica y educativa en el abordaje de la tarea de construir herramientas libres y de fácil manejo que faciliten la enseñanza de dichos principios y conceptos, el presente artículo busca cumplir simultáneamente los siguientes propósitos:

- Contribuir con un caso de estudio que ilustre los conceptos cinemáticos fundamentales involucrados en la movilidad dental.
- Plantear como hipótesis que el uso de herramientas computacionales en cursos para estudiantes de carreras no directamente relacionadas con las ciencias exactas, mejora la sensibilidad al tratamiento cuantitativo de los problemas y facilita la conceptualización dejando de lado los detalles puramente operativos.
- Servir, en el caso de los programadores, como punto de partida para la elaboración de plataformas de cómputo que faciliten el modelado y la simulación de los procesos biomecánicos involucrados en la movilidad dental.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Mecánica, Biomecánica, Mecanobiología**

La Mecánica es la ciencia que estudia el efecto de las fuerzas sobre objetos y sistemas físicos. Dichos efectos pueden ser: mecánicos (aceleraciones de traslación, aceleraciones angulares o de rotación, deformaciones, campos de tensión, presión o de esfuerzo), eléctricos, térmicos, químicos, biológicos, fisiológicos.

La Biomecánica es la ciencia que estudia los efectos mecánicos que causan las fuerzas sobre el estado de movimiento de los organismos vivos y de sus componentes.

Una nueva ciencia, la Mecanobiología se encarga de estudiar los efectos biológicos implicados por la acción de las fuerzas cuando actúan sobre los organismos vivos y en particular las respuestas celulares en forma de expresión a las variaciones de los campos de esfuerzo y deformación en la matriz extracelular (Nagatomi, 2011) (Guilak, Butler, Goldstein, & Baaijens, 2014).

En una ortodoncia ocurren simultáneamente fenómenos de índole mecánica, biomecánica y mecanobiológica. En cualquier caso las preguntas fundamentales se refieren al fenómeno de movilidad dental.

Cuando se habla de movilidad dental se considera tanto la traslación como la rotación de cada uno de los dientes bajo estudio asumiendo que las deformaciones sufridas por el diente son mínimas y despreciables.

Dependiendo del tipo de comportamiento mecánico bajo estudio la mecánica representa a los cuerpos como partícula (el centro de masa del cuerpo CM), cuerpo rígido o cuerpo deformable. Se usa el modelo y partícula para estudiar traslación, el modelo de cuerpo rígido para estudiar rotación y el modelo de cuerpo deformable para estudiar de formación.

Dependiendo del tipo de preguntas a responder se usa uno solo de los modelos, una combinación de dos de ellos o simultáneamente los tres.

En el caso estudio que aquí consideramos estudiaremos el movimiento general del diente como una composición de traslaciones y rotaciones.

## 2.2 Transformaciones gráficas en el plano, sistema de coordenadas cartesianas.

La figura 1 ilustra un sistema de coordenadas cartesianas en el plano en el que cada punto "p" se representa únicamente por una pareja ordenada de números reales  $(x_p, y_p)$ : coordenada "x" de "p" y coordenada "y" de "p" respectivamente.

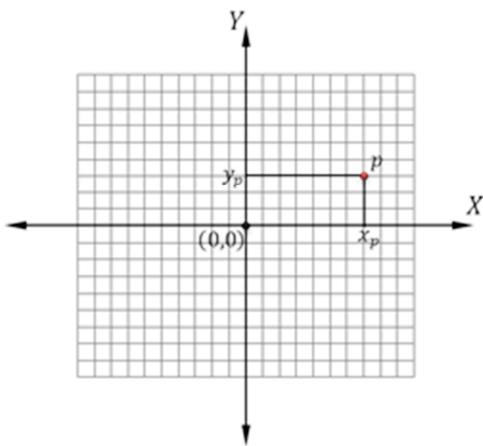


Figura 1: Sistema de coordenadas cartesianas

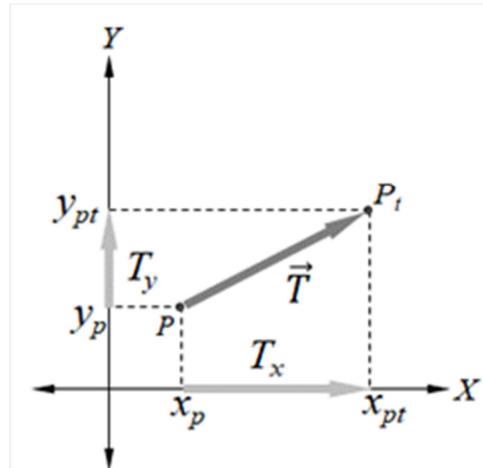


Figura 2. Traslación de un punto en el plano

Una "transformación gráfica en el plano" es una regla que asigna (y remplaza) a un conjunto de puntos en el plano (objeto gráfico original) un nuevo conjunto de puntos (objeto gráfico transformado).

Las transformaciones gráficas que aquí consideramos son la traslación y la rotación de puntos y cuerpos. La transformación de un cuerpo es, simplemente, la aplicación de la transformación a todos y cada uno de los puntos.

## 2.3 Traslación de un punto en el plano

De acuerdo con la figura 2, las ecuaciones de transformación para la traslación son:

$$x_{pt} = x_p + Tx$$

$$y_{pt} = y_p + Ty$$

Donde  $(x_{pt}, y_{pt})$  son las coordenadas del punto trasladado "p<sub>t</sub>" y  $(Tx, Ty)$  las componentes de la traslación.

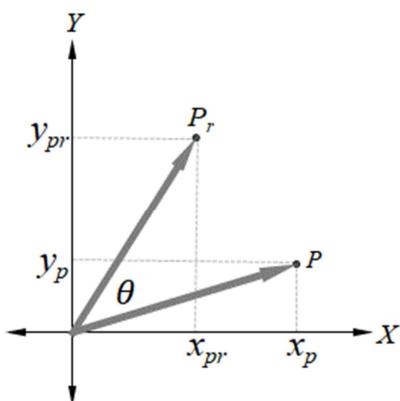


Figura 3. Rotación plana de un punto respecto al origen

## 2.4 Rotación de un punto en el plano alrededor del origen

En la figura 3 ( $x_{pr}, y_{pr}$ ) son las coordenadas del punto rotado " $p_r$ " y  $\theta$  el ángulo de rotación. En la referencia xx se demuestra que las ecuaciones de transformación son:

$$x_{pr} = x_p \cos(\theta) + y_p \sin(\theta)$$

$$y_{pr} = -x_p \sin(\theta) + y_p \cos(\theta)$$

## 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Con propósito didáctico, se integran de manera alternada y progresiva los componentes de la metodología con los resultados.

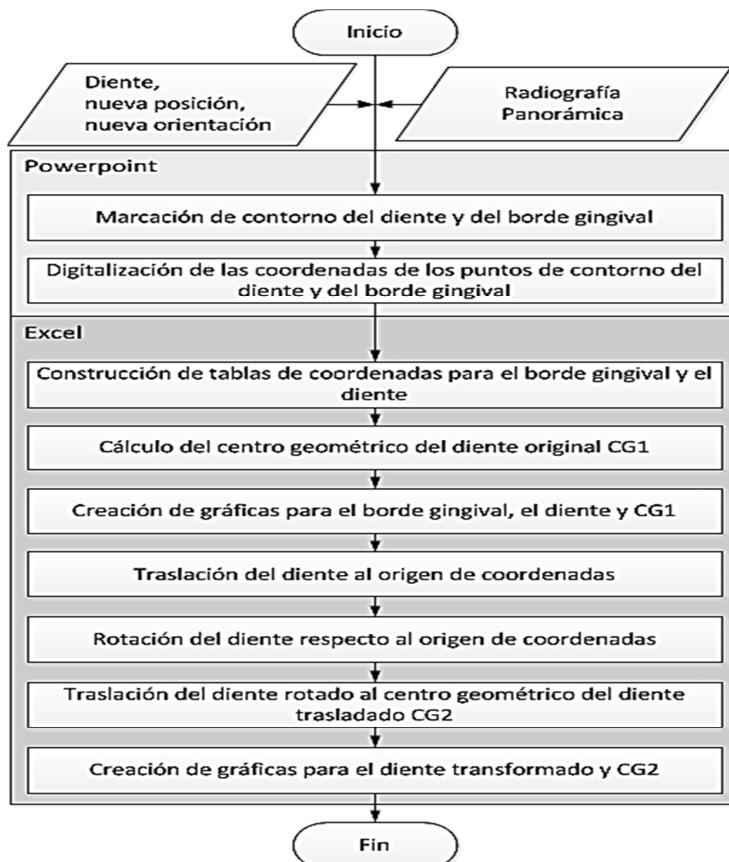


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de transformación cinemática de un diente.

La figura 4 ilustra, mediante un diagrama de flujo, los componentes metodológicos del proceso de transformación mediante el uso coordinado de las aplicaciones Excel<sup>1</sup> y PowerPoint<sup>1</sup> para la realización de las transformaciones cinemáticas de un diente.

<sup>1</sup> Marcas registradas de Microsoft Corporation

### 3.1. Adquisición de la imagen e identificación del diente a transformar

La figura 5 muestra una imagen artística de una radiografía panorámica genérica y en ella, se resalta el diente que será objeto de una traslación y una rotación.

### 3.2. Transformación a realizar

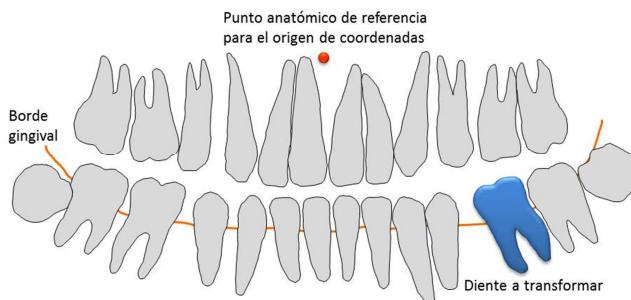


Figura 5. Imagen de trabajo y elementos de referencia

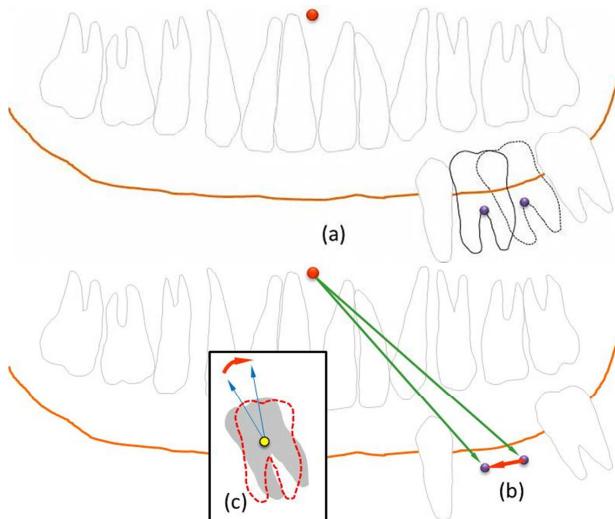


Figura 6. (a) Transformación general, (b) Traslación respecto al punto anatómico de referencia, (c) Rotación alrededor del centro geométrico del diente

Las figuras 6 a, b, c Muestran la transformación a realizar, general y descompuesta en una traslación respecto al punto anatómico de referencia y una rotación alrededor del centro geométrico del diente. La descripción cuantitativa de la transformación a realizar y de los elementos de referencia se hace a continuación en el paso de digitalización.

### 3.3. Digitalización

En la literatura técnica, "digitalizar un objeto" significa obtener un modelo numérico del objeto. En el presente trabajo, digitalizar significa construir una tabla con las coordenadas correspondientes a los puntos de contorno de los objetos que constituyen una escena: el borde gingival, el diente a transformar, el punto de referencia anatómico tomado como origen de coordenadas (0,0) y el centro geométrico del diente original.

En el recuadro, la guía vertical, guía X, presenta el valor de la coordenada "x" mientras que la guía horizontal, guía Y, muestra el valor de la coordinada "y".

### 3.4. Tablas de coordenadas en Excel

La figura 7 muestra la tabla que contiene las coordenadas de los puntos que definen los contornos en la escena original. La coordenada "x<sub>cg</sub>" correspondiente al centro geométrico es la media aritmética de las coordenadas x de los puntos del diente, de igual forma la coordenada "y<sub>cg</sub>" del centro geométrico es la media aritmética de las coordenadas "y" de los puntos del diente.

Dado que la imagen original es una representación artística tomada de una radiografía panorámica cuyo factor de ampliación se desconoce, las unidades de los valores reportados en las tablas corresponden a una escala arbitraria que pueden ser calibradas a partir de datos antropométricos reales.

### 3.5. Graficado de los objetos digitalizados

La figura 8 es una imagen reducida y recortada de la gráfica que se obtuvo el Excel a partir de los datos en la tabla de la figura 7. El tipo de gráfica usada es "dispersión xy con suavizado de línea".

Diente			Borde gingival			Centro Geométrico		
Punto	x	y	Punto	x	y	Punto	x <sub>cg</sub>	y <sub>cg</sub>
1	5.81	-5.22	1	-8.32	-2.67	1	5.77	-5.04
2	6.10	-5.42	2	-7.46	-3.68			
3	6.41	-5.89	3	-6.08	-4.63			
4	6.64	-6.11	4	-3.84	-5.04			
5	6.81	-6.03	5	0.35	-5.20			
6	6.75	-5.26	6	4.89	-4.99			
7	6.57	-4.87	7	6.25	-4.53			
8	6.27	-4.53	8	7.80	-3.31			
9	6.08	-4.17	9	8.35	-1.92			
10	5.89	-3.66						
11	5.53	-3.61						
12	5.27	-3.68						
13	5.11	-3.82						
14	4.78	-3.87						
15	4.56	-4.05						
16	4.51	-4.36						
17	4.85	-4.91						
18	5.30	-5.70						
19	5.51	-6.21						
20	5.94	-6.46						
21	6.13	-6.31						
22	5.94	-5.96						
23	5.80	-5.59						
24	5.81	-5.22						

Figura 7. (Excel) Tablas de coordenadas, objetos iniciales

Para preservar las proporciones de la gráfica, se hacer un escalonamiento manual importando a Excel una imagen del diente original con el fin de superponerla mientras manualmente se modifican las dimensiones de la gráfica hasta lograr la coincidencia.

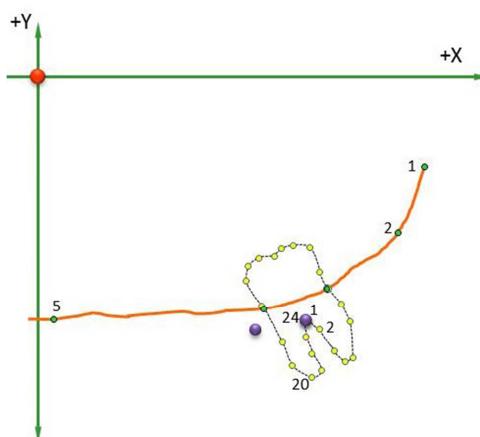


Figura 8. (Excel)

Para garantizar que el centro de rotación del diente sea su centro geométrico y no el origen de coordenadas, el proceso traslación-rotación del diente se descompone en:

- Traslación del diente al origen de coordenadas.
- Rotación del diente alrededor del origen de coordenadas.
- Traslación del diente rotado de al nuevo centro geométrico.

### **3.6. Resultados de las transformaciones**

La figura 10 muestra las tablas de las coordenadas obtenidas para las transformaciones correspondientes a valores de entrada determinados por el usuario:

- Rotación: 20°
- Centro geométrico del diente trasladado: (4.72, 5.45).

Las tablas expuestas en la figura 9 corresponden respectivamente a:

- Diente trasladado al origen (izquierda)
- Diente rotado alrededor del origen (centro)
- Diente rotado y trasladado a (4.72, 5.45) (derecha)

Diente (0,0)			Diente (0,0) Rot			Diente TrasRot		
Punto	x	y	Punto	x	y	Punto	x	y
1	0.04	-0.18	1	-0.02	-0.19	1	4.70	-5.64
2	0.33	-0.38	2	0.18	-0.47	2	4.90	-5.92
3	0.64	-0.85	3	0.31	-1.02	3	5.03	-6.47
4	0.87	-1.07	4	0.46	-1.31	4	5.18	-6.76
5	1.04	-0.99	5	0.64	-1.29	5	5.36	-6.74
6	0.98	-0.22	6	0.85	-0.55	6	5.57	-6.00
7	0.80	0.17	7	0.81	-0.12	7	5.53	-5.57
8	0.50	0.51	8	0.65	0.30	8	5.37	-5.15
9	0.31	0.87	9	0.59	0.71	9	5.31	-4.74
10	0.12	1.38	10	0.59	1.25	10	5.31	-4.20
11	-0.24	1.43	11	0.27	1.42	11	4.99	-4.03
12	-0.50	1.36	12	0.00	1.45	12	4.72	-4.00
13	-0.66	1.22	13	-0.20	1.37	13	4.52	-4.08
14	-0.99	1.17	14	-0.53	1.43	14	4.19	-4.02
15	-1.21	0.99	15	-0.79	1.34	15	3.93	-4.11
16	-1.26	0.68	16	-0.95	1.07	16	3.77	-4.38
17	-0.92	0.13	17	-0.82	0.43	17	3.90	-5.02
18	-0.47	-0.66	18	-0.66	-0.46	18	4.06	-5.91
19	-0.26	-1.17	19	-0.64	-1.01	19	4.08	-6.46
20	0.17	-1.42	20	-0.32	-1.40	20	4.40	-6.85
21	0.36	-1.27	21	-0.09	-1.32	21	4.63	-6.77
22	0.17	-0.92	22	-0.15	-0.93	22	4.57	-6.38
23	0.03	-0.55	23	-0.16	-0.53	23	4.56	-5.98
24	0.04	-0.18	24	-0.02	-0.19	24	4.70	-5.64

*Figura 9. (Excel) Resultados de las transformaciones.*

La figura 10 muestra en el recuadro la rotación realizada en el origen y fuera del recuadro la transformación completa. Se realizaron ensayos cambiando los parámetros de rotación y de traslación obteniendo resultados satisfactorios.

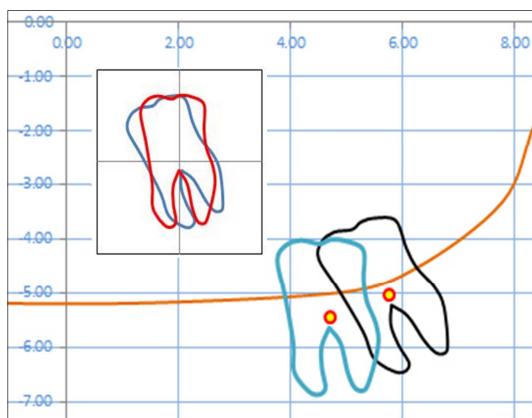


Figura 10. (Excel) Gráficas del diente original y del diente transformado.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se desarrolló, verificó y se aporta una metodología para la transformación cinemática de imágenes con propósitos didácticos y de exploración para el desarrollo de software.
- Es posible, mediante la metodología propuesta, controlar el nivel de exposición de los estudiantes a la operatividad matemática, permitiendo así el abordaje selectivo enfatizando los aspectos conceptuales y de principios involucrados en la biomecánica del sistema estomatognático.

#### REFERENCIAS

- Cromer, A. H. (1982). *Física para las ciencias de la vida*. Barcelona: Reverté.
- Guilak, F., Butler, D., Goldstein, S., & Baaijens, F. (2014). Biomechanics and mechanobiology in functional tissue engineering. *Journal of Biomechanics*, 47(9), 1933-1940.
- McNeill, C. (2005). *Fundamentos científicos y aplicaciones prácticas de la oclusión*. Barcelona: Quintessence.
- Nagatomi, J. (2011). *Mechanobiology Handbook*. CRC Press.
- Pullman, B. (1996). *The Emergence of Complexity in Mathematics, physics, Chemistry, and Biology*. Ciudad Del Vaticano: Pontificia Academia Scientiarum.

## ÁNALISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELOS A TRAVÉS DE MODELOS OCULTOS DE MARKOV

### ANALYSIS OF CHANGES IN SOIL USE THROUGH HIDDEN MARKOV MODELS

Gladys Linares Fleites<sup>1</sup>, María de Lourdes Sandoval Solís<sup>2</sup>,  
Karla Mildred Cigarroa Alonso<sup>1</sup> y Miguel Ángel Valera Pérez<sup>1</sup>

1 Posgrado de Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.  
4 Sur No.104, Colonia Centro, C.P. 72000, Puebla, México. [gladyslinares1@yahoo.es](mailto:gladyslinares1@yahoo.es)

2 Facultad de Ciencias de la Computación. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 4 Sur No.104,  
Colonia Centro, C.P. 72000, Puebla, México. [malosa1753@gmail.com](mailto:malosa1753@gmail.com)

#### RESUMEN

Los estudios de dinámica de uso del suelo contribuyen a conocer el tipo de manejo y aprovechamiento que el hombre hace de la naturaleza en un territorio. Además de las técnicas clásicas que se utilizan en estos estudios, se introducen los modelos ocultos de Markov, que son una técnica de modelización de datos secuenciales, que se consideran actualmente como una herramienta casi imprescindible en los análisis de cambio de uso de suelos. Se tomó como caso de estudio el análisis de las tendencias de cambio de uso de suelo de las zonas costeras de Chiapas; a través de la sobre posición de cartografía de uso y cobertura elaboradas por el INEGI a escala 1:250000. Se integró en un SIG que permitió elaborar mapas de los procesos de cambio y cuantificar tasas y matrices de cambios. La pérdida forestal estimada fue de 36173.24 ha, donde la agricultura de temporal representó el 44% de los cambios. La conversión de selvas a pastizales inducidos, agricultura de riego y asentamientos humanos se presentó en el 51.45% de la superficie. A través del paquete *markovchain* en R se utilizaron los modelos ocultos de Markov. Los resultados sugieren que las zonas costeras presentan una antropización alarmante y la deforestación va en aumento, lo que significa un riesgo a la biodiversidad.

**PALABRAS CLAVES:** Cadenas de Markov, Deforestación, Ecología del paisaje, SIG

#### ABSTRACT

Studies of land use dynamics help to know the type of management and use that man makes of nature in a territory. In addition to the classical techniques used in these studies, we introduce the Hidden Markov Models, which are a technique of sequential data modeling, which are currently considered as an almost indispensable tool in land use change analysis. The study of the land use change trends of the coastal zones of Chiapas was taken as a case study, using the overlay position of use and coverage developed by INEGI at 1: 250000 scale. It was integrated in a GIS that allowed to elaborate maps of the processes of change and to quantify rates and matrices of changes. The estimated forest loss was 36173.24 ha, where temporary agriculture represented 44% of the changes. The conversion of forests to induced grasslands, irrigated agriculture and human settlements occurred in 51.45% of the area. The *markovchain* package in R used the hidden Markov models. The results suggest that coastal areas are alarmingly anthropogenic and deforestation is increasing, which means a risk to biodiversity.

**KEY WORDS:** Markov chains, Deforestation, Landscape ecology, GIS

## 1. INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor diversidad biológica y ecológica, siendo la región sureste la que más contribuye a la mega diversidad del país (Ramamoorthy *et al.* 1998). No obstante, se encuentra entre las zonas tropicales con mayores tasas de deforestación en el mundo, registrándose fragmentación de hábitat y alteraciones hidrológicas.

Las transformaciones a nivel de paisaje debido a la explotación de recursos y cambios de uso de suelo, tienen implicaciones como la pérdida de cobertura vegetal y diversidad biológica, deterioro de la calidad de servicios ambientales y la disminución de la capacidad productiva de los ecosistemas (Lambin, 1997). Se han reportado tasas altas de deforestación en los manglares en áreas específicas del sureste de México, como el 0.65% en Bahía Chetumal (Díaz-Gallegos y Acosta-Velázquez 2009). Sin embargo, no existen cifras confiables de la pérdida de los manglares a nivel de toda la zona costera del sureste de México a escalas espaciales detalladas.

El estudio y manejo de los manglares debe considerar herramientas clásicas y también introducir los nuevos resultados que se han venido desarrollando en las ciencias probabilísticas y estadísticas, siendo éste uno de los objetivos de este trabajo.

En los epígrafes 2 y 3 se exponen las ideas fundamentales que deben utilizarse en los estudios de cambio de usos de suelos y la importancia de este tema en el contexto del cambio climático. En el epígrafe 4 se analizan los manglares de una zona del estado de Chiapas a través de los métodos analizados y, finalmente, se brindan algunas conclusiones y referencias.

## 2. CAMBIO DE USO DE SUELOS: SU INFLUENCIA EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

El uso del suelo se refiere a la manera en la que los seres humanos utilizamos una superficie determinada, ya sea respetando su vocación como ecosistema natural o destinándola a otro uso, por ejemplo, a campos de cultivo, pastizales para uso pecuario, zonas urbanas o cualquiera otra cubierta transformada.

En las últimas décadas el cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio climático, alterando procesos y ciclos ecológicos. Lo anterior se vuelve trascendental si se considera que es a través de estos cambios donde se materializa la relación entre el humano y el medio ambiente (Lambin *et al.*, 1999).

La disminución de la vegetación puede ocasionar diversas alteraciones en una región, tales como la reducción de la recarga de mantos acuíferos, el incremento de la tasa de erosión, el aumento de inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos y el cambio de las condiciones climáticas locales (Castelán *et al.* 2007).

El análisis del cambio de uso de suelo es prioritario para las estrategias y acciones climáticas, tanto por su potencial de mitigación (las actividades que se realizan en los diferentes usos del suelo contribuyen a las emisiones y absorciones de los gases efecto invernadero), como de adaptación (por ejemplo, la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos de localidades en terrenos abruptos está fuertemente relacionada con el grado de conservación de la cubierta vegetal natural). Asimismo, las acciones que se realicen en cuestión de uso del suelo también tienen impactos en otros temas, como son la protección de la biodiversidad y sus servicios ambientales, y la conservación de los suelos, por citar algunas.

Es importante mencionar que todavía no hay un consenso mundial sobre cómo incluir los diferentes usos del suelo en los compromisos de mitigación de emisiones. En particular, en México, se destacan como más importantes las siguientes acciones como compromisos para la mitigación del cambio climático:

- Detener la deforestación, lo que descontaría las emisiones que plantea el escenario inicial y generaría una significativa mitigación de emisiones; y

- Mejorar el manejo forestal y de suelos, con el resultado de un incremento en las absorciones más allá de las que se esperarían en la línea base; las absorciones así obtenidas también reducirían las emisiones netas a nivel global.

Las acciones comprometidas en materia de mitigación, relacionadas con detener la deforestación y mejorar el manejo forestal y de suelos, resultan prioritarias en virtud de que tienen enormes beneficios para la conservación de la biodiversidad en México (Gobierno de la República, 2015).

En la actualidad los estudios sobre los procesos dinámicos de uso del suelo y deforestación son importantes y necesarios, ya que proporcionan información del comportamiento y las tendencias de los procesos de degradación en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos. El uso del suelo está determinado por las interacciones en espacio y tiempo de los factores biofísicos como los suelos, el clima, la topografía, etc., y los factores humanos como la población, tecnología, condiciones económicas, etc.

Entender el impacto que ocasiona el cambio de uso y perdida de cobertura vegetal, significa estudiar factores ambientales y socioeconómicos. Sin embargo, no existen análisis cuantitativos de la importancia relativa de estos factores, ya que las interpretaciones de cómo interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra.

Una forma de detectar los procesos de cambios, es calcular las tasas de deforestación utilizando la ecuación de la FAO (1996) siguiente:

$$\delta_n = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/t} - 1 \quad (1)$$

donde  $\delta_n$  es la tasa de cambio anual (expresada en %),  $S_1$  es la superficie de las coberturas en la fecha inicial,  $S_2$  es la superficie de coberturas de la fecha posterior y  $t$  es el periodo de tiempo analizado.

También suele calcularse la pérdida anual en superficie de coberturas ( $Pa$ ) utilizando la ecuación

$$Pa = \frac{S_2 - S_1}{t} \quad (2)$$

donde  $S_2$ ,  $S_1$  y  $t$  tienen los mismos significados expresados anteriormente.

Un análisis más detallado de la la dinámica de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo puede llevarse a cabo utilizando los Modelos Ocultos de Markov, que suelen expresarse por sus siglas en inglés HMM (Hidden Markov Models). Los HMM son una técnica de modelización de datos secuenciales, considerándose actualmente como una herramienta casi imprescindible en los análisis de cambio de uso de suelos (Rodríguez y Bautista, 2006). Esta modelización no tiene en cuenta variables explicativas y descriptivas, sino que se basa exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema que se estudia.

### **3. MODELOS OCULTOS DE MARKOV (HMM).**

Los HMM se basan en que los estados ocultos constituyen una cadena de Markov. Las cadenas de Markov se utilizan para el modelización de un fenómeno en el que el cambio con el tiempo de una variable aleatoria comprenden una secuencia de valores en el futuro, cada uno de los cuales depende únicamente del estado inmediatamente anterior, no de otros estados pasados. (Brémaud, 1999).

Desde la década de los años 90 del pasado siglo, muchos investigadores han usado modelos de Markov o matrices de probabilidad de transición para comprender características de la dinámica territorial, como la diversidad, los controles de cambio, o la dependencia de escala.

Una característica esencial de los HMM es que el conjunto de estados ocultos es discreto. Sin embargo, los datos observables pueden corresponder a una variable aleatoria continua, como ocurriría, por ejemplo, al considerar transectos de cuadrados de vegetación en los que la variable de interés fuese la biomasa. En estos casos, en lugar de los símbolos y probabilidades de emisión que encontramos en los HMM discretos, lo que se tiene es, para cada estado oculto, una función de densidad que determina la distribución de probabilidad de las observaciones.

La condición de que la sucesión de estados ocultos sea una cadena de Markov de primer orden no es, realmente, ninguna restricción, pues siempre es posible convertir una cadena de orden superior (en la que  $S_t$  no depende sólo de  $S_{t-1}$ ) en una de primer orden aumentando el número de estados del modelo. Existen diversas extensiones al modelo básico, discreto o continuo, considerado anteriormente, que añaden aún una mayor flexibilidad a la capacidad de modelización de los HMM.

Nos referiremos inicialmente a las matrices de transición de cobertura/uso de suelos y de probabilidades de transición. La matriz de transición de uso de los suelos es la representación del cambio de una categoría de uso de suelos entre una fecha inicial y una fecha final.

Con el fin de analizar detalladamente la dinámica de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo se construye una matriz de transición, que se describe como una tabla con arreglos simétricos que contiene en uno de los ejes los tipos de vegetación y usos del suelo en el primer año inicial y en el otro eje (año final) estos mismos tipos. De esta forma, cada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie (en hectáreas, por ejemplo) de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo que permanece en la misma categoría durante el periodo considerado, mientras que en el resto de las celdas estima la superficie de una determinada cobertura o tipo de uso del suelo que pasó a otra categoría (López, *et al.*, 2001), lo que permite entender la dinámica de cambio en la cobertura y uso de suelo a nivel local y/o regional.

Una matriz de probabilidades de transición surge de dividir cada una de las celdas de la matriz de transición de cobertura/uso de suelo que representa la superficie en hectáreas de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo entre el total de la superficie de la clase analizada. La probabilidad de transición ( $P_{ij}$ ) de cada clase de la matriz es proporcional a la superficie remanente de la misma clase entre el año de inicio y el año final de análisis. Su expresión matemática es:

$$P_{ij} = \frac{S_{ij}(\text{fecha inicial})}{S_j(\text{fecha final})}$$

donde  $S_{ij}$  es la superficie del elemento “ij” de la matriz de transición de cobertura/uso del suelo en fecha inicial y  $S_j$  es la superficie de la clase de cobertura/uso del suelo “j” en fecha final. Se cumple que  $\sum P_{ij} = 1$ .

El cambio de uso de los suelos se puede explicar también como una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función del tiempo, y se puede describir en función de probabilidades. Esta función de probabilidades considera el número de categorías de uso y el período de tiempo para analizar el cambio de los suelos. En el supuesto de que las probabilidades de transición dependen solo del intervalo de tiempo entre el año de inicio y el año final de análisis, se considera que el proceso estocástico es temporalmente homogéneo.

El análisis del cambio de uso de suelo a través del método de cadenas de Markov permite profundizar en proyecciones territoriales y realizar análisis probabilísticos y estadísticos de los problemas bajo estudio. Las cadenas de Markov representan una clase de procesos estocásticos de gran interés para aplicaciones prácticas. En particular, las cadenas de Markov de tiempo discreto (DTMC) permiten modelar las probabilidades de transición entre estados discretos mediante la ayuda de matrices. Para la aplicación del modelo de Markov se han generado diversos paquetes de computación (Bai, *et al.*, 2017).

El paquete *markovchain* para R es un paquete específicamente dedicado al análisis DTMC (Spedicato 2016). Este tiene como objetivo lograr una mayor flexibilidad en el manejo de DTMC, que otras soluciones

existentes no poseen, proporcionando clases S4 para Cadenas de Markov homogéneas y no homogéneas. En aplicaciones de los HHM al estudio de cambio de cobertura y uso de suelos este paquete es de gran utilidad.

#### **4. APLICACIÓN: ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DEL MANGLAR DE LA BARRA SAN JOSÉ, CHIAPAS, MÉXICO.**

Los humedales costeros son componentes ecológicamente complejos y dinámicos de las zonas costeras, mantienen altos niveles de diversidad biológica y de productividad primaria y secundaria además de modular los flujos del agua, nutrientes y materiales a través del paisaje y proveer hábitat para la vida silvestre.

Los manglares son humedales costeros característicos de las zonas tropicales y subtropicales, constituidas por vegetación arbórea y arbustiva localizada en el espacio de transición de las zonas costeras dotadas de un régimen estuarino o lagunar. Los manglares proporcionan una gran variedad de servicios ambientales, al funcionar como reguladores de inundaciones, filtros biológicos, zonas de refugio, alimentación, anidación y reproducción de gran diversidad biológica, incluso, para algunas especies de importancia pesquera, además de ser zonas con valor estético y recreativo.

En las costas del sureste de México y mar Caribe se localizan el 68.5% de los manglares del país (Acosta-Velázquez *et al.*, 2009). Presentan una gran variabilidad en cuanto a estructura y función ecológica, debido a los marcados cambios latitudinales en temperatura, precipitación, salinidad y tipo de suelo.

A pesar de lo anterior, los manglares se están perdiendo a tasas alarmantes en el mundo, a causa del elevado desarrollo de actividades antropogénicas en la zona costera, además que se están contaminando y azolvando debido a la deforestación y mal manejo de las actividades productivas en las cuencas altas y medias (Díaz-Gallegos *et al.*, 2010).

Los procesos de deforestación se asocian a impactos ecológicos, comprobándose que la destrucción de la biodiversidad y los bosques tropicales pueden perturbar el clima global y poner en riesgo una fuente importante de captura de carbono (Bocco *et al.*, 2001).

Uno de los países tropicales con mayor diversidad biológica y ecológica es México, siendo la región sureste la que más contribuye a la mega diversidad del país (Ramamoorthy *et al.* 1998). No obstante, se encuentra entre las zonas tropicales con mayor tasas de deforestación en el mundo (Díaz-Gallegos *et al.*, 2010), registrándose fragmentación de hábitat y alteraciones hidrológicas, entre otros (Díaz-Gallegos y Acosta-Velázquez, 2009). A excepción del trabajo de Díaz-Gallegos *et al.*, (2010) que aborda tendencias de cambio en todo el sureste del país, no se ha cuantificado con escalas espaciales y temporales adecuadas los cambios que han sufrido los ecosistemas de la zona costera del sureste de México.

Con base en lo anterior, la evaluación de la magnitud, dinámica y distribución de los procesos de cambios de uso de suelo del manglar de la Barra San José, Chiapas, permitirá promover medidas de conservación y manejo del recurso que posibiliten la permanencia sustentable de los manglares del sureste de México por un periodo largo de tiempo (Cigarroa *et al.*, 2017).

El sistema de Barra San José con playa abierta del lado del Océano Pacífico limita interiormente con un estero por donde desemboca el río Huehetán, que baja de la Sierra Madre. De acuerdo con la clasificación de Koeppen presenta clima cálido sub-húmedo característico de la región del Soconusco, con una temperatura media anual de 27°C y del mes más frío mayor de 18°C, con una precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm. El porcentaje de lluvia invernal es del 5 al 10.2 % del total anual. El tipo de suelo predominante en el área es Solonchak de un origen aluvial y lacustre. La cobertura de manglar es de aproximadamente 27,519 ha, considerándose que en el área se presentan los manglares más altos del país con ejemplares de hasta 40 m y mejor desarrollados.

La Barra de San José pertenece a la Llanura Costera del Pacífico, donde confluyen las vertientes de los ríos Huehetán, Huixtla, Las Pilas y Río Pumpuapa que forman la Barra San José, sitio altamente productivo y

que es considerado el sistema de humedales de mayor relevancia en el país. En el área se encuentran recursos bióticos potencialmente aprovechables que resultan de gran importancia para la pesca, agricultura, investigación y educación. Protege especies de flora y fauna endémicas, raras, amenazadas o en peligro de extinción, además de ser un centro de reproducción y crecimiento de aves migratorias y una importante zona de captación y suministro de agua. Perteneció al Reserva de la Biosfera “La Encrucijada”, así como, a la Zona Sujeta a Conservación Ecológica “El Cabildo Amatal”. Los humedales son considerados como sitio RAMSAR a cargo de la CONANP.

### Localización del área de estudio

El área de estudio, del que presentamos aquí algunos resultados, se localiza al sureste México, en la región Soconusco del estado de Chiapas, pertenece al municipio de Mazatlán. El municipio de Mazatlán limita al norte con Huehuetán, al sur y al poniente con el Golfo de Tehuantepec, al oriente con el municipio de Tapachula y al noreste con el municipio de Huixtla (Fig. 1).



Fig. 1. Localización de la zona de estudio

En este estudio se utilizaron los mapas de uso del suelo y tipos de vegetación del 2008 y de los 80s de la zona costera del sureste de México, que están disponibles por la CONABIO. El método de clasificación de las imágenes de satélite, es una propuesta que está descrita en Díaz-Gallegos y Acosta-Velázquez (2009).

### Determinación del Cambio de Uso de Suelo

Los estudios sobre el cambio y uso de suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada

(Lambin, *et al.*, 2001; Mas, *et al*, 2011; Ibáñez,y Damma, 2014). El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio.

A continuación se describe el procedimiento que se utiliza para la determinación del cambio de uso de suelo (Chuvieco, 1996).

Primero, se elaborara el mapa de uso del suelo y tipos de vegetación del año 1980; para ello, se construye un mosaico con las imágenes del satélite Landsat ETM+ de 2000, usando un compuesto con las bandas espectrales 4, 5, 3 (RGB). Posteriormente se sobrepone el mapa de uso del suelo y tipos de vegetación de 2008 sobre el mosaico de imágenes ETM+ de 2000, previamente remuestreados a 28 m el pixel, ya que es el tamaño del pixel de las imágenes ETM+. Luego se aplica el método de interpretación visual en pantalla, sin embargo, la modificación de los nuevos vectores, se delimitaran según los valores espectrales de los pixeles del mosaico de las imágenes ETM+ de 1980, utilizando la segmentación de imágenes, por regiones de crecimiento espectral homogéneo. Posterior al proceso de clasificación, los polígonos de los poblados, carreteras, nubes y sombras, se digitalizan por interpretación visual en pantalla, utilizando el mosaico de las imágenes Landsat ETM+ y se adicionan como una clase más en el mapa del 1980. Finalmente, los mapas se filtraran con ventanas de 3 x 3 píxeles, usando la moda como medida de estandarización.

### Análisis y cuantificación de los procesos de cambios de los manglares

Se calculan las matrices de detección de cambio y las tasas de deforestación (FAO, 1996) que sintetizan los principales cambios del tiempo  $t$  al tiempo  $t+n$ . La matriz de detección de cambios posibilita el análisis del cambio entre cada una de las clases que se cartografián para cada una de las fechas de análisis. A partir de los datos de la matriz de detección de cambios se calculan algunos índices, que muestran la variación multitemporal. Se analiza el proceso de cambio de uso de suelo del manglar a través de la comparación de las bases cartográficas de uso y cobertura del suelo elaborados por el INEGI (Serie I, Serie IV), ambas en escala 1:250000. Se realiza la sobreposición cartográfica de la Serie I, elaborada en los 80's y la serie IV, en el SIG ArcGis v. 10. Se obtienen las superficies para cada tipo de vegetación y se calculan las tasas de deforestación de acuerdo con la ecuación de la FAO (1996) y las pérdidas anuales promedio, que sintetizan los principales cambios del tiempo  $t$  al tiempo  $t+n$  (Tabla 1).

Tabla 1. Tasa de deforestación y pérdida anual promedio para el periodo 1980-2008.

Tipo de vegetación	Tasa de deforestación (%)	Pérdida Anual promedio (ha)
Agricultura de riego	0.92	1,985.93
Agricultura de temporal	0.59	15,928.96
Asentamientos humanos	32.29	1,611.15
Cuerpos de agua	0.90	1,423.48
Pastizales inducidos y cultivados	0.26	15,015.86
Selvas caducifolias y subcaducifolias	-0.49	-9,878.84
Selvas perennifolias y subperennifolias	-0.27	-16,792.05
Vegetación hidrófila	-0.03	14.36
Áreas sin vegetación aparente	6.43	193.50
Manglares	-0.15	-270.32
Otros tipos de vegetación	-1.02	-262.83

En la Tabla 1 puede observarse que la mayor tasa de deforestación (-1.02) se refiere a la clase "Otros tipos de vegetación" que significa una reducción forestal de 262.82 hectáreas. La pérdida global de bosques significa una reducción forestal de 36173.24 hectáreas, donde las "Selvas perennifolias y subperennifolias" contribuyeron con el 46.42% (-16792.05ha). Respecto a los "Manglares" se redujo en 270.31 ha a una tasa de deforestación de -0.15% anual. La cobertura que incrementa su superficie son los "Asentamientos humanos",

que aumentaron 1611.15 ha a una tasa de 32.28% anual, mientras que la “Agricultura de temporal”, aumenta 15928.96 ha, seguido de los “Pastizales inducidos y cultivos” con 15015.86 ha. Estos cambios, afectan principalmente a selvas y bosques, pueden estar relacionados con la ejecución de políticas gubernamentales que apoyaron la colonización y la ganadería extensiva en todo el sureste mexicano.

La cuantificación de los procesos de cambio cartografiados se realiza a través de matrices de transición y de probabilidades de cambio de uso de suelo. En la Tabla 2 se relacionan las siglas utilizadas para cada una de las clases que se relacionan en las Tablas 3 y 4, donde se exponen dichas matrices. En las tablas 3 y 4 puede apreciarse que los bosques de coníferas, mesófilo de montaña, selvas caducifolias y selvas perennifolias registraron probabilidades de transición muy altas hacia pastizales inducidos y cultivados, aunque también registraron una transición considerable hacia agricultura de temporal. La presente propuesta es una aproximación, se cuenta con datos más actualizados que servirán para mejorar el análisis del cambio de uso de suelo en esta zona.

Tabla 2. Clases (estados) de las matrices de transición de uso de suelo y de probabilidad

1	Agricultura de riego	AR
2	Agricultura de temporal	AT
3	Áreas sin vegetación aparente	ASV
4	Asentamientos humanos	AH
5	Cuerpos de agua	CA
6	Manglares	M
7	Otros tipos de vegetación	OV
8	Pastizales inducidos y cultivados	PIyC
9	Selvas caducifolias y subcaducifolias	SCyc
10	Selvas perennifolias y subperennifolias	SPyp
11	Vegetación hidrófila	VG

Tabla 3. Matriz de transición de uso de suelos, para el periodo 1980-2008.

						2008							
1980	AR	AT	ASV	AH	CA	M	OV	PIyC	SCc	SPp	VG	Total	
<b>AR</b>	36645,5	20503,9	0,0	1451,6	91,6	0,1	0,0	3021,4	361,2	0,0	0,0	<b>62075,3</b>	
<b>AT</b>	43627,8	548139,3	696,2	18305,1	4917,9	654,9	0,0	57877,1	15110,5	13090,8	576,7	<b>702996,3</b>	
<b>ASV</b>	0,0	0,0	700,9	0,0	3,5	121,4	0,0	69,4	2,6	0,0	0,0	<b>897,8</b>	
<b>AH</b>	0,0	0,0	0,0	1495,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>1495,5</b>	
<b>CA</b>	0,0	69,9	54,8	16,2	37514,4	822,4	0,0	2852,4	104,5	2428,6	1800,7	<b>45663,9</b>	
<b>M</b>	1018,8	758,9	920,5	94,2	1857,6	47316,0	110,8	10150,8	0,6	0,0	4969,2	<b>67197,5</b>	
<b>OV</b>	328,0	1356,0	0,0	315,8	18,3	1693,2	0,0	3652,4	0,0	0,0	0,0	<b>7363,7</b>	
<b>PIyC</b>	30067,4	195946,8	2347,3	13931,8	18337,9	6371,2	0,0	1025779,1	44970,7	106440,4	6858,6	<b>1451051,1</b>	
<b>SCc</b>	8116,1	166471,0	1451,7	8721,2	13474,8	0,0	0,0	154676,7	266708,0	7539,6	338,1	<b>627497,1</b>	
<b>SPp</b>	802,4	91125,2	301,8	3250,3	6772,5	614,0	0,0	510004,2	10158,0	1431547,4	5685,1	<b>2060261</b>	
<b>VG</b>	459,9	2658,5	167,6	13,0	4788,4	1494,8	0,0	8182,6	0,0	2133,3	40373,9	<b>60272,1</b>	
<b>Total</b>	121065,9	1027029,5	6640,8	47594,7	87776,9	59088,0	110,8	1776266,1	337416,1	1563180,1	60602,3	<b>5086771,4</b>	

Tabla 4. Matriz de probabilidades de transición del cambio de uso de suelo, para el periodo 1980- 2008

						2008.							
1980	AR	AT	ASV	AH	CA	M	OV	PIyC	SCc	SPp	VG		Total
	<b>0,59</b>	0,33	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00		<b>1,00</b>
AR		<b>0,78</b>	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,08	0,02	0,02	0,00		<b>1,00</b>
AT	0,06		<b>0,78</b>	0,00	0,00	0,14	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00		<b>1,00</b>
ASV	0,00	0,00	<b>0,78</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		<b>1,00</b>
AH	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		<b>1,00</b>
CA	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,82</b>	0,02	0,00	0,06	0,00	0,05	0,04		<b>1,00</b>
M	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	<b>0,70</b>	0,00	0,15	0,00	0,00	0,07		<b>1,00</b>
OV	0,04	0,18	0,00	0,04	0,00	0,23	<b>0,00</b>	0,50	0,00	0,00	0,00		<b>1,00</b>
PIyC	0,02	0,14	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	<b>0,71</b>	0,03	0,07	0,00		<b>1,00</b>
SCc	0,01	0,27	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,25	<b>0,43</b>	0,01	0,00		<b>1,00</b>
SPp	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	<b>0,69</b>	0,00		<b>1,00</b>
VG	0,01	0,04	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00	0,14	0,00	0,04	<b>0,67</b>		<b>1,00</b>

Utilizando el paquete *markovchain* en R, citado anteriormente, puede obtenerse un gráfico de esta cadena de Markov, apreciándose que los Asentamiento Humano (AH) es un estado absorbente.

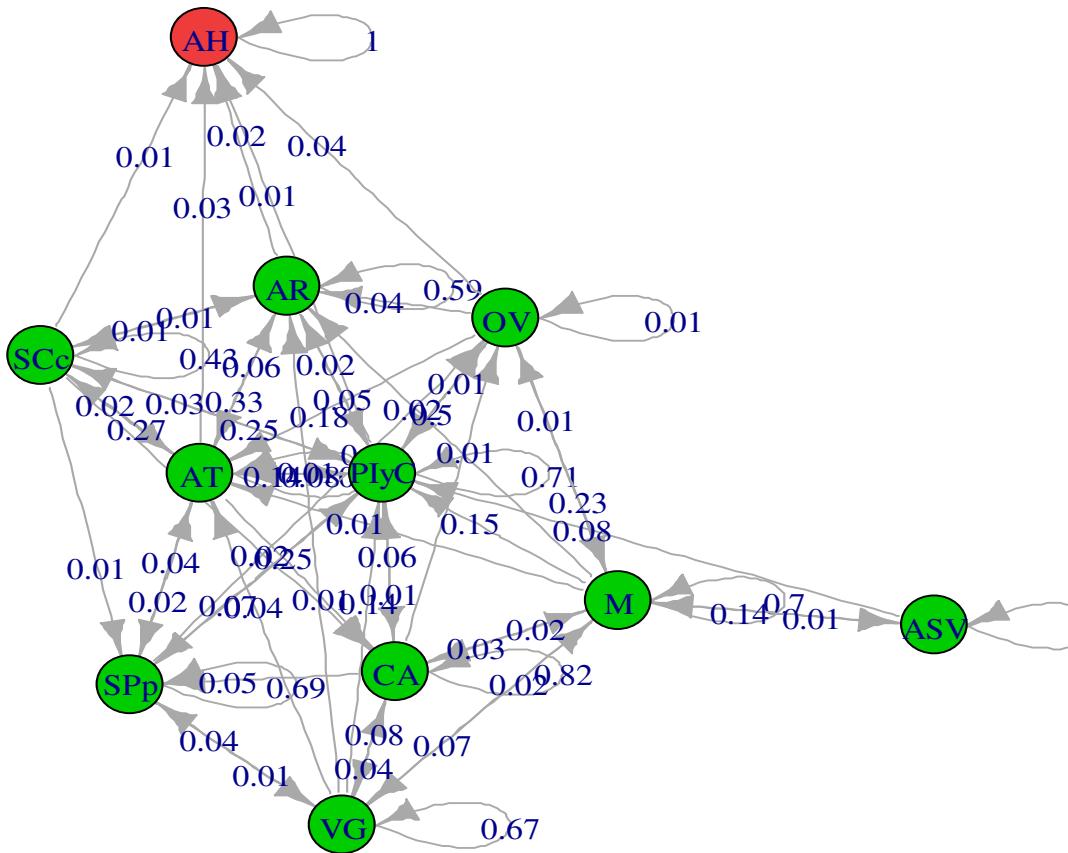


Fig. 2 Gráfico de la cadena de Markov para el cambio de uso de suelo de la Barra San José, Chiapas, México, en el periodo 1980 – 2008

## 5. CONCLUSIONES

Los cambios de uso de suelo y vegetación han sido motivo de estudio en América Latina, durante las últimas décadas (Masera, 2002). En la actualidad, México ha establecido los siguientes compromisos para coadyuvar a la mitigación del cambio climático en el sector forestal: alcanzar en el 2030 la tasa cero de deforestación, y mejorar el manejo forestal. Detener la deforestación de los sistemas forestales significaría retener miles de toneladas anuales de carbono, lo cual disminuiría los niveles de carbono atmosférico, además de contribuir a la biodiversidad.

Es necesario disponer de herramientas precisas para cuantificar estos cambios de uso de suelo y los modelos ocultos de Markov (HMM) pueden ser una de ellas. Analizamos que HMM es un modelo de Markov (de primer orden y discreto) en el que las salidas observables no se corresponden de forma determinista, sino probabilística, con los estados del sistema y que constituyen cadenas de Markov de tiempo discreto (DTMC).

El paquete *markovchain* para R es un paquete específicamente dedicado al análisis DTMC y es utilizado para obtener el gráfico que representa la cadena de Markov para el cambio de uso de suelo de la Barra San José, Chiapas, México, en el periodo 1980 - 2008

Resultados de estos estudios permitirán, a los tomadores de decisión, promover medidas de conservación y manejo del recurso, que posibiliten la permanencia sustentable de los manglares del sureste de México por un periodo largo de tiempo.

## REFERENCIAS

- [1] ACOSTA-VELÁZQUEZ J., RODRÍGUEZ-ZUÑIGA T., DÍAZ-GALLEGOS JR., CERDEIRA-ESTRADA S., TROCHE C., CRUZ I., RESSL R., JIMÉNEZ R. (2009). Assessing nationwide spatial distribution of mangrove forest for Mexico: an analysis with high resolution images. 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, Stressa, Italy.
- [2] BAI, J., C. DEL CAMPO, L. R. KELLER. (2017). Modelos de cadenas de Markov en la práctica: una revisión de opciones de software de bajo coste. *Revista Investigación Operacional*. Vol. 38, No. 1, pp 56 -62.
- [3] BRÉMAUD, P. (1999). “*Discrete-Time Markov Models*.” In: *Markov Chains*, 53–93. Springer.
- [4] BOCCO, G., M. MENDOZA Y O. MASERA. (2001), “La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán.
- [5] Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación”, *Investigaciones Geográficas*,
- [6] Boletín, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-38.
- [7] CASTELÁN, R., RUIZ, J., LINARES, G., PÉREZ, R., TAMARIZ, V. (2007). Dinámica de cambio espacio-
- [8] temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas*,
- [9] Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Núm. 64, 2007, pp. 75-89.
- [10]CIGARROA, K.M., LINARES, G., VALERA, M.A. (2017). Cambio de uso de suelo en áreas de manglar del estado de Chiapas, México. XVI Congreso Internacional y XXII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Chetumal, Quintana Roo, México.
- [11]CHUVIECO, E. (1996). Fundamentos de Teledetección. 3<sup>a</sup> edición revisada. Ediciones RIALP, Madrid. España.
- [12]DÍAZ-GALLEGOS, J.R., MAS, J.F., VELÁSQUEZ, A. (2008). Monitoreo de los patrones de deforestación en el Corredor Biológico Mesoamericano, México. *Interciencia* 33, 12: 882-890.
- [13]DÍAZ-GALLEGOS J.R Y ACOSTA-VELÁZQUEZ J. (2009). Tendencias en la transformación del uso del suelo y la vegetación aledaña. En: Espinoza J, Islebe G y Hernández H. (Eds). El Sistema Ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa Occidental del Mar Caribe. El Colegio de la Frontera Sur. Chetumal Quintana Roo, México, pp. 226-237

- [14] DÍAZ-GALLEGOS, J.R., MAS J.F., VELÁZQUEZ A. (2010). Trends of tropical deforestation in Southeast Mexico. *Singapur Journal of Tropical Geography*. 31: 180–196
- [15] FAO. 1996. Forest Resources Assessment 1990. FAO forestry paper 130, Roma, Italia, 153p.
- [16] GOBIERNO DE LA REPÚBLICA. (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático
- [17] para el periodo 2020-2030. México.
- [18] IBÁÑEZ, N y DAMMA, GN (2014). Cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac. *Zonas Áridas* 15(1): 48–67
- [19] INEGI, (2010). Resultados Definitivos, Chiapas. Censo General de Población y Vivienda
- [20] LAMBIN, E. F. (1997), “Modelling and monitoring land-cover change process in tropical regions”. *Progress in Physical Geography*, vol. 21, no. 3, pp. 375-393.
- [21] LAMBIN, E. F., N. BAULIES, G. BOCKSTAEL, T. FISHER, R. KRUG, E. F. LEMMANS, R. R. MORAN, Y. RINDFUSS, D. SATO, B. L. SKOLE, TURNER II, C. VOGEL (1999), Land use and land cover change implementation strategy, IGBP report, 48, IHDP, report 10, Estocolmo
- [22] LAMBIN EF, TURNER BL, GEIST HJ, AGBOLA S, ANGELSEN A, BRUCE JW. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 4: 261–269.
- [23] LÓPEZ, E., G. BOCCO, M. MENDOZA, E. DUHAU (2001), “Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico”, *Landscape and Urban Planning*, no. 55, pp. 271-285.
- [24] MAS, J.F., FLAMENCO SANDOVAL, A. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, 5 (1), Artículo 1: 1-24.
- [25] MASERA O. (2002). Bosques y cambio climático en América Latina. Análisis y perspectivas. En: Leff E, Escurra E, Pisanty I, Moreno P. (Comp). La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F., 211-235 pp.
- [26] RAMAMOORTHY TP, BYE R, LOT A, FA J. (1998). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología. UNAM, México DF. 792 p.
- [27] RODRÍGUEZ F., BAUTISTA S. 2006. Modelos ocultos de Markov para el análisis de patrones espaciales. *Ecosistemas*. 2006/3
- [28] SPEDICATO, G.A. (2016). *Markovchain: An R Package to Easily Handle Discrete Markov Chains*. R package versión 0.4.

## UN ANÁLISIS DEL AJUSTE DE LAS PROBABILIDADES DE RESPUESTA EN ENCUESTAS

Carlos N. Bouza-Herrera<sup>1</sup>, Agustín Santiago-Moreno<sup>2</sup>, Sira M. Allende-Alonso<sup>1</sup>, José M. Sautto Vallejo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, México

### ABSTRACT

We deal with modeling the probability of non-responses in survey sampling. Some models are discussed and a measure is proposed for evaluating the behavior of the elicited probabilities. An empirical evaluation illustrates how to use proposal.

**Keywords:** Propensity to response, probability of response, sub-sample representativeness

### RESUMEN

En este trabajo tratamos la modelación de la probabilidad de no-respuestas en encuestas por maestro. Algunos modelos son discutidos y una medida es propuesta para evaluar el comportamiento de las probabilidades elicidas. Una evaluación empírica ilustra cómo usar la propuesta.

**Palabras Clave:** Propensión a responder, probabilidad de responder, representatividad de sub-muestras.

### 1. INTRODUCCIÓN.

Todas las encuestas son potencialmente afectadas por las no respuestas (NR). Hay aspectos generales del problema de las NR hay otras particulares asociadas cada encuesta y sus características. Se considera que hay un fallo en la recolección de la información de algunos entrevistados potenciales. En tales casos debemos hacer un reporte sobre la NR que, de información sobre la tasa de respondientes, información sobre las características de los no-respondientes y tratar de dar idea sobre los mecanismos de respuesta.

Se habla de NR de la unidad si este no participa en la encuesta.

Se habla de NR del ítem si no se responde una pregunta particular

Se enfrenta entonces dos tipos de problema

1. Reducir el tamaño de la muestral perdiendo potencia estadística, precisión de los estimados.
2. considerar el efecto de los sesgos en los estimadores y buscar reducirlos

Hay dos enfoques para aminorar los efectos de las NR:

1. Minimizar NR en la fase de obtención de la muestra
2. Hacer ajustes tras la selección de la muestra

Cuando hacemos los análisis debemos enfocarnos en hallar una estrategia para tratar las NR y recabar analizando la información en mano sobre las características de los non-respondientes.

El muestriista debe establecer que hacer para paliar la existencia de NR. Se puede:

- Sub-muestrear los No-respondientes – Se selecciona una sub-muestra de los no respondientes y se hacen nuevas entrevistas.
- Usar Los datos obtenidos – Se descarta la información no obtenida

- Imputar los datos faltantes- Los no-respondientes son reemplazados asignándoles un cierto valor a su respuesta

Lo más usual en los textos es considerar que un mecanismo determinístico que modela la existencia de no respuestas. Entonces los que no responden están determinados de antemano al hacer la encuesta, aunque el muestrista no sabe quiénes son.

En este trabajo analizaremos algunos modelos para obtener una idea sobre la probabilidad de responder (SR). Esto es presentado en la sección 2. En las secciones 3 se propone un método que permitirá eliciar las probabilidades de SR y NR al tener información de variables auxiliares y acceso a fuentes censales. Se ilustra esto a partir de un estudio sobre las respuestas de estudiantes de una carrera universitaria a un cuestionario enviado por internet.

## **2. EVALUACIÓN DEL MODELO DE PROBABILIDAD DE SR**

### **2.1. La representatividad de la sub-muestra de los respondientes**

Consideremos que solo la aleatoriedad esta asociada al diseño muestral y el mecanismo de no-respuesta. Fijemos los conceptos de representatividad d una sub-muestra en este ambiente

**Definición** (Representatividad fuerte, RF). La sub-muestra de los respondientes  $s_1$   $s_1 \subset s$  se dice fuertemente representativa para  $s$  si

$$\rho_i = P(R_i = 1 | \delta_i = 1) = \rho$$

Si nuestro problema valida la representatividad fuerte aceptamos que las NR son generadas por un modelo MCAR.

La versión débil es dada como sigue:

**Definición** (Representatividad débil, RD). La sub-muestra de los respondientes  $s_1$   $s_1 \subset s$  se dice débilmente representativa para  $s$  si para la variable categórica X con C categorías

$$\bar{\rho}_c = \frac{1}{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} \rho_{jc}$$

Si nuestro problema es describible mediante la representatividad débil el mecanismo de NR es MCAR pues conocer X no proporciona una distinción entre NR y SR.

Si conocíramos las probabilidades de SR tendríamos conocimiento de  $\vec{\rho} = (\rho_1, \dots, \rho_N)^T$  y

podremos hacer pruebas para determinar si nos ocupa un problema del tipo RF.

Sea la media de las probabilidades de SR

$$\bar{\rho} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \rho_j$$

A mayor variación de las probabilidades de SR es menor la RF. De hinclo lo ideal sería que  $\bar{\rho}_o = (\bar{\rho}, \dots, \bar{\rho})^T$ . Podemos evaluar la variación usando una cierta distancia y valorar cuan diferente es la estructura de respuestas respecto al ideal calculando  $D(\vec{\rho}, \bar{\rho}_o)$ . Si usamos la Euclidiana trabajamos con una varianza dada

$$S^2(\vec{\rho}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\rho_i - \bar{\rho}_o)^2$$

Note que  $S^2(\vec{\rho}) \leq \bar{\rho}_o(1-\bar{\rho}_o) = \frac{1}{4}$ .

La NR al podemos asociar a un indicador

$$R(\vec{\rho}) = 1 - 2S(\vec{\rho}) \in [0,1]$$

Valores cercanos a 1 denotan la validez de la RF. El caso extremo para negar la RF está dado por  $\text{MIN}\{R(\vec{\rho})\} = 0$ , el que se obtiene cuando  $\bar{\rho}_o = \frac{1}{2}$ .

Es fácil observar la relación entre  $R(\vec{\rho})$  y el estadístico Chi-cuadrado. Si tenemos C categorías mutuamente excluyentes para la variable auxiliar X podemos calcular la frecuencia relativa de la clase c mediante

$$f_c = \frac{N_c}{N}$$

## 2.2. La estimación

Recuerde que la varianza de las probabilidades de SR es la suma de las varianzas `entre 'y `dentro'

A partir de las clases y que asumimos que la varianza dentro es nula. Es fácil comprobar que

$$S^2(\vec{\rho}) \cong \sum_{i=1}^N f_c (\rho_c - \bar{\rho})^2$$

y que

$$\chi^2 \cong \frac{NS^2(\vec{\rho})}{\bar{\rho}(1-\bar{\rho})} = \frac{N(1-R^2(\vec{\rho}))}{4\bar{\rho}(1-\bar{\rho})}$$

El estadístico V de Cramer es entonces

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}} \cong \frac{S(\vec{\rho})}{\sqrt{\bar{\rho}(1-\bar{\rho})}}$$

Sea  $\hat{\rho}_j$  la estimación de la probabilidad SR del individuo  $j \in U$ . Esta es un variable latente definida en  $[0,1]$ . Su estimación puede ser realizada usando un modelo que permite hacer predicciones, usando información auxiliar, en  $[0,1]$ . Sea esta

$$\delta_i = P(R_i = 1) = F(\vec{X}_i^T \vec{\beta}), \quad \vec{Z}_i \in \mathcal{R}^{K+1}$$

modelos que nos permiten hacer tales ajustes en el marco de los Modelos Lineales Generalizados (GLIM). Usándoles podremos describir las variables latentes en términos de una regresión.

El Modelo Logit considera que

$$\rho(\vec{X}_i) = \frac{\exp(\vec{X}_i)}{1 + \exp(\vec{X}_i)}$$

La conocida transformación logit lleva a trabajar con

$$\log\left(\frac{R_i}{1-R_i}\right) = \text{logit}[\rho(\vec{X}_i)] = \vec{X}_i^T \vec{\beta}$$

El Modelo Probit, por su parte, hace la transformación

$$\rho(\vec{X}_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\vec{X}_i^T \vec{\beta}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz$$

Usando estos razonamientos tenemos que si  $\frac{E(\delta_j)}{\pi_j} = 1$  un estimador de  $\bar{\rho}$  es

$$\bar{\rho}_{est} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\delta_j \hat{\rho}_j}{\pi_j}$$

Entonces un estimador ingenuo de  $R(\vec{\rho})$  es

$$\hat{R}(\vec{\rho}) = 1 - 2 \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(N-1)\pi_i} (\hat{\rho}_i - \bar{\rho}_{est})^2}$$

### 3. EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES DE SR

Las probabilidades envueltas en el proceso de responder pueden ser estimadas usando información muestral si un modelo, que use la información auxiliar, es utilizado. Podemos computar estimados basados en la información muestral.

**Definición.** La propensión a responder es medida por

$$\hat{\rho}_i = \rho(\vec{X}_i) = P(R_i = 1 | \delta_i = 1, \vec{X}_i), i = 1, \dots, N, \quad \hat{\rho}_i = \hat{\rho}_j \text{ si } \vec{X}_i = \vec{X}_j$$

Si  $\hat{\rho}_i$  solo depende de factores asociados al proceso de selección se dice que el modelo de NR es de efectos fijos.

La probabilidad de SR solo puede ser estimada al analizar las agregaciones de las respuestas pues en cada muestra solo tenemos una observación para cada individuo. La solución del problema de estimación se basa en el uso de un Modelo Lineal Generalizado, Generalized Linear Models (GLIM) y fijar

$$P(R_i = 1) = \vec{X}_i^T \vec{\beta}$$

Dado que trabajamos con una probabilidad las predicciones deben estar en [0,1],

$$\tilde{\rho}(\vec{X}_i) = \vec{X}_i^T \vec{\beta} + \varepsilon_i$$

Esta función de regresión transforma la propensión a responder, definida en [0,1], en una variable con valor en  $]-\infty, \infty[$ . Usualmente se considera que el error es una variable normal independiente con la misma varianza.

$\tilde{\rho}(\vec{X}_i)$  no es observable, pero observamos

$$R_i = \begin{cases} 1 & \text{si } \tilde{\rho}(\vec{X}_i) > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Note que la variable latente  $\tilde{\rho}(\vec{X}_i)$  difiere en general de lo esperado de la probabilidad de SR  $\rho_i$ , pues no toma valores en [0,1] necesariamente. Las transformaciones probit y logit si pueden ser interpretadas como

probabilidades. Por ello es común el uso de un modelo logit o probit pues estos modelos pueden usar la variable latente para hacer ajuste al usar las herramientas existentes para ajustar un modelo de regresión.

En la paquetería estadística aparecen implementaciones para hacer los ajustes de este tipo de regresión. En nuestro estudio utilizamos el que brinda SPSS-18.

Tomamos los resultados de las respuestas dadas por estudiantes de una Carrera en los años 2, 3, 4. Se utilizó como información auxiliar las notas de los años previos. El conocimiento de las NR en la población nos permite calcular

$$\zeta[\hat{R}(\vec{\rho})|m] = \sum_{b=1}^B \frac{|\hat{R}(\vec{\rho}) - R(\vec{\rho})|_{b(m)}}{BR(\vec{\rho})}, m = \text{logit, probit}$$

Valores pequeños sugieren que el ajuste del modelo es adecuado. Tomamos B=500 muestras aleatorias usando muestreo simple aleatorio sin reemplazo y calculamos la estimación  $\hat{R}(\vec{\rho})$ .

Determinamos intervalos de confianza del nivel  $\alpha=0,05$  usando métodos de Bootstrap paramétrico y no paramétrico. Se estimó el coeficiente de confianza al calcular el porcentaje de muestra en los que  $R(\vec{\rho})$ . Vea los resultados en la tabla siguiente.

Tabla 1: Tabla de estimaciones para los modelos logit y oprobit

Año	Tamaño	Precisión de	$\hat{R}(\vec{\rho})$	Bootstrap	$\widehat{1-\alpha}$	$\widehat{1-\alpha}$	$\widehat{1-\alpha}$	$\widehat{1-\alpha}$
cursado	de la muestral	$\zeta[\hat{R}(\vec{\rho}) \text{logit}]$	$\zeta[\hat{R}(\vec{\rho}) \text{probit}]$	logit	Probit	logit	probit	paramétrico
2	45	0,1027	0,1041	0,846	0,895	0,762	0,607	
3	21	0,8949	0,5295	0,674	0,675	0,826	0,849	
4	59	0,4257	0,8806	0,832	0,899	0,852	0,848	

Como se ve el ajuste mediante logit fue el mejor en los cursos 2 y 3. Sin embargo los intervalos de confianza hechos a partir del ajuste usando probit mediante el Bootstrap no paramétrico fueron los mejores siempre. Por su parte el logit fue el mejor al usar el ajuste mediante el logit y el Bootstrap paramétrico. En términos generales sería recomendable el uso de la regresión logit y los intervalos de confianza proveído por el Bootstrap no-paramétricos.

Esta metodología puede ser de uso general proveyendo alguna idea de cómo se comportan los patrones de NR.

Otra variante menos práctica es que se conozcan las probabilidades de respuesta (PR) estas pueden usarse para hacer imputaciones dadas las relaciones a partir de las relaciones entre la muestra y la distribución de la de los complementos de esta, vea Sverchkov-Pfeffermann (2004), mediante

$$f(Y_i|X_i = x, i \in U_2) = \begin{cases} \frac{\rho^{-1}(Y_i, x)f(Y_i|X_i = x, i \in U_1)}{\int \rho^{-1}(Y_i, x)f(Y_i|X_i = x, i \in U_1)dy} & \text{si } Y \text{ es continua} \\ \frac{\rho^{-1}(Y_i, x)f(Y_i|X_i = x, i \in U_1)}{\sum \rho^{-1}(Y_i, x)f(Y_i|X_i = x, i \in U_1)} & \text{si } Y \text{ es discreta} \end{cases}$$

Note que  $f(Y_i|X_i = x, i \in U_1)$  se refiere a los datos observados por lo que puede ser estimada usando herramientas de la estadística inferencial.

## REFERENCIAS

- [1] Agresti, A. (2002): Categorical Data Analysis. John Wiley & Sons, N. York.
- [2] Allende, S.,C. Bouza and I. Jeelani (20016) : A ranked set sampling alternative for single imputation in a hot deck environment. En “Experiencias En La Modelación De La Toma De Decisiones En La Salud Humana , Medio Ambiente Y Desarrollo Humano, tomo 2. (Bouza et al ed.). 104-112, EDITORIAL UGR, Granada.
- [3] Beaumont, J.-F. (2005): On the Use of Data Collection Process Information for the Treatment of Unit Nonresponse through Weight Adjustment, Survey Methodology, 31(2), 227 - 231.
- [4] Bertino, S. (2006): A Measure of Representativeness of a Sample for Inferential Purposes,International Statistical Review, 74, 149-159.
- [5] Bethlehem, J.G., Cobben, F. & Schouten, B. (2011), Handbook of Nonresponse in Household Surveys.John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- [6] Bethlehem, J. (1988): Reduction of Nonresponse Bias through Regression Estimation, Journal of Official Statistics, 4(3), 251-260.
- [7] Bethlehem, J., F. Cobben, and B. Schouten (2006): Nonresponse in Household Surveys,CBS Voorburg, Course book for European Statistical Training Program.
- [8] Bethlehem, J., and W. Keller (1987): Linear Weighting of Sample Survey Data,Journal of Official Statistics, 3(2), 141-153.
- [9] Bethlehem, J., and B. Schouten (2004): Nonresponse Analysis of the Integrated Survey on Living Conditions (POLS),Discussion paper 04004, Statistics Netherlands, Available at [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl).
- [10] Biemer, P., and M. Link (2006): A Latent Call-Back Model for Nonresponse,in 17th International Workshop on Household Survey Nonresponse, Omaha, Nebraska, USA.
- [11] Biemer, P., and L. Lyberg (2003): Introduction to Survey Quality. John Wiley & Sons, N. York.
- [12] Bouza, C.N. (2002a): Estimation of the mean in ranked set sampling with non-responses, Metrika, 56, 171-179.
- [13] Cobben, F., and B. Schouten (2008): An Empirical Validation of R-Indicators,Discussion paper 08006, Statistics Netherlands, Available at [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl).
- [14] Cochran, W. (1977): Sampling Techniques. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Couper, M., and L. Lyberg (2005): The Use of Paradata in Survey Research,in 56th session of the ISI conference, Sydney, Australia.
- [16] Goodman, L., and W. Kruskal (1979): Measures of Association for CrossClassifications. Berlin: Springer-Verlag
- [17] Groves, R., D. Dillman, J. Eltinge, and R. Little (2002): Survey Nonresponse. New York: Wiley Series in Probability and Statistics.
- [18] Groves, R., and E. Peytcheva (2006): The Impact of Nonresponse Rates on Nonresponse Bias: A Meta-Analysis,in 17th International Workshop on Household Survey Nonresponse, Omaha, Nebraska.
- [19] Hajek, J. (1981): Sampling from Finite Populations. Marcel Dekker, New York,
- [20] Hansen, M., and W. Hurwitz (1946): The Problem of Nonresponse in Sample Surveys,Journal of the American Statistical Association, 41, 517-529
- [21] Heerwegh, D. (2003): Explaining Response Latencies and Changing Answers using Client-Side Paradata from a Web Survey,Social Science Computer Review, 21(3), 360 - 373
- [22] Holbrook, A., J. Krosnick, D. Moore, and R. Tourangeau (2007): Response Order Effects in Dichotomous Categorical Questions Presented Orally: The Impact of Question and Respondent Attributes,Public Opinion Quarterly, 71, 325 - 348.
- [23] Kish, L. (1965): Survey Sampling. New York: John Wiley & Sons, N. York.
- [24] Kohler, U. (2007): Surveys from Inside: An Assessment of Unit Nonresponse Bias with Internal Criteria,Survey Research Methods, 1(2), 55 - 67.
- [25] Kruskal, W., and F. Mosteller (1979a): Representative Sampling I: NonScientific Literature,International Statistical Review, 47, 13-24.
- [26] Kruskal, W., and F. Mosteller (1979b): Representative Sampling II: Scientific Literature ExcludingStatistics,International Statistical Review, 47, 111-123.

- [28] Kruskal, W., and F. Mosteller (1979c): Representative Sampling III: Current Statistical Literature,"International Statistical Review, 47, 245-265.
- [29] Laaksonen, S., and R. Chambers (2006): Survey Estimation Under Informative Nonresponse with Follow-up,Journal of Oficial Statistics, 22(1), 81-95.
- [30] Lavrakas, Little, R. (1986): Survey Nonresponse Adjustments for Estimates of Means,"
- [31] International Statistical Review, 54, 139-157.
- [32] Little, R., and D. Rubin (2002): Statistical Analysis with Missing Data. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, Chichester.
- [33] Rubin, D. (1976): Inference and Missing Data,Biometrika, 63, 581-592.
- [34] Särndal, C., and S. Lundström (2005): Estimation in Surveys with Nonresponse. John Wiley & Sons, Chichester.
- [35] Särndal, C., B. Swensson, and J. Wretman (1992): Model Assisted Survey Sampling. Springer-Verlag, New York.
- [36] Schafer, J., and J. Graham (2002): Missing Data: Our View of the State of the Art. Psychological Methods, 7(2), 147-177.
- [37] Schouten, B., and F. Cobben (2007): R-Indicators for the Comparison of Different Fieldwork Strategies and Data Collection Modes,Discussion paper 07002, Statistics Netherlands, Available at [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl).
- [38] Schouten, B., Cobben, F. & Bethlehem, J.G. (2009), Measures for the Representativeness of Survey Response. Survey Methodology 36, pp. 101-113.
- [39] Sverchkov, M., and Pfeffermann, D. (2004). "Prediction of finite population totals based on the sample distribution" Survey Methodology 30, 79-92.
- [41] Sverchkov, M. Sverchkov (2010): On Modeling and Estimation of Response Probabilities
- [42] When Missing Data are Not Missing at Random. Section on Survey Research Methods – JSM 2010
- [43] Wallgren, A., and B. Wallgren (2007): Register-Based Statistics. Administrative Data for Statistical Purposes. John Wiley & Sons, Chichester.

**CONSUMO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA COMO MACROSISTEMA  
ECOLÓGICO:  
RUTAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA HOGARES TROPICALES**

Rilton Gonçalo B. Primo<sup>1</sup>; José F. García Rodríguez<sup>2</sup>; Marcelo Silva<sup>3</sup>; Pieter de Jong<sup>4</sup>;  
Ricardo de Araújo Kalid<sup>5</sup>

**RESUMEN**

Además de los aspectos que involucran costos contables y de oportunidad en la adquisición, operación y depreciación de sistemas de calentamiento de agua para hogares, en la toma de decisiones se efectúa también una revisión detallada de sus ecoeficiencias. Las ventajas de los sistemas de bajos impactos ambientales, delante de las capacidades de carga de los ecosistemas locales conexos al macrosistema planetario son crecientes. El objetivo de este ensayo es mostrar que la economicidad de seis rutas tecnológicas de calentamiento no es criterio de decisión suficiente para su adopción, en especial cuando son equivalentes, generando la necesidad de un criterio de desempate, como puede ser la aplicación de un algoritmo del Índice de Economicidad-Ecoeficiencia, a partir de los análisis de las rutas en ambiente económico y clima determinados. Con datos oficiales sobre precios de agua, energía y sobre irradiación solar, el caso estudiado corresponde a Bahía, en el Nordeste de Brasil, y las rutas tecnológicas reñidas con la resistencia eléctrica, dominante en esa región, en su jerarquización decreciente con el algoritmo creado, fueron: 1º) SCS de bajo costo de Policloreto de Vinilo, con IEEr = 51,37%; 2º) SCS de Polipropileno, con IEEr = 51,11%; 3º) Sistema de Calentamiento Solar (SCS) Convencional, con IEEr = 37,16%; 4º) Solar Heat Pump Systems, con IEEr = 23,78% y 5º) Air-Source Heat Pump, con IEEr = 14,59%.

**Palabras-llave:** Sistemas de Calentamiento Solares. Bombas de Calor. Economicidad. Macrosistema Ecológico.

**1. INTRODUCCIÓN**

La tesis y la práctica del crecimiento económico-industrial ilimitado son ideas superadas hace muchos años<sup>[1, 2]</sup>, pero el nuevo paradigma aún no está implantado en la vida práctica de las industrias y demandantes. La Economía Ecológica nació en esta lucha por la percepción de las insuficiencias de la modelación convencional. Si los recursos no renovables se agotan, la ruptura múltiple de los ciclos de los renovables puede ser crucial. Aunque no es el objetivo de este estudio considerar lo inevitable, se sabe que la exergia o trabajo útil máximo de los sistemas de calefacción, dado que la eficiencia plena en la conversión es imposible, implica un aumento del grado de entropía, del estado inicial al final de la operación, algo irreversible<sup>[3, 4]</sup>. En cuanto a lo evitable, son perturbadores los escenarios en que se insertan las rutas reñidas a la ducha eléctrica en ese examen.

<sup>1</sup> Economista. Consultor (Gobierno de Bahía | Banco Mundial). Aceptado en el Doctorado en Economía Política de la Universidad de La Habana (FCE, UH) y la Maestría Académica del Programa en Ingeniería Industrial de la Universidad Federal de Bahía (PEI-UFBA),

<sup>2</sup> Economista. Doctor en Finanzas Públicas y Filosofía. Docente e Investigador de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT, México).

<sup>3</sup> Economista. Maestro en Regulación de la Industria de Energía (UNIFACS). Doctor en Energía y Ambiente (UFBA). Post-Doctorante (PDJ / CNPq) en Ingeniería Industrial (UFBA). Docente e Investigador de la UFBA e Instituto Federal de Educación de la Bahía (IFBA).

<sup>4</sup> Ingeniero Eléctrico y en Sistemas de Computación (Universidad Monash - Australia). Maestro y Doctor por el PEI-UFBA.

<sup>5</sup> Ingeniero. Maestro (UFBA) y doctor en Ingeniería Química (USP). Docente e Investigador de la Universidad Federal del Sur de Bahía (UFSB) | Centro de Formación en Tecno-Ciencias e Innovación (CFTCI).

Revisando los aspectos teóricos de la economía ambiental y de la economía ecológica, R Souza subraya la emergencia de conceptos valorimétricos no convencionales para los recursos naturales<sup>[5]</sup>, en general y en específico, calcados en el descubrimiento de mercados potenciales para los mismos, como los de Valor de Opción (VO), que considera la disposición del usuario de disponer del recurso en el futuro, dejando de consumirlo excesivamente en el presente, Valor de No-Uso (VNU) o de Existencia (VE), derivado de la satisfacción del usuario con el hecho de un recurso natural aún existente y ser preservado, inspirando cuidados metodológicos de que los datos generados reflejen correctamente la ordenación de preferencias y la disposición real de pagar del individuo cuando se informa adecuadamente sobre las consecuencias más amplias y duraderas de sus actuales elecciones<sup>[5, 6]</sup>, ése es el reto actual de la ciencia.

El objetivo de este artículo es compartir con los *stakeholders* los avances de la literatura sobre el contexto en que operan estos sistemas y sus potenciales impactos, puesto que el agua tratada y la energía disponible para su utilización en hogares tienen, por supuesto, su VO, VNU o VE, además como recursos finitos, producidos con costes e impactos tan importantes que han motivado estudios de ecoeficiencia además de economicidad<sup>[7, 8, 9, 10, 11, 12]</sup>.

Para algunos de los principales centros de investigación en resiliencia planetaria, el Antropoceno<sup>6</sup> está en un dilema profundo, porque el paradigma predominante de desarrollo social y económico permanece ajeno a los riesgos de gran parte de los desastres ambientales inducidos por la capitalización a las escalas continental y planetaria<sup>[13, 14, 15]</sup>. La expresión quizá más fría y cortante de esta ley es igualar los beneficios de la ecoeficiencia a los ingresos marginales, y no en cualquier actividad de la industria, sino en el mercado de capitales. Esto no se hace de forma directa y ni siempre es adrede, pero toma lugar cuando en la toma de decisiones de inversión se analizan las rentabilidades financieras y físicas<sup>[3]</sup>. Mientras el algoritmo  $(1 + r)^t$  del interés compuesto se retroalimenta sin tregua<sup>7</sup>, rivalizando con los retornos no siempre cuantificables o monetizados de las inversiones ecoeficientes de recursos, las especies se extinguén, los ecosistemas se agotan y ocurren, de modo acumulativo, cambios climáticos. Las crisis hídrica, energética y ecológica conducen a la reconsideración de los procedimientos de elección de rutas, conducentes a la valorimetría crítica de los beneficios específicos del no desperdicio de un recurso finito o muchos, como el agua tratada y la energía para fines domésticos, y a estimarlos antes de que alcancen (o tiendan a romper) su umbral de carga sostenible, haciendo disparar costos marginales y, más que esto, amenazando el sistema entero.

La percepción de esta necesidad de cambiar los modos de evaluar beneficios está día tras día robustecida, verificados los límites críticos del referido Antropoceno. Esas nuevas fronteras de la vida en la modernidad son recalcadas por experimentos del *Stockholm Resilience Centre, Stockholm Environment Institute, ANU Climate Change Institute, Institute of Arctic Biology, University of Alaska Fairbanks, School of Environmental Sciences, Aquatic Ecology and Water Quality Management Group* y otros<sup>[14, 15, 16]</sup> que propusieron un nuevo enfoque para la sostenibilidad global, definiendo las fronteras del planeta dentro de las cuales se espera que la humanidad pueda operar con seguridad, sin cambios no lineales abruptos, ni riesgos de crisis y catástrofes.

Estas contribuciones vienen teniendo repercusiones diversas, pues el interés no es sólo académico<sup>8</sup>. Ellos subrayan que tres fronteras planetarias fueron ya violadas, impactando las otras: 1) los cambios climáticos; 2) la pérdida de biodiversidad y 3) los cambios en el ciclo global del nitrógeno. Están cerca de los límites el ciclo del fósforo, la acidificación del océano y la pérdida de la capa de ozono. Ante los riesgos de la interacción

<sup>6</sup> Era en que la influencia humana sobre los cambios planetarios pasó a ser dominante, a través de procesos circulares acumulativos desestabilizadores de sistemas biofísicos, acciones capaces de generar cambios ambientales abruptos y / o irreversibles y de afectar el bienestar humano de formas deletéreas o aún catastróficas<sup>[13, 14]</sup>.

<sup>7</sup> La fórmula compuesta es  $M = C (1 + i)^t$  donde  $M$  es el importe final,  $i$  la tasa de interés;  $C$  el capital o el valor inicial y  $t$  el tiempo total. Esta exponencial se utiliza en los análisis costo-beneficio de viabilidad de proyectos ecoeficientes hace décadas.

<sup>8</sup> La Nature publicó en su edición de septiembre de 2009 un resumen de su Fronteras Planetarias (originales disponibles en el Stockholm Resilience Center y copia en la dirección <http://www.stockholmresilience.org>) y él, sobre el tema, llegó a grabar una conferencia en el TED titulada *Let the environment guide our development*.

simultánea de múltiples estresores sobre los ecosistemas del planeta, no sólo los agentes locales y los científicos están llamados a intervenir, sino todas las naciones del mundo.

El Stockholm Resilience Centre destacó que las cuestiones biofísicas de estos estudios nos remiten a las cuestiones sociales de la sostenibilidad global<sup>[17]</sup>. Esfuerzos similares ya venían señalando los límites de los ecosistemas en los moldes de una crisis estructural global<sup>[3]</sup>: regulaciones de gases, agua y clima, prevenciones de disturbios, retención solar, ciclos de nutrientes y otros. Hoy se hacen esfuerzos para conectar todo en un macromodelo, y éste a la dinámica social<sup>[18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]</sup>.

Investigadores remiten a datos estadísticos macroambientales, como el National Energy Modeling System (NEMS), usado más en los EUA, por su Energy Information Administration (EIA), o el Markal-Macro (MM)<sup>[19, 22]</sup>, modelo integrado energía-ambiente-economía, usado por los EUA y más de treinta y cinco naciones incluyendo a China, quien generó el escenario de sus emisiones de CO<sub>2</sub> hasta 2050<sup>[25, 26]</sup>, un viraje, sino de la teoría macroeconómico-ambiental, de los instrumentos de planeamiento de *long run*<sup>[19, 21, 22]</sup>.

La macroeconomía convencional descuidó el vínculo entre la ecología y el análisis agregado<sup>[27]</sup>, porque trataron las restricciones ambientales y la propia economía del medio ambiente como rama de la microeconomía, enfocada en la asignación óptima de recursos, con criterio de maximización de beneficios y minimización de costos, sin conectar los aspectos micro y macro. En un análisis macroeconómico del ambiente, la "capacidad de carga" del sistema en un momento dado tiene un papel clave. Esta percepción delimita el ámbito del desarrollo sostenible y lleva a que se considere incluso irrealizable el "crecimiento perpetuo", confundido con "crecimiento sostenible" (Id., Ibid), porque, además de caro, es peligroso. Los fundamentos de este enfoque se remontan al análisis que David Ricardo hizo del uso de las tierras menos fértiles<sup>[27]</sup>. La expansión de las fronteras agrícolas a zonas marginales, de menor fertilidad, nivelan por encima el precio de los productos oriundos de las más fértiles. Los desperdicios y el agotamiento de los recursos naturales ya imponen a las sociedades el pago de importes generalmente más elevados de las alternativas, cuando no generan crisis irreversibles<sup>[28, 29]</sup>.

A la ubicación de los actores en estudios de ese tipo, con especificidades en términos de los precios<sup>[30, 31]</sup> y climas<sup>[32, 33]</sup>, deben adecuarse las variables generales. La revisión de la literatura sobre las tecnologías alternativas lanzará las bases inferenciales de su jerarquización final en dos escenarios, con y sin despilfarro de agua, durante veinte años. Objetivamente es posible demostrar que las rutas pueden diferir en economicidad, pero que no siempre eso ocurre, exigiendo criterios de desempate relativos a la eficiencia, sobretodo de ecoeficiencia; la ordenación de las rutas, aunque con eficiencias disímiles o indiferentes, deben confirmar la matriz energética local, puesto que los sistemas de consumo/generación de energía son un macrosistema ecológico, saturado y amenazado.

Son desiguales las eficiencias de los sistemas aquí tratados, en cuanto al uso de agua y energía y hay que compararlos simultáneamente. Además, el clima local y coordenadas geográficas influyen en las derivaciones de estas rutas y hay que diferenciar eficiencias equivalentes (o de mismo costo) por criterios externos a la eficiencia, considerando sus impactos durante y después de su ciclo de vida. Finalmente, obsérvese que posibles convergencias de criterios coinciden con restricciones económicas, dinámicas tecnológicas y hábitos culturales; pero, la crisis hídrica las está cambiando.

El alcance preferencial de este estudio es intertropical, en función de la relación entre las irradiaciones solares de esta banda y las tecnologías de la captación térmica y/o híbridas fotovoltaicas. Sin embargo, algunas de estas tecnologías más limpias son eficaces también en las regiones subtropicales. En los casos específicos estudiados, con características de expresiva irradiación solar (llegando a alcanzar 6,5 kWh / m<sup>2</sup>), las regiones tratadas a continuación serán las del Nordeste (NE) brasileño y las del centro-oeste y norte de Bahía, donde las eficiencias de los sistemas alcanzan sus límites físicos. La franja intertropical está delimitada entre las latitudes 23,27° al Norte y al Sur del Ecuador, líneas imaginarias definidoras, respectivamente, de los Trópicos de Cáncer y Capricornio, por ser las regiones en las que el Sol incide perpendicularmente a lo largo de los solsticios, oscilando esta perpendicularidad desde el verano en el Hemisferio Sur (invierno en el Hemisferio Norte) en el umbral de la latitud 23,27° N, descendiendo hasta la 23,27° S, cuando regresa.

Este estudio se compone, además de esta introducción, de una segunda sección en la que se definen los parámetros de la demanda y precios de agua en la región. Una tercera subraya los rasgos de las rutas. En la

cuarta sección se compara y ordenan las rutas por su economía y ecoeficiencia. La conclusión indica oportunidades y retos en Bahía, y sistematiza los resultados.

## 2. RASGOS DE LA DEMANDA

La región Nordeste (NE) es la que más sufre con las sequías y el estrés hídrico en el Brasil. Su potencial de generación hidroeléctrica, en el período de 2012 a 2017, es el peor registrado. En el cuatrienio 2014-2017, la Bahía do São Francisco (BSF), la principal fuente de agua y hidroelectricidad de la región, ha alcanzado el menor flujo de todos los tiempos. Como si no fueran suficientemente malas noticias, los pronósticos son que el cambio climático disminuirá el volumen de precipitación anual en el NE y el flujo de la BSF, respectivamente, en un 47% y 80% hasta 2050, comprometiendo de manera contundente su matriz hidroeléctrica<sup>[5, 7, 8, 9]</sup>.

De 2005 a 2007, la generación hídrica doméstica respondía por más del 87% de la electricidad del NE, pero en 2016 cayó a apenas el 25%, quedando otro 25% con la generación termoeléctrica, el 30% con la eólica y el 20% con la energía importada (en gran parte de origen hidroeléctrica)<sup>[5, 7, 8, 9]</sup>. Esos datos proporcionales tienen una conexión directa con el impacto ecológico del consumo de energía, implicando nuevos efectos específicos a cada una de esas modalidades de generación, proporciones que no son fijas, incluso por fuerza de los intentos de sustitución de parte de la generación termoeléctrica por la eólica, con previsión para 2020, de reducción de los costos nivelados de electricidad en cerca del 46%, con fuerte caída de las emisiones de CO<sub>2</sub>, haciéndose promisorias las innovaciones y combinaciones de rutas nuevas para el calentamiento usual del agua<sup>[6]</sup>.

Como en otros ambientes tropicales, el más extenso sistema de calentamiento de agua para residencias de Brasil, NE y Bahía es la ducha eléctrica. Aunque esta ruta requiera baja inversión y bajo mantenimiento (cambio de resistencia), y pese que calienta agua con rapidez y no implica un desperdicio de agua, sale muy caro al pueblo y al medio ambiente, ya que no funciona en caso de una caída del suministro de energía, y ha sobrecargado los sistemas de transmisión a las horas pico. En este escenario el Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC), con sede en el campus de la Universidad de São Paulo (USP/IPEN), introdujo un Sistema de Calentamiento Solar (SCS) con patente libre (para toda la población local y, sobretodo, para trópicos soleados), energéticamente más eficiente y de bajo costo (precio promedio del 10% del convencional), sistema que ha merecido estandarización desde 2001 y convalidaciones de expertos<sup>[34, 35]</sup>.

Aquí el SCS aparece en dos modalidades, el sistema con placa recolectora de Policloruro de Vinilo (PVC) y el de Polipropileno (PP)<sup>[36, 11]</sup>. Hay otro SCS, tipo convencional, ya industrializado en Brasil, el cual será comparado con esas dos opciones de bajo costo. Adicionalmente, aunque sean poco difundidos en los trópicos y en Brasil, serán evaluadas las opciones de bombas de calor, también en dos modalidades, la exclusivamente hecha para calentar (SHPS), y la llamada "aire-agua", con función *flex* de calentar/enfriar, que aprovecha el aire exterior como fuente de energía durante todo el año (ASHP)<sup>[37, 38, 39, 40, 41, 42]</sup>.

En este estudio se toma en cuenta el análisis empírico de Souza y Bezerra<sup>[23]</sup>, considerándose la unidad unifamiliar de consumo de tipo intermedio, en la cual una familia con cuatro personas toman tres baños cada día, de seis minutos cada uno, con ducha estándar y registro medio abierto (5 L/minuto), que representan el consumo diario de 360 L que, considerando, por aproximación, el mes como de 30 días, equivale a unos 11 m<sup>3</sup>/mes. Además, que su hogar es un apartamento intermedio ubicado cerca de seis pisos debajo de la terraza, en edificios de 10 a 15 pisos. Esta situación, muy frecuente en las ciudades de mayor densidad demográfica constituye un problema, pues genera potenciales desperdicios del agua fría hasta la llegada del agua ya caliente por el sistema térmico cuando se utilizan los SCS convencionales o de bajo costo, cuya agua no fría queda en un reservatorio en la terraza<sup>9</sup>. Se puede mitigar esto con el uso de ciertas técnicas, pero hay que estimar el escenario para el cálculo de ese comportamiento imprudente, que puede y debe cambiar<sup>[12]</sup>.

<sup>9</sup> Esta situación problema fue originalmente propuesta en julio de 2017 por el profesor e investigador Asher Kiperstok como estímulo a la reflexión en los cursos interconexos de Prevención a la Contaminación y Ecología Industrial del PEI-UFBA en la graduación, maestría y doctorado.

Considerando que en esa situación problema mencionada, la columna media de agua ( $c$ ) tiene 18 m, con tubería estándar de 9,5 mm de radio interno ( $r$ ), el despilfarro ( $D$ ) de agua fría que se vierte antes de la calentada es

$$D = \pi \cdot c \cdot r^2 = 0,005104 \text{ m}^3 \approx 5,1 \text{ L / baño} = 1,836 \text{ m}^3 / \text{mes / familia} \quad (1)$$

La Empresa Baiana de Águas e Saneamiento S.A – Embasa<sup>[11]</sup>, aplica el siguiente precio a los hogares de ese padrón intermedio (área construida  $\leq 60\text{m}^2$ , como máximo 2 baños y 8 puntos de utilización del agua, sin piscina y energía mono/bifásica):

$$P = a + 6,23b \mid b = c - 6m^3 \leftrightarrow c = a + b \quad (2)$$

En que  $P$  es el pago mensual,  $a$  es la demanda mínima ( $0 \leq a \leq 6m^3$  = precio fijo = R\$ 24,2),  $b$  es la demanda variable (sobrepasada de la mínima) y  $c$  la demanda total. Eso implica en R\$ 79,55 y R\$ 90,99, respectivamente, sin y con despilfarro (solamente en las rutas SCS). En cuanto a la energía, los precios son aplicados por la Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia - Coelba<sup>[10]</sup> (octubre, 2017), en la tasa de R\$ 0,624/kWh de Consumo Activo. Teniendo como referencia de consumo la ducha eléctrica más encontrada en el mercado brasileño (5 500 W en el máximo y 3 500 W el medio o verano, adoptado aquí) y tiene una demanda de 126 kWh = R\$ 78,62 = 360 baños mensuales de 6 minutos cada.

**Tabla 1** - Ecoeficiencia Energética de las Rutas

Ruta ( $n$ )	Ecoeficiencia Energética Relativa ( $\eta$ ) a la Ducha Eléctrica	Demandas Mensuales/ (kW.h)	Custo Mensual Total – ENERGIA / R\$
<b>1 – Ducha Eléctrica</b>	-	126,00	78,12
<b>2 – SCS Convencional</b>	93,82%	7,79	4,83
<b>3a – SCS de Bajo Costo (PVC)</b>	93,32%	8,42	5,22
<b>3b - SCS de Bajo Costo (PP)</b>	92,93%	8,91	5,52
<b>4a - SHPS</b>	64,98%	44,12	27,34
<b>4b - ASHP</b>	44,97%	69,33	42,97

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la literatura<sup>[6, 43, 38]</sup>.

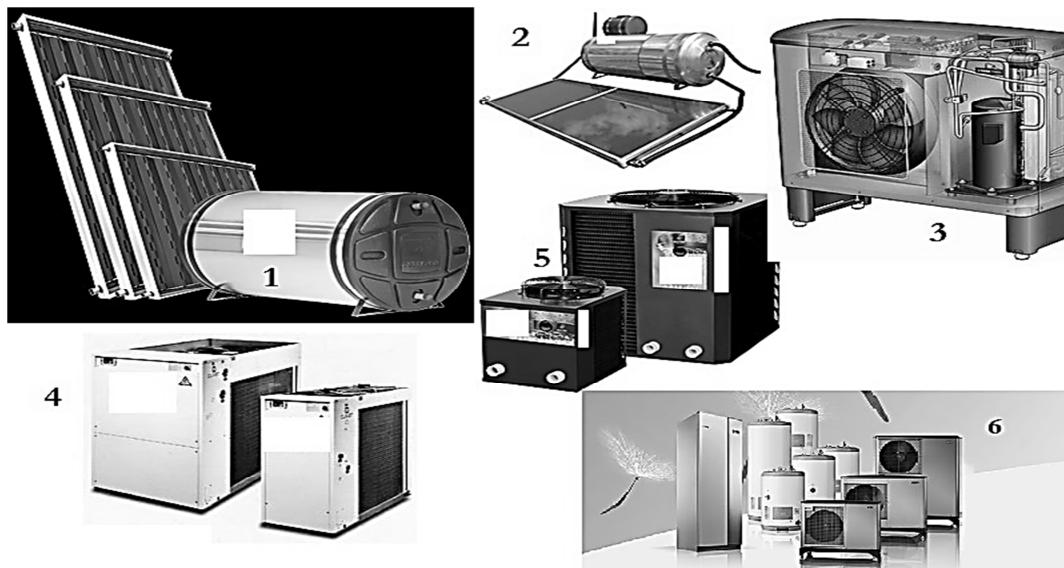
En la Bahía 12 se registran las eficiencias energéticas relativas y correspondientes demandas y costes de las rutas.

<sup>[10]</sup> La firma ofrece a 5,8 millones de clientes en Bahía (88% residenciales) atendiendo a 415 de los 417 municipios del estado.

### 3. ATRIBUTOS DE LAS RUTAS

El proyecto del SCS convencional de referencia para la presente discusión es el producido a través de un proceso altamente automatizado, que tiene la capacidad de producción en escala con elevada estandarización,

**Figura 1-** Rutas Tecnológicas Ecoeficientes de Calentamiento de Agua para Baño Disponibles en Brasil y en el Exterior



Fuente: Elaboración de los autores con fotos de ofrecedores [44, 45, 46, 47, 48, 49]

involucrando un Colector Solar (dos placas de 2,00 m<sup>2</sup>), representado por los ítems 1 y 2 de la Fig. 10, cuya descripción es: 1 y 2 – SCS de máxima eficiencia energética, disponibles en Brasil y certificados por el Instituto Nacional de Metrología, Qualidade e Tecnologia (Inmetro); 3 – Interior del Air-Source Heat Pump; 4 - SHPSs Reversibles (calentadoras/resfriadoras); 5 - Bombas de Calor para Baño disponible en Brasil; 6 – Bombas de Calor con mínimas emisiones de CO<sub>2</sub> disponibles en los países nórdicos, Polonia y República Checa, eficaces hasta -20°C.

La inversión exigida por un SCS Convencional, con las conexiones terraza-hogar y instalación, es R\$ 5 539,00 en la región estudiada, pero, como esto depende de las dimensiones del sistema, fueron objetos de esfuerzos computacionales [52, 53] capaces de determinar las dimensiones ideales, al mínimo costo, a lo largo de la vida útil del equipo, sin menosprecio de la inversión para la adquisición y mantenimiento del sistema, ni el grado de necesidad de uso de energía auxiliar en cada local de instalación, acoplando, en régimen transitorio, un procedimiento de optimización no lineal a una rutina de simulación numérica de *long run*, con el método de los Gradientes Conjugados, resultando en la mirada del óptimo costo en una superficie tridimensional, que calculó, considerando siete factores decisarios, como los costes totales anuales con la energía eléctrica auxiliar, 5,75 m<sup>2</sup> para dimensión del colector y 0,26 m<sup>3</sup> para el tanque [52], dimensiones indicadas para la región de Campinas (São Paulo), pero demasiado grandes para el NE. Dimensionando los colectores al caso en examen de 4 personas, o sea, para calentar el volumen de 360 L/día, se realizaron algunos experimentos, en el NE [3, 23], con apoyo de la expresión  $Q_u = mc_p\Delta t$ , donde Q<sub>u</sub> es la cantidad de calor suministrada en kW, m es el caudal másico en kg/s, c<sub>p</sub> es el calor específico la presión constante [4,18 x 103 kJ/(kg°C)] y ΔT es la variación entre la temperatura final y la inicial del fluido (10 °C), quedando indicado que son necesarios 0,7 m<sup>2</sup>/persona de placa colectora, es decir, 2,8 m<sup>2</sup>.

Por su vez, los SCS de bajo costo, tomados aquí como referencia, son hechos por cuatro partes fundamentales: 1- tanque de 200 L de agua destinada a la demanda de una familia de 4 a 6 personas; 2- Colectores de PVC o PP pintados con tintas oscuras para mejor absorción de radiación solar; 3- resistencia eléctrica con mezclador y *dimmer* de apoyo térmico y 4- Sistema general de tubos. Su manufactura está dividida en 8 etapas en la Fig. 11.

**Figura 2 - Construcción del SCS da Bajo Costo**



Fuente: Elaboración de los autores con fotos del CIETEC<sup>[34]</sup>.

Descripción de la Fig. 11: 1 – Cisura longitudinal de tubería para recepción de la placa de PVC; 2 e 3 – Ajuste de la placa con canales internos de paso de agua; 4 – pintura de la placa con color oscuro (preferentemente), para mayor calentamiento; 5 – Orificio superior del tanque para conexión de la tubería que mandará agua calentada en régimen de termosifón; 6 – Flota reguladora del ingreso de agua fría en el tanque; 7 – Sistema de fluctuación de la manguera flexible que sacará a agua caliente del tanque por encima, por ser menos densa, y la conducirá al usuario; 8 – SCS con tres placas colectoras instalados en hogar tropical.

Fue padronizado y convalidado experimentalmente por el Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC) da USP/IPEN y fue certificado por el Banco de Tecnologías Sociales de la Fundación Banco do Brasil y hoy es indicado por el Observatorio por la Tecnología Social en América Latina<sup>[34, 35]</sup>.

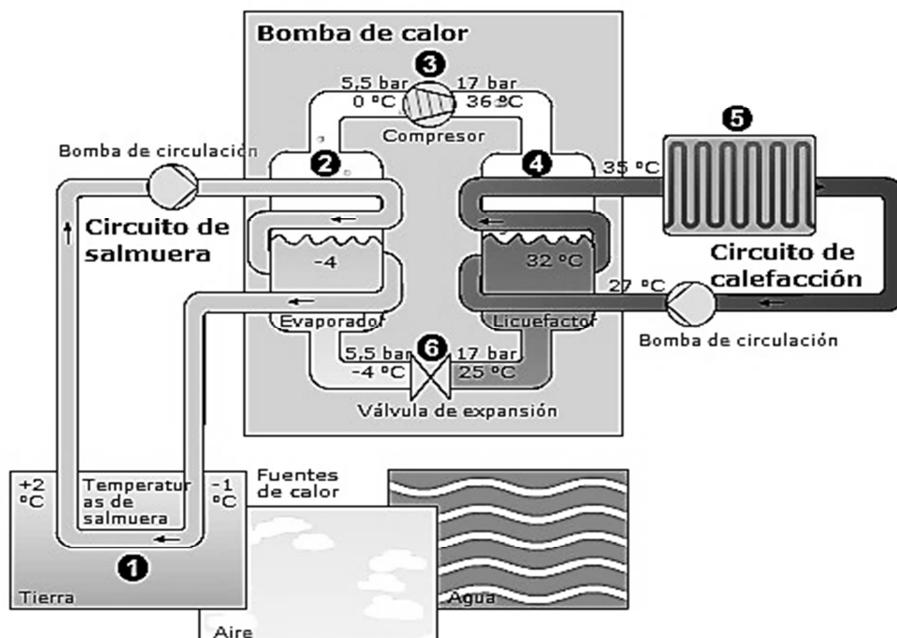
Como esa ruta debe adaptarse a la demanda y condiciones climáticas locales, cuatro ensayos computacionales fueron hechos en la Universidad Federal de Uberlândia (UFU), con el uso de técnicas de fluidodinámica computacional (Computational Fluid Dynamics) y balances de energía, ayudando en la agudeza de detalles del flujo dentro del sistema y consintiendo predecir su funcionamiento continuo y comparar las dos modalidades de SCS de bajo costo, quedando comprobado que el mejor desempeño es del sistema de PVC, puesto que es más sensible a los cambios de caudal, por su baja inercia térmica, característica ligada a la menor cantidad de ductos y mayor área transversal, respecto al de PP<sup>[36]</sup>.

Por fin, trate-se, aunque de modo breve, de dos modelos de SHPS, pero ambos operan de modo termodinámico similar [37, 38, 40, 41]: el sistema opera en ciclo de compresión eléctrica de vapor y bombea energía del aire circundante para calentar el agua del tanque reservatorio, valiéndose de los mismos principios mecánicos de las heladeras y aparatos de aire acondicionado, pero en sentido contrario: se expande y condensa un fluido para absorber el calor, y no solamente del aire, sino incluso de la tierra o agua (Fig. 12).

Descripción de la Fig. 12: 1 – Captación de calor; 2 - Evaporador (intercambiador de calor); 3 – Compresor que eleva la temperatura del medio frigorífico; 4 – Liquefactor que trasmite el calor a la agua de calefacción; 5 – Circuito de calefacción; 6 – En la válvula de expansión el medio frigorífico se expande y se refrigerara.

Porque en el verano es un refrigerador y en invierno un calentador, el tipo Air-Source Heat Pump (ASHP) es más popular que el SHPS tradicional, pero es 20% menos ecoeficiente en energía que sus análogos. Ambos

**Figura 3** - Modo de Funcionamiento de una Bomba de Calor

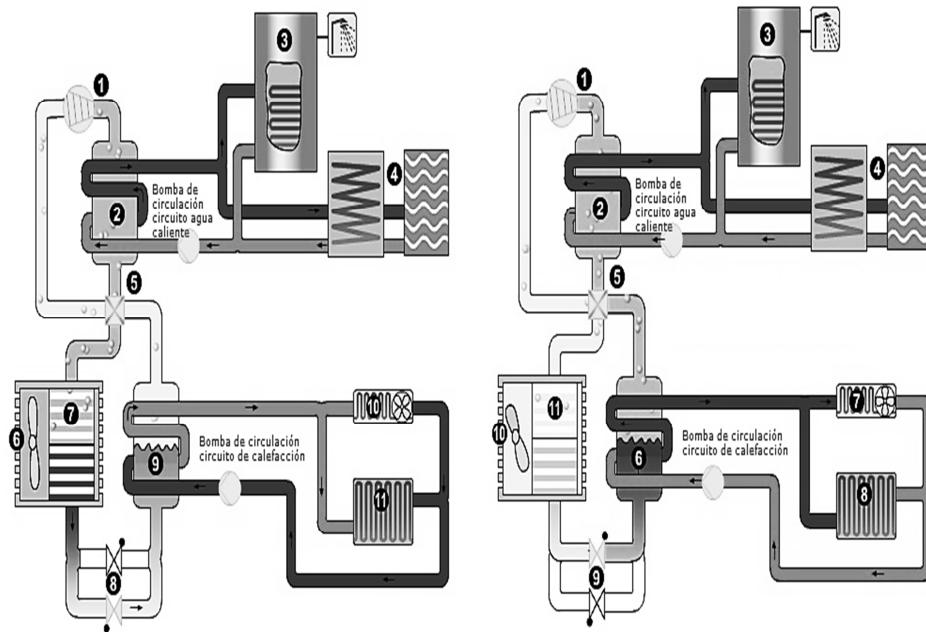


Fuente: Elaboración de los autores con datos de DIMPLEX [50].

son más adecuados en climas temperados y su compresor necesita de energía eléctrica [37, 38]. Los beneficios son generados porque su consumo energético para obtener el calentamiento es más eficiente que la resistencia de la ducha, pero puede ser combinado con un sistema fotovoltaico que garantice suministro de electricidad limpia. Aquí no serán tratadas las múltiples combinaciones posibles de las rutas entre sí, ni con otras tecnologías complementares, sino en su estado puro, para la evaluación aislada, pero un sistema híbrido suma eficiencias [38].

A la izquierda de la Fig. 13 está representado esquemáticamente el funcionamiento, en modo calentador, de la bomba de calor reversible; a la derecha, su operación de enfriamiento. Nótese que, en las tuberías cenizas claras, fluye agua fría y, en las cenizas oscuras, la caliente, segundo la dirección indicada por las setas; en la condición de sistema relativamente no conocido, su descripción de funcionamiento será detallada en once etapas operativas.

**Figura 4 - Modo de Funcionamiento de una Bomba de Calor Reversible**



Fuente: Montaje de los autores con imágenes y descripciones de Dimplex<sup>[51]</sup>

Descripción de la Fig. 13:

*Sistema izquierdo (modo calentador):*

1 – El compresor eleva el nivel de presión del medio frigorífico que circula dentro de un circuito cerrado. De este modo sube la temperatura del medio frigorífico gaseoso; 2 - Un intercambiador de calor en el gas caliente del circuito de refrigeración permite la alimentación de diferentes consumidores de calor a un nivel de temperatura más elevado; 3 - Producción centralizada de agua caliente durante la calefacción con temperaturas de alimentación elevadas; 4 - Alimentación de consumidores de calor adicionales mediante amortiguador y/o intercambiador de calor; 5 - La válvula de conmutación de cuatro vías dirige el medio frigorífico aún caliente al sistema de calefacción donde cede el calor.; 6 - En el licuefactor (intercambiador de calor) el calor se transmite al agua de calefacción. El medio frigorífico se refresca y se licua; 7 - El ventilóconvector es atravesado por agua de calefacción y cede el calor controladamente al aire ambiental. Los ventiladores integrados permiten una circulación del aire con varios niveles de regulación; 8 - Una calefacción de superficie (p.ej. calefacción por suelo radiante) es atravesada por agua de calefacción y cede el calor controladamente al aire ambiental; 9 - En la válvula de expansión el medio frigorífico se expande (caída de presión) y sigue refrescándose; 10 - Un ventilador sopla aire del exterior por el evaporador frío; 11 - Mediante un evaporador (intercambiador de calor) la energía captada en la sonda geotérmica se transmite a un medio frigorífico. El medio frigorífico se calienta y se evapora.

*Sistema derecho (modo enfriador):*

1 – Mismo que anterior; 2 - Un intercambiador de calor en el gas caliente del circuito de refrigeración facilita el uso del calor perdido producido durante la refrigeración; 3 - Producción eficiente de agua caliente durante la refrigeración usando el calor perdido; 4 - Uso del calor perdido mediante amortiguador y/o intercambiador de calor; 5 - La válvula de conmutación de cuatro vías dirige el calor residual del medio frigorífico al aire exterior,

donde cede el calor; 6 - En caso necesario, un ventilador aspira aire del exterior a través del licuefactor caliente para desviar el calor perdido no utilizable; 7 - Mediante un licuefactor (intercambiador de calor) el calor perdido no utilizable se cede al aire exterior. El medio frigorífico se refresca y se licua; 8 - n la válvula de expansión el medio frigorífico se expande (caída de presión) y sigue refrescándose; 9 - En el evaporador (intercambiador de calor) el medio frigorífico frío extrae calor del agua de calefacción; 10 - El ventiloconvector es atravesado por agua de calefacción refrescada y extrae calor del aire ambiental. Temperaturas de alimentación bajas resultan en una temperatura debajo del punto de rocío y en una deshumidificación del aire ambiental. Los ventiladores integrados permiten una circulación del aire con varios niveles de regulación; 11 - El agua refrescada que atraviesa un sistema de tubos instalado en el suelo, en la pared o en el techo refresca la superficie del elemento. Ésta funciona como intercambiador de calor que extrae calor del ambiente. Las temperaturas de alimentación deben ser reguladas de modo que se evite la condensación.

#### 4. ECONOMICIDAD Y ECOEFICIENCIA

Es posible calcular el impacto físico, por emisiones de CO<sub>2</sub>equivalente t/(kW·h), de la demanda de energía (Tab. 2), en las proporciones de la matriz de oferta del NE (25%, termoeléctrica 25%, eólica 30 % y 20% hídrica importada <sup>[53]</sup>), con los factores 86,21 x 10<sup>-3</sup> para generación hídrica, 752,77 x 10<sup>-3</sup> para termoeléctrica y 19,66 x 10<sup>-3</sup> para eólica <sup>[54]</sup>. Considerando que, del estudio de la comisión de alto nivel creada en la conferencia del clima de Marrakesh de 2016, coordinada por J. Stiglitz y N. Stern, el Banco Mundial estimó que, para cumplir el Acuerdo del Clima de París, el precio de la tonelada de carbono debería estar entre US \$ 40 a US \$ 80 en 2020 y US \$ 50 a US \$ 100 en 2030 <sup>[55]</sup> (Finlandia y Noruega vienen realizando pagos superiores a US \$ 50 desde 2015 y la Suecia a US \$ 130) <sup>[56]</sup>, tenemos la siguiente Tab. 2, compuesta con los correspondientes impactos de emisiones físicas y de costos de carbono de la demanda de energía de las rutas s, por veinte años, con precios de US \$ 50 = R\$ 159,00 en el cambio de US \$ / R\$ = 3,18 (octubre de 2017). Estos valores son solamente un criterio de elección de rutas.

**Tabla 2** - Costos en Créditos de Carbono (en 20 años) a Precios de Cumplimiento del Acuerdo de Paris (tCO<sub>2</sub> = US \$ 50)

SOMATO RIO	Resistencia	SCS Convencional	SCS de PVC	SCS de PP	SHPS	ASHP
<b>TOTAL / t</b>	<b>7,042</b>	<b>0,436</b>	<b>0,471</b>	<b>0,498</b>	<b>2,466</b>	<b>3,875</b>
<b>Total / R\$</b>	<b>1.119,75</b>	<b>69,24</b>	<b>74,83</b>	<b>79,20</b>	<b>392,10</b>	<b>616,16</b>
<b>Total /US \$</b>	<b>352,12</b>	<b>21,77</b>	<b>23,53</b>	<b>24,91</b>	<b>123,30</b>	<b>193,76</b>

Fuente: Elaboración de los autores.

**Tabla 3** - Costos Acumulados em 20 Años (Ciclo de Vida Más Largo - SCS Convencional)

SISTEMA	Sistema de Calentamiento (r)	1- Resistenci a	2 – SCS-C	3a - SCS de PVC	3b - SCS de PP	4a - SHPS	4b - ASHP
	<b>A - Vida Útil / años</b>	5	20	10	10	10	10
	<b>B - Costo de Adquisición / (R\$)</b>	70,00	5 139,00	450,00	450,00	3 648,69*	2 877,84*
	<b>C - Instalación / (R\$)</b>	30,00	400,00	350,00	350,00	359,12	287,78
	<b>D –Reinversión (20/A)x(B+C) / (R\$)</b>	400,00	5 539,00	1 600,00	1 600,00	8.015,63	6 331,25
RGI	<b>E - Costos Operacionales Totales / (R\$)</b>	18.748,80	1.158,86	1.252,36	1.325,53	6.562,08	10 311,84

<b>Costo de Oportunidad Operacional Acumulado</b> $\sum (E_r - E_{r \text{mín}}), n \text{mín} = 2 /$ <b>(R\$)</b>	17.589,94	-	93,50	166,67	5.403,22	9.152,98
<b>F - Costos Operacionales Totales /</b> <b>(R\$)</b>	19 092,00	21 837,19	21 837,19	21 837,19	19 092,00	19 092,00
<b>ÁGUA</b> <b>Costo de Oportunidad Operacional Acumulado</b> $\sum (F_r - F_{r \text{mín}}), n \text{mín} = 2 /$ <b>(R\$)</b>	-	2 745,19	2 745,19	2 745,19	-	-

Fuente: Elaboración de los autores.

\*Para mayor generalidad del análisis, son costes proporcionales a los vigentes para SCS en mercados maduros, e.g., en Australia [38]. En el Brasil, las SHPS y ASHP son tecnologías cuyos costos están aún afectados por una incipiente demanda y oferta sin significativas economías de escala. Como muestra, la empresa Jelly Fish ofrece bombas de calor (BC) para baño, con fluido refrigerador ecológico, en los siguientes valores y especificaciones: BC120 hot 70 R \$ 19 350,00; BC120 hot 55 R \$ 24 000,00. Subráyese que el hot 70 es capaz de ofrecer agua alrededor de 20°C más caliente que el hot 55 que, en contrapartida, ofrece dos veces más agua calentada en litros [45]. Cotización hecha por correo estatal en 26 octubre 2017. En España las bombas de calor cuestan entre 1,0 y 1,6 mil € ≈ R \$ 3,8 mil, precio compatible con la Bahía. Los precios relativos mundiales de los sistemas tienden a convergir en el largo plazo (20 años), y esa Bahía expresa tal expectativa de los trópicos.

En la Tab. 13 están totalizados, por un período de 20 años, los costes de agua y energía, contables y de oportunidad, bien como sus inversiones totales en el periodo, por sus ciclos de vida útil de 5, 10 y 20 años. Las rutas 4 y 2 presentan una necesidad de inversión inicial destacada, pero la 4 no incurre en costos de oportunidad de agua ni la 2 de energía; las inferencias que esa Bahía permite son importantes, pero no suficientes para elección.

En la Tab. 15 están presentados los totales de la Tab. 14 en dos pronósticos: el escenario 1 (E1), considerando el despilfarro de agua fría, y el escenario 2 (E2), sin ese evitable descarte:

#### Bahía 4 - Economicidades de las Rutas (20 Años)

Sistema de Calentamiento (r)	1- Resistencia	2 - SCS Convencional	3a - SCS de PVC	3b - SCS de PP	4 <sup>a</sup> - SHPS	4b - ASHP
<b>CUSTO TOTAL /</b> <b>(R\$)</b>	<b>E1</b> 57.850,48	37.431,00	29.043,70	29.194,42	44.552,84	49.749,85
	<b>E2</b> 57.850,48	36.990,36	28.603,06	28.753,78	44.552,84	49.749,85
<b>ECONOMICIDAD</b> $[(N_r \text{máx} - N_r)/(N_r \text{máx})],$ $r \text{máx} = 1.$	<b>E1</b> 0%	35%	50%	50%	23%	14%
	<b>E2</b> 0%	56%	102%	101%	30%	16%
<b>CUSTO DEL</b> <b>BAÑHO / (R\$)</b>	<b>E1</b> 0,67	0,43	0,34	0,34	0,52	0,58
	<b>E2</b> 0,67	0,43	0,33	0,33	0,52	0,58

Fuente: Elaboración de los autores.

Importa que las rutas 3a y 3b tienen costo de baño equiparable en los dos escenarios (haciendo la aproximación para dos casas decimales); la ruta 2 está detrás de ellas, por ≈ 10 centavos a cada calentamiento de agua de 6 minutos; pero, los costes de carbono (Tab. 15) son diferenciados, por lo que pueden se desempatar por sus contrastantes ecoeficiencias en lo que respecta la emisión de gas de efecto invernadero. En ese punto, la 2 supera la 3a y 3b y las rutas 4 y 1 son de órdenes de grandeza sucesivamente superiores.

A los costos finales hay que sumar los de CO<sub>2</sub> por baño (Tab. 16), aunque sea en primero acercamiento.

**Bahía 5 - Costo de CO<sub>2</sub> equivalente por Baño con la Actual Matriz Energética de Bahia / R\$**

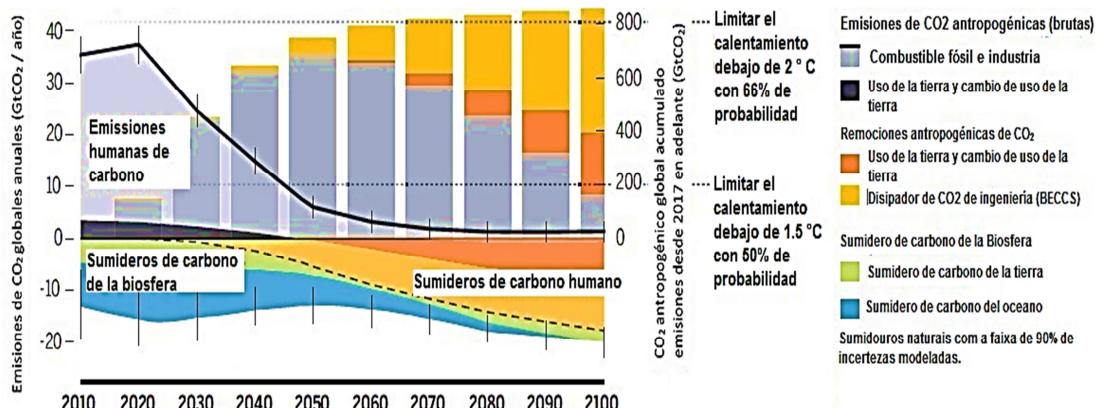
1- Resistencia	2 - SCS Convencional	3a - SCS de PVC	3b - SCS de PP	4 <sup>a</sup> - SHPS	4b - ASHP
1,39E-03	8,59E-05	9,28E-05	9,82E-05	4,86E-04	7,64E-04

Fuente: Elaboración de los autores.

Resulta que los costos efectivamente pagados por los consumidores de agua calentada son menores que los reales. Por supuesto lo son: no hay instrumentos de presupuesto público o privado de pago por todos los impactos. Así, uno podrá reprochar esa Tab. 16 como artificial, pues no hay una ley que la imponga a los baños en el Brasil. Esa es, posiblemente, la contribución de ese artículo, sumarse a los esfuerzos para cambiar tal manera de razonar. En la primera sesión fue tejida una crítica no exhaustiva, aunque lo merezca, de este paradigma común y peligroso. Está calcado en la minimización de coste inmediato, y orientado a hacer elecciones sin pesar bien su externalidad.

Un colectivo de investigadores del Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, Future Earth, The Royal Swedish Academy of Sciences, International Institute for Applied Systems Analysis, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Australian-German Climate and Energy College, School of Earth Sciences and University of Melbourne, en artículo de 2017 nombrado “A roadmap for rapid Decarbonization: Emissions inevitably approach zero with a ‘carbon law’” [29], enfatizaron la necesidad de una disciplina internacional de emisiones, incluso de las principales economías tropicales industrializadas como el Brasil, y su consecuencia fue proyectada hasta fin del siglo XXI (Fig. 14), con escenarios de 66% y 50% de probabilidad de alcance de calentamiento del planeta de 2°C y 1,5 °C, respectivamente, considerando todo el macrosistema ecológico y social.

**Figura 5 - Vía de descarbonización coherente con el Acuerdo de París** [29]



Obs.: Libre traducción de los autores.

Para estos centros de investigación, el escenario de "ley del carbono" de reducir a la mitad las emisiones cada década es ambicioso y depende de la elevación de los sumideros de carbono antropogénicos, de la ingeniería de captura y almacenamiento para estabilizar las temperaturas globales. Con semejante ley, adoptada ampliamente, se puede crear las condiciones esenciales de frontera económica para hacer del futuro de cero emisiones una inevitabilidad, en lugar de ilusiones, agregan ellos; e infieren: la eficiencia energética sólo reduciría las emisiones del 40 al 50% en alrededor de 2030, pero, entre los objetivos exequibles de Marrakech (metas basadas en ciencia) y los compromisos nacionales permanecen inconsistencias alarmantes; las tareas pueden incumplirse por el cortoplacismo y apatía política y el comportamiento imprevisible de las demandas y las ofertas.

**Tabla 6 - Costos Oficiales del Baño Somados al de Cumplimiento del Acuerdo de Paris (20 Años)**

Sistema de Calentamiento (N)	1- Resistencia	2 - SCS Convencional	3a - SCS de PVC	3b - SCS de PP	4 <sup>a</sup> - SHPS	4b - ASHP
CUSTO ECONÓMICO- ECOLÓGICO / (R\$)	E1	R\$ 0,68	R\$ 0,43	R\$ 0,34	R\$ 0,34	R\$ 0,52 R\$ 0,58
	E2	R\$ 0,68	R\$ 0,43	R\$ 0,33	R\$ 0,33	R\$ 0,52 R\$ 0,58

Fuente: Elaboración de los autores.

$$I_{EEr} = \left\{ w - \frac{(I_r)^{\frac{k}{\alpha}} + \sum_{n=1}^k [(C_o^r - C_o^{min})_n + O_{rn} + D_{rn} + C_{cr,n}]}{86400} \right\} w^{-1} \quad (4)$$

El algoritmo de la ecuación 4 expresa, como primera aproximación, un *Índice de Economicidad-Ecoeficiencia* de una ruta cualquiera  $r$ ,  $I_{EEr}$ , donde se relacionan los costes contables, los económicos (o de oportunidad) y los ambientales, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (pero hay otros más, incluso después del Ciclo de Vida de los sistemas), en que  $I_r$  es la inversión (adquisición y instalación del sistema), ponderada por la razón  $k/\alpha$  donde  $\alpha$  es el Ciclo de Vida (CV) de la tecnología  $r$ , en años ( $n$ ) y  $k$  es el CV de la ruta más duradera (SCS Convencional, determinante del límite superior del sumatorio);  $C_o^r$  es el costo operacional anual de  $r$ , en términos de agua y energía, subrayado del costo operacional de la alternativa tecnológica más barata,  $C_o^{min}$ , indicando su costo de oportunidad, que podría ser medido por sus usos alternativos;  $O_r$  y  $D_r$  son, respectivamente, las sumas de los costos y despilfarros anuales de agua y energía de la ruta  $r$ ; los costes anuales de créditos de carbono son  $C_{cr}$  que vinculan la demanda con la oferta de energía, considerando las porcentajes de las modalidades tecnológicas de la matriz de generación de la región y local<sup>[57]</sup>; por fin,  $w$  es el costo económico-ecológico del baño más caro (Tab. 17), generando la Tab. 18:

**Tabla 7 - Jerarquización per el Índice de Eficiencia Económico-Ecológico**

Sistema de Calentamiento (r)	1- Resistencia	2 – SCS-C	3a - SCS de PVC	3b - SCS de PP	4 <sup>a</sup> - SHPS	4b - ASHP
$I_{EEr}$	E1	0,00%	36,41%	<b>50,62%</b>	50,36%	23,78% 14,59%
	E2	0,00%	37,16%	<b>51,37%</b>	51,11%	23,78% 14,59%

Fuente: Elaboración de los autores.

Sin embargo la ecuación 4 esté calibrada por el perfil empíricamente dado de la familia, se puede cambiarla, alterando el denominador de la razón, que encarna el número de calentamientos anuales.

Por ese  $I_{EE}$  los empates económicos fueron dilucidados y la eficiencia se mezcló con las ecoeficiencias hídrica y energética, conectando oferta-demanda como un macrosistema ecológico con entradas y salidas conexas.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Consideradas las irradiaciones tropicales de los escenarios sobre los cuales este estudio se debruzó, más particularmente en el ambiente económico soleado del NE brasileño y, en su bojo, de la Bahia, la hipótesis inicial de que la economicidad no conforma un criterio suficiente, aunque relevante y imprescindible, para la toma de decisión de qué ruta tecnológica adoptar para calentar agua, está confirmada por dos razones: 1) la verificación experimental de unos costes de calentamiento equivalentes o cercanos, en hasta dos casas decimales y 2) porque las economías de los pagos de los demandantes finales no compensan los costos

agregados de las externalidades hídrica, energética y de emisiones de gases de efecto invernadero debidos a la oferta en el macrosistema ecológico.

Los despilfarros de agua de los SCS son evitables con medidas sencillas como 1) el aislamiento térmico de las tuberías conductoras del agua, mitigando la pérdida del calor; 2) la reservación del agua fría para otros usos domésticos; 3) un cambio de comportamiento de la familia, que puede pasar a hacer uso sucesivo del sistema, para que no tome tiempo hasta que el agua de la tubería se enfrié y, por fin, 4) con una pequeña bomba de circulación de agua, similar a que hay en los acuarios, de bajo costo y alimentada por energía fotovoltaica. Arrostrando esas soluciones, el escenario 2 no es un ejercicio abstracto o heroico, sino una posibilidad real y una necesidad. Todavía, el escenario 1 inspira inquietudes y ha sido un malo pronóstico de la elección de las rutas 2.

En lo que respecta a los créditos de carbono, aunque los precios de la tonelada sean hoy variables y los trópicos, incluso el Brasil, a menudo no los tengan regulados por ley, son contabilidades preocupantes día tras día, desde el Acuerdo de París. No se ha hecho acá la simulación de impactos con todo el espectro de precios recomendados por los especialistas del Banco Mundial, pero su sumatorio en dos décadas, en escalones mínimos, fue ya perturbadora: generó costos superiores a los pagos en efectivo por cada calentamiento y, todavía, hay más costes de externalidades a considerar, en una segunda aproximación, cuenta aquí ahorrada a otras investigaciones.

Al algoritmo dibujado, como prototipo de cálculo que relaciona costos contables, económicos y ambientales, tuve la finalidad de ser lo más sencillo y funcional posible, además, convergente con experimentos. Sus resultados son la expresión de los costos totales de calentamiento, cuando atendidas las metas de Marrakech. La jerarquización final, en orden decreciente de elección de los sistemas o rutas, considerando que esta incidirá no solamente en la cadena de la demanda, sino en un macromodelo con la oferta y la ecología (escenario 2), fue ésta:

- 1º) SCS de bajo costo de Policloreto de Vinilo, con  $I_{EEr} = 51,37\%$ ;
- 2º) SCS de Polipropileno, con  $I_{EEr} = 51,11\%$ ;
- 3º) Sistema de Calentamiento Solar (SCS) Convencional, con  $I_{EEr} = 37,16\%$ ;
- 4º) Solar Heat Pump Systems, con  $I_{EEr} = 23,78\%$  y
- 5º) Air-Source Heat Pump, con  $I_{EEr} = 14,59\%$ .

La ruta 1 quedó en último, con cero, por ser la elección energéticamente más ineficiente.

## REFERENCIAS<sup>11</sup>

- [1] - GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). **The entropy law and the economic process**. Cambridge: Harvard University Press.
- [2] - FURTADO, C. (1996). **O Mito do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Paz e Terra.
- [3] - ANDRADE, D. (2008). Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, (14): 1-31, ago.-dez.
- [4] - ROPKE, I. (2004). The early history of modern ecological economics. **Ecological Economics**, v. 50, p. 293-314.
- [5] - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. (2017). **Históricas da Operação - Geração de Energia**. Disponible en [http://www.ons.org.br/historico/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx). Consulted 14-04, 2017.

<sup>11</sup> Foi conservada a normatização das referências da publicação de destino, com fontes numeradas entre colchetes e ano de publicação entre parêntesis após o(s) nome(s) do(s) autor(es).

- [6] - PEREIRA, M.; DOS SANTOS, C. (2015). Protótipo de um sistema de aquecimento de água para população de baixa renda usando energia solar e elétrica, com reaproveitamento de calor. **ForScience**, v. 3, n. 2, p. 56-72.
- [7] - DE JONG, P. (2017). **Forecasting, integration, and storage of renewable energy generation in the Northeast of Brazil.** Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- [8] - DE JONG, P. (2013). **Economic, technical and environmental analysis of renewable and non-renewable electricity generation technologies in Brazil.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- [9] - DE JONG, P.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. (2015). Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 725-739.
- [10] - ACHÃO, C.; SCHAEFER, R. (2004). Energia e classes de renda no Brasil: um retrato do consumo no setor residencial. In: **X Congresso Brasileiro de Energia**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ-SBPE-CE.
- [11] - DE SOUZA, L.; BEZERRA, J. (2000). Sistema Alternativo de Aquecimento Solar. **Anais**, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Brasil, Natal, RN.
- [12] - BOSCOLI, M. (2010). **Usuários de habitação de interesse social e adoção de sistema de aquecimento solar de água:** estudo de caso em Londrina-PR. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- [13] - STERN, N. (2007). The Economics of Climate Change, **The Stern Review**. Cambridge University Press, Cambridge.
- [14] - ROCKSTRÖM, J. et al. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, In Press 14th September.
- [15] - ROCKSTRÖM, J. et al. (2009). A safe operating space for humanity. **Nature**, vol 461 (24), September.
- [16] - WORKING GROUP ON THE 'ANTHROPOCENE' (WGA). (2009). **What is the 'Anthropocene'?:** current definition and status. Publicado en 2009. Disponible en: <http://quaternary.stratigraphy.org/workinggroups/anthropocene/>. Consulted 7-8, 2017.
- [17] - CORNELL, S. (2009). Response to Rockström et al. (Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity): On the System Properties of the Planetary Boundaries. **Ecology and Society** 17(1): r2.
- [18] - MORRIS, S.; GOLDSTEIN, G.; FTHENAKIS, V. (2002). NEMS and MARKAL-MACRO Models for Energy-Environmental-Economic Analysis: A Comparison of the Electricity and Carbon Reduction Projections. **Environmental Modeling & Assessment**, September, Volume 7, Issue 3, pp. 207–216.
- [19] - MURPHY, R.; JACCARD, M. (2011). Energy efficiency and the cost of GHG abatement: A comparison of bottom-up and hybrid models for the US. **Energy policy**, v. 39, n. 11, p. 7146-7155.
- [20] - RÜCKERT, F. (2015). **O ambientalismo em três escalas de análise.** Cadernos IHU. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- [21] - SAFONOV, P.; COMAR, V.; ORTEGA, E. (s.d.). **Modelagem do Brasil:** cenários para o desenvolvimento. UNICAMP. Disponible en: [www.unicamp.br/fea/ortega/livro/c06-brasil-sco.pdf](http://www.unicamp.br/fea/ortega/livro/c06-brasil-sco.pdf). Consulted 10-9, 2017.
- [22] - SARICA, K.; TYNER, W. (2016). Economic impacts of increased US exports of natural gas: An energy system perspective. **Energies**, v. 9, n. 6, p. 401.
- [23] - SARICA, K.; TYNER, W. (2013). Alternative policy impacts on US GHG emissions and energy security: a hybrid modeling approach. **Energy Economics**, v. 40, p. 40-50.
- [24] - TRAYNOR, G. et al. (1989). **Macromodel for assessing residential concentrations of combustion-generated pollutants:** Model development and preliminary predictions for CO, NO<sub>x</sub>, and respirable suspended particles. Lawrence Berkeley Lab., CA (USA).
- [25] - KO, F. et al. (2010). Long-term CO<sub>2</sub> emissions reduction target and scenarios of power sector in Taiwan. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 288-300.
- [26] - WENYING, C. (2005). The costs of mitigating carbon emissions in China: findings from China Markal-Macro modeling. **Energy Policy**, Vol.33(7), pp.885-896.
- [27] - RICARDO, D. (1965). Princípios de economia política e de tributação. Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [28] - STEFFEN, W.; CRUTZEN, P.; MCNEILL, J. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? **Ambio**, 36, 614-621.

- [29] - ROCKSTROM et all. (2017). A roadmap for rapid Decarbonization: Emissions inevitably approach zero with a “carbon law”. *Science*, march, vol 355.
- [30] - BAHIA. Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba). (2017). **Tabela de Tarifa e Preço Final de Energia Elétrica**. Resolução 2.222 de 22 de abril de 2017.
- [31] - BAHIA. Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (Embasa). (2017). **Tarifas**. Disponível em: <http://www.embasa.ba.gov.br/centralservicos/index.php/tarifas>. Acesso em: 06 jul. 2017.
- [32] - PEREIRA, E.; MARTINS, F.; ABREU, S.; RÜTHER, R. (2006). **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE.
- [33] - IMPERIAL, L.; PEREIRA, O. (2014). Análise do potencial do recurso solar na Bahia a partir de software de informação geográfica baseado na web. V Congresso Brasileiro de Energia Solar (V CBENS), **Anais**, Recife/PE.
- [34] - CENTRO INCUBADOR DE EMPRESAS TECNOLÓGICAS - CIETEC. (2009). **Manual de Instrução de Manufatura e Instalação Experimental do Aquecedor Solar de Baixo Custo**. São Paulo: CIETEC.
- [35] - SÃO PAULO. (2017). Universidade de São Paulo - USP. **CIETEC Incubadora de Empresas Tecnológicas – São Paulo**. Disponível em: <http://www5.usp.br/servicos/incubadora-de-empresas-tecnologicas-sao-paulo/>. Acesso: 06 ago. 2017.
- [36] - JURADO, D. (2004). **Modelagem dinâmica de um sistema solar termo-sifão usando coletores atmosféricos de plástico**. Dissertação (Mestrado) - FEMEC-UFU, Uberlândia.
- [37] - KIM, M.; KIM, MS.; CHUNG, JD. (2004). Transient thermal behavior of a water heater system driven by a heat pump. **International Journal of Refrigeration**, 27:415–21
- [38] - HEPBASLI, A.; KALINCI, Y. (2009). A review of heat pump water heating systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13, 1211–1229.
- [39] - CHOW, T.T.; FONG, K.F.; PEI, G.; JI, J.; HE, M. (2010). Potential use of photovoltaic-integrated solar heat pump system in Hong Kong. **Applied Thermal Engineering**, Vol. 30(8), pp.1066-1072.
- [40] - LAIPRADIT, P.; TAINSUWAN, J.; KIATSIRIROAT, T.; AYE, L. (2008). Theoretical performance analysis of heat pump water heaters using carbon dioxide as refrigerant. **International Journal of Energy Research**, 32:356–66.
- [41] - LU AYE, W.; CHARTERS, S.; CHAICHANA, C. (2002). Solar Heat Pump Systems for Domestic Hot Water. **Solar Energy** Vol. 73, No. 3, pp. 169–175.
- [42] - ZHANG, J.; WANG, RZ; WU, JY. (2007). System optimization and experimental research on air source heat pump water heater. **Applied Thermal Engineering**, 27:1029–35.
- [43] - SIQUEIRA, D. (2009). **Estudo de desempenho do Aquecedor Solar de Baixo Custo**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- [44] - JELLY FISH. (2017). **Energia Solar – Solar Banho**. Disponível en <http://jellyfish.com.br/produtos/produtos-energia-solar/produto-solar-banho/>. Consulted 7-8, 2017.
- [45] - JELLY FISH. (2017). **Bombas de Calor – Hot 55/70 (Banho)**. Disponível en <http://jellyfish.com.br/produtos/produtos-energia-solar/produto-solar-banho/>. Consulted 7-8, 2017.
- [46] - SOLICLIMA. (2017). **Heat Pump**. Disponibile en: [http://www.soliclima.com/en/heat\\_pump.htm](http://www.soliclima.com/en/heat_pump.htm) Consulted 7-8, 2017.
- [47] - SOLETROL. (2017). **Aquecedor Solar**. Disponible en <http://www.soletrol.com.br/produtos/> Consulted 7-8, 2017.
- [48] - ANDERSON FLOOR WARMING AND RENEWABLES. (2017). **Air source heat pumps**. Disponible en <http://www.andersonfloorwarming.co.uk/heating/heat-pumps/air-source-heat-pumps/> Consulted 7-8, 2017.
- [49] - NIBE Energy Systems. (2017). **Air Source Heat Pumps**. Disponible en <http://www.nibe.co.uk/> Consulted 7-8, 2017.
- [50] - DIMPLEX. (2017). **Detalles técnicos**: Bomba de calor. Disponible en <http://www.dimplex.de/es/profesional/detalles-tecnicos/bombas-de-calor/el-funcionamiento-de-una-bomba-de-calor.html> Consulted 7-8, 2017.
- [51] - DIMPLEX. (2017). **La bomba de calor reversible**. Disponible en <http://www.dimplex.de/animationen/kreislauf2.php?lang=es> Consulted 7-8, 2017
- [52] - BORGES, T. (2009). **Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- [53] - LIMA, J. (2003). **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [54] - MIRANDA, M. (2012). **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil:** implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- [55] - CHIARETTI, D. (2017). **Preço do carbono tem de saltar para cumprir acordo do clima, diz estudo.** Valor Econômico. Edición 29 mayo 2017. Disponible en <http://www.valor.com.br/internacional/4984338/preco-do-carbono-tem-de-saltar-para-cumprir-acordo-do-climadiz-estudo> Consulted 21-9., 2017.
- [56] - SEQUESTRAR CARBONO. (2017). **O Mercado de Carbono no Mundo – Preço do CO<sub>2</sub> – Credito de Carbono.** Disponible en <https://sequestrarcarbono.com/2017/03/22/o-mercado-de-carbono-no-mundo-preco-do-co2/>. Consulted 21-9, 2017.
- [57] - DINATO, R. M. et al. Influência da matriz elétrica na adaptação de inventários de ciclo de vida para o cenário brasileiro. **Anais**, IV Congresso Brasileiro Sobre Gestão pelo Ciclo de Vida, São Bernardo do Campo – SP, Brasil, novembro de 2014.