



Centro Regional Universitario de Colón, Universidad de Panamá



REVISTA

COLÓN
CIENCIAS
TECNOLOGÍA
NEGOCIOS



ISSN L: 2313-7819

Publicación Semestral
Volumen 9 número 2
Julio – Diciembre 2022

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



REVISTA

COLÓN CIENCIAS,

TECNOLOGÍA Y NEGOCIOS



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Eduardo Flores Castro
Rector

Dr. José Emilio Moreno
Vicerrector Académico

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
Vicerrector de Investigación y Postgrado

Mgtr. Arnold Muñoz
Vicerrector Administrativo

Mgtr. Ricardo Him Chi
Vicerrector de Extensión

Mgtr. Mayanín Rodríguez
Vicerrectora de Asuntos Estudiantiles

Mgtr. Ricardo A. Parker D.
Secretario General

Mgtr. José Luis Solís
Director General de los Centros Regionales, Extensiones Universitarias y Anexos

Dr. Víctor Javier Alexis
Director del Centro Regional Universitario de Colón

Dr. Cecilio Víctor Cobham
Subdirector del Centro Regional Universitario de Colón

EQUIPO EDITORIAL

EDITOR

Dr. Carlos Manuel Gómez Rudy
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón, Panamá
carlos.gomezr@up.ac.pa

CONSEJO EDITORIAL

Alfredo Lanuza Garay – Editor Temático
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón
alfredo.lanusa@up.ac.pa

Mónica Contreras – Editor Temático
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón
monica.contreras@up.ac.pa

Guadalupe Martínez Berrío – Editor Temático
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón
guadalupe.mdeberrio@up.ac.pa

Yara Fiengo
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Coclé
yara.fiengo@up.ac.pa

Vera de la Cruz – Editor Temático
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón
vera.delacruz@up.ac.pa

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Dr. Andrés Jerónimo Arenas Falótico
Universidad de Nebrija, España

Dra. Jéssica Bayón Pérez
Universidad de Nebrija, España

Dr. Daniel Jiménez Montero
Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



Dr. Carlos Alberto Rodríguez Romero
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Dr. Edison Jain Duque Oliva
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Dra. Claudia Alexandra Garzón Santos
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Dra. Mónica Colin Salgado
Universidad Externado de Colombia, Colombia

Dr. José Guadalupe Vargas Hernández
Universidad de Guadalajara, México

COMITÉ CIENTÍFICO NACIONAL

Dr. Práxedes Antonio Torres Ortega
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

Dr. Olmedo Estrada
Universidad Latina de Panamá, Panamá

Dr. Francisco Farnum Castro
Universidad de Panamá, Panamá

EQUIPO TÉCNICO

Vielka Murillo - Marcación AmeliCA
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón

Maleyka Carson - Marcación OJS
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón

Dalys Anabel Tamayo – Traducción y Revisión Técnica
Universidad Especializada de Las Américas, Panamá, Departamento de Lenguas

Tabla de contenido

Editorial	vii
1 Análisis de las importaciones de vinos a Panamá y oportunidades de negocios (<i>Analysis of the wine imports to Panama and business opportunities</i>) Raúl De Gracia Harrison Avelino Cevallos	1 – 14
2 Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica (<i>Phytoremediation as an alternative to remove heavy metals from soil: A theoretical review</i>) Jefferson J. Velásquez García Hugo M. Cobeña Navarrete	15 – 31
3 La mejora de la rentabilidad mediante el control de inventario (<i>The improvement of profitability through inventory control</i>) Irwing Alfredo Córdova Rojas Larco Efraín Manguinuri Manihuari Santos Alberto Farfán Peña Rafael Romero-Carazas	32 – 48
4 Sistemas de información móvil para mejorar la calidad del software en Panamá: Aportes y desafíos (<i>Mobile information systems to improve software quality in Panama: Contributions and challenges</i>) Roberto Daniel Gordón Graell	49 – 68
5 Modelación del flujo de microplásticos y la interacción de contaminantes químicos orgánicos en sistemas acuáticos (<i>Modeling microplastics flow and interaction of organic chemical pollutants in aquatic systems</i>) Peter Leonel Vera Bravo Rosa Alexandra Córdova Mosquera Ernesto Alonso Rosero Delgado	69 – 91



Editorial

La Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios presenta el segundo número de su volumen 9 para el semestre comprendido entre julio a diciembre 2022. En esta edición se incorporan cinco (5) artículos de carácter científico los cuales han sido revisados por el Comité Editorial y sometido a un proceso de arbitraje.

El primer artículo “Análisis de las importaciones de vino a Panamá y oportunidades de negocios” proporciona un análisis sobre el comportamiento de las importaciones emergentes de este producto mediante tres partidas arancelarias mediante diferentes indicadores y las oportunidades de negocios al potenciar la plataforma logística y comercial del país. El siguiente artículo examina algunos mecanismos para la mitigación de la contaminación de suelos por metales pesados por medio de la fitorremediación, considerada como una alternativa natural que utiliza especies vegetales con capacidad para influir positivamente ante las afectaciones de los suelos.

El tercer artículo titulado “La mejora de la rentabilidad mediante el control de inventario” evalúa el grado de influencia del control de inventario en la rentabilidad, aplicado a un caso de estudio, y con ello determinar si los mecanismos de control influyen positivamente en los rendimientos financieros de la empresa. Con un enfoque de orientación tecnológica y mediante una revisión sistemática, el siguiente artículo examina la calidad del funcionamiento de los sistemas de información móviles en Panamá. Su principal conclusión señala que la actual estructura no alcanza la cobertura nacional de los requerimientos de los sistemas móviles de información para un servicio de calidad.

El quinto artículo “Modelación del flujo de microplásticos y la interacción de contaminantes químicos orgánicos en sistemas acuáticos” realiza una revisión del conocimiento actual con respecto a la posible interacción entre los contaminantes químicos orgánicos persistentes y microplásticos presentes en sistemas y organismos acuáticos, así como los flujos que toman estas micropartículas en los cuerpos de agua. El estudio se aborda con revisión sistemática de la producción científica entre 2012 a 2020, para identificar los modelos matemáticos que explica estos flujos y su interacción en sistemas acuáticos. El mismo concluye indicando que la

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



información encontrada sobre la validación de tales modelos es limitada y se requiere mayor trabajo de experimental sobre la interacción en los ecosistemas involucrados.

Esta edición incorpora tres contribuciones de autores extranjeros, principalmente afiliados a instituciones académicas de Perú y Ecuador. En adición, un artículo representa los resultados de una investigación de autores panameños de la Universidad Tecnológica de Panamá, mientras que un aporte final es producto de una publicación de un docente del Centro Regional Universitario de Panamá Oeste de la Universidad de Panamá.

La revista se encuentra indexada en Latindex 2.0 y AmeliCA, y en las bases de datos de ROAD y MIAR. Es el interés del Equipo Editorial avanzar hacia otros índices como Redalyc y SciELO, y ampliar la presencia en otras bases de datos como DOAJ, REDIB y Dialnet.

Esperamos que este número de la Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios sea su interés e invite a nuevos autores a compartir los resultados de sus investigaciones mediante el sometimiento de sus manuscritos.

Dr. Carlos Manuel Gómez Rudy

Editor en Jefe

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



La Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios se edita bajo licencia
Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)



Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios
Universidad de Panamá
Centro Regional Universitario de Colón
revista.cctn@up.ac.pa



Análisis de las importaciones de vino a Panamá y oportunidades de negocios

Analysis of wine imports to Panama and business opportunities

Raúl De Gracia Harrison¹, Avelino Cevallos²

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Industrial, Departamento de Estadística y Economía, Panamá. raul.degracia1@utp.ac.pa ORCID: 0000-0003-0372-0727

² Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Programa de Maestría en Administración de Proyectos de Construcción. avelino.cevallos@utp.ac.pa ORCID: 0000-0002-6426-5580

Resumen

La República de Panamá cuenta con una ventaja especial que es su posición geográfica que promueve el comercio internacional y la explotación de las cadenas de suministros. Adicionalmente, que posee activos logísticos que ofrecen ventajas comparativas tales como el Canal de Panamá, la Zona Libre de Colón, el Centro Bancario, el uso del dólar como moneda de curso legal, los puertos marítimos en el Pacífico como en el Atlántico, el Aeropuerto Internacional de Tocumen, la red de telecomunicaciones, entre otros. Tomando en consideración estos factores, el objetivo del trabajo es analizar el comportamiento de las importaciones de vino de uvas frescas, básicamente en tres (3) partidas arancelarias, que son las principales en el país, que permita identificar su evolución, tanto en cantidades como en valores monetarios, y a su vez su tendencia en el mercado panameño, considerando el papel que asume la Zona Libre de Colón (ZLC) como factor de comercio hacia y desde Panamá. Para ello, se revisaron varios artículos científicos relacionados al tema, se navegaron en páginas web del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) que permitieron elaborar cuadros y gráficos sobre el comportamiento del producto y realizar los análisis comparativos y descriptivos. Por último, se concluyó que, con la vigencia y el aprovechamiento de los beneficios en la reducción arancelaria de los Tratados de Libre Comercio con Chile y con España, principales mercados de procedencia del producto, la



tendencia es creciente en las partidas arancelarias 2204, 2205 y 2206, que permiten, a su vez, que se puedan reexportar a otros destinos y explotar oportunidades de negocios por parte de intermediarios y pequeños empresarios, por tener bajas barreras a la entrada.

Palabras clave: Comercio internacional; descripción arancelaria; valor de las importaciones; vino de uvas frescas; Zona Libre de Colón.

Abstract

The Republic of Panama has a particular advantage: its geographical position that promotes international trade and the exploitation of the global supply chain. Additionally, it has assets that offer comparative advantages, such as The Panama Canal, the Colon Free Zone, the Banking Center, the use of the dollar as legal tender, the seaports in the Pacific and the Atlantic, the Tocumen International Airport, telecommunications network, among others. This work aimed to analyze the behavior of fresh grape wine imports, basically in three main (3) tariff headings in our country, identified by its evolution, both quantities and monetary values, and turn its trend in the Panamanian market. It was considering the role assumed by the Colon Free Zone as a factor of trade to and from Panama. Several scientific articles related to the subject were reviewed, and web pages of the National Institute of Statistics and Census (INEC) were browsed, which allowed the elaboration of tables and graphs on the product's behavior and to carry out comparative and descriptive analyses. Finally, with the validity and use of the benefits in the tariff reduction of the Free Trade Agreements with Chile and Spain, the main markets of origin of the product, the trend is growing in the tariff headings: 2204, 2205, and 2206, which in turn allow them to be re-exported to other destinations and exploit business opportunities.

Keywords: International trade, tariff description; the value of imports; fresh grape wine; Colon Free Zone.

Introducción

Panamá es un país que mantiene una posición geográfica, que le permite una ventaja competitiva y comparativa, en la cual puede desarrollar actividades logísticas en múltiples rutas y destinos alrededor del mundo.

Un país que ha establecido una política comercial enfocada a la apertura se permite, sin duda alguna, contar con acceso a materia prima y a bienes finales a menores niveles de precios, con ello, habría que evaluar los efectos que cada país experimentaría frente al escenario, de tal forma que, no todos estarían en la posición de experimentar el hecho de igual manera con el mismo impacto en todos los sectores productivos y/o económicos (Coppelli, 2019).

De acuerdo con Arnoldi (2019), a partir del siglo XXI, el comercio internacional ha experimentado un crecimiento importante, debido a la interconexión, que se pueden sustentar, porque los países han manifestado la importancia de alinearse a los preceptos de la Organización Mundial del Comercio (OMC) en la reducción de las barreras al comercio y fomentar la facilitación del mismo.

Paralelamente a lo esbozado, la economía mundial, en el segundo semestre de 2019, registró números positivos de crecimiento, fundamentalmente en los países más avanzados, que fue interrumpido por la pandemia del COVID-19 (Estudios y Evaluación Política Comercial, 2020).

Cabe destacar, que el comercio internacional es una condición de interdependencia entre los países, debido a que la oferta exportable de un país que suple las necesidades de un tercero por distintas razones, por ejemplo: que no tenga la capacidad productiva de abastecer en su totalidad su mercado doméstico, que no cuente con los recursos tecnológicos, naturales, humanos, entre otros factores, para producir el bien que demande el mercado nacional.

Conviene enfatizar que los países han fomentado, como política comercial, distintas manifestaciones de aperturas comerciales dirigidas a promover acuerdos comerciales, materializados en: el comercio bilateral, el plurilateral y el multilateral bajo los principios de la



OMC, que se han traducido en impactos positivos para las economías en términos globales (Machado Espinosa et al., 2019).

Por el contrario, la apertura al comercio internacional también puede derivar en efectos negativos a la política económica esperada. En primer lugar, una forma de visualizarlo es la desgravación arancelaria de productos importados que al final reducen la recaudación del tributo o impuesto de introducción. En segundo lugar, la apertura en sí misma, puede impactar a las industrias nacientes, a desplazar posiciones laborales directas e indirectas, y a la reducción de los niveles salariales (Frohmann et al., 2020).

Los impactos positivos y/o negativos que generen la apertura comercial en cada país dependerá de los efectos estáticos, que se resumen en la creación del comercio y la desviación del comercio que, en realidad, cada país tiene un grado de control del volumen de importaciones y de cierta medida también de las exportaciones (González y Martínez, 2018).

Por lo tanto, la aprobación, por parte de los países Miembros de la OMC, del Acuerdo de Facilitación del Comercio, se ha promovido la evolución del mismo, a través de: la tecnología, la ampliación y la modernización de los medios de transportes de mercancías y de pasajeros, la mejora en los sistemas de comunicación, el aumento de la demanda de bienes y de servicios, más allá del aumento vegetativo de la población mundial, al igual que los cambios en las manifestaciones de las estructuras productivas en el mundo (Guayasamín Segovia et al., 2019).

Urmeneta (2021) afirma que los países más grandes de la región de América Latina y el Caribe, que por consiguiente cuentan con un mercado interno mayor, las empresas importadoras superan a las exportadoras, pero en menor proporción que las economías más pequeñas.

Al mismo tiempo, si se aprecia la relación comercial entre la Unión Europea y América Latina y el Caribe, se han celebrado acuerdos comerciales preferenciales, que también se incluyen Tratados de Libre Comercio con: México, Chile, Ecuador, Perú, Centroamérica, Panamá, entre otros, que suman un total de 26 de 33 países del hemisferio (De La Mora Sánchez, 2019).

De la misma manera, con el aumento de las negociaciones y de la entrada en vigencia de los Tratados de Libre Comercio en América Latina y el Caribe, se han establecido estudios de impactos sobre sectores económicos que generan cadenas de valor, tanto a nivel nacional como a nivel regional; y los efectos en la gobernanza global del comercio y de la inversión, que se resumen en la creación del comercio, a partir del flujo de las Inversiones Extranjeras Directas (IED) emanadas de los acuerdos comerciales (Saguier & Ghiotto, 2018).

Las importaciones de vino de uvas frescas en Panamá se pueden resumir en el registro de tres partidas arancelarias con mayor movimiento, que se encuentran en el rubro de bebidas y alimentos. En el mismo, se encuentran los vinos de uvas frescas, vermouths y otras categorías.

El presente estudio analiza la hipótesis que el comportamiento de las importaciones de vinos de uvas frescas, que se concentra, principalmente, en la partida 22.04 mantiene una tendencia creciente, por lo que permite promover oportunidades de negocios tanto a importadores y como a pequeñas empresas establecidas como a pequeñas empresas nacientes.

Metodología

La presente investigación es de tipo descriptiva y cuantitativa, debido al nivel de evaluación del comportamiento de las importaciones de vinos en Panamá, y tomando en consideración sus principales países de procedencia, cuyo factor principal son los incentivos que ofrece el mercado panameño con preferencias arancelarias.

Se consultaron las estadísticas de importaciones de las tres (3) partidas arancelarias: 22.04, 22.05, y 22.06 para los años 2014 al 2019. Las mismas, fueron compiladas, a partir del INEC, por su carácter gubernamental e institucional, que representan datos oficiales de la República de Panamá, con la mejor información disponible para la manipulación y manejo de estos.

Los datos en mención permitieron la elaboración de tablas y figuras ilustrativas, que permitan el análisis, que deriven en resultados, objeto de llegar a conclusiones que respondan a la hipótesis de la investigación.

Para la manipulación de los datos y para los análisis que se deriven del mismo se utilizó el Microsoft Office Excel.

Resultados

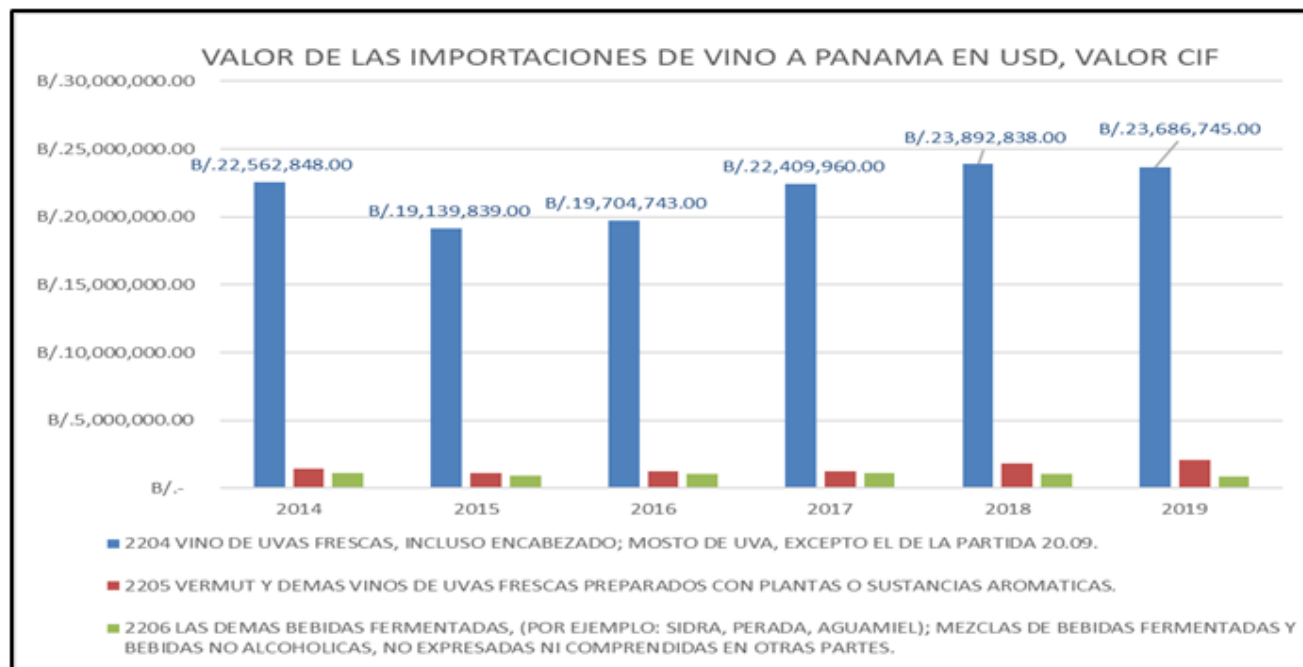
El comportamiento de las importaciones de vino

Las importaciones de vino de uvas frescas en Panamá, como un punto relevante en la investigación, se fundamentan, mayormente, en las siguientes partidas arancelarias. En primer lugar, la 22.04 que se refiere al vino de uvas frescas, incluso encabezado; mosto de uva, excepto el de la partida. En segundo lugar, la 22.05 resumida con el vermut y demás vinos de uvas frescas preparados con plantas o sustancias aromáticas). Finalmente, con el 22.06, expresado como las demás bebidas fermentadas, por ejemplo: sidra, perada, aguamiel; mezclas de bebidas fermentadas y bebidas no alcohólicas, no expresadas ni comprendidas en otras partes (MEF, 2013).

En la Figura 1 se aprecia que la partida arancelaria de vino proveniente de uvas frescas 22.04, es la que se ha mostrado dominante y la que es más consumida y por ende más importada, principalmente porque tiene el mayor volumen de importación. El volumen de importación de esta partida ha sido de un 5% en el mismo periodo de tiempo el cual es muy similar a la tasa de crecimiento de las importaciones totales (INEC, 2020).

Figura 1

Valor de importación a Panamá de las principales partidas arancelarias de vino desde el 2014 hasta el 2019



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (2020)

La partida 22.04 presentó un crecimiento en tres (3) años consecutivos: 2017, 2018 y 2019, y en el año 2015 registró una reducción, comparado con el 2014.

Por otro lado, en la partida 22.05 durante los años 2014 a 2019 se presenta un crecimiento, considerablemente, de un 45% con un valor de importación de dos millones de balboas en el año 2019. Por último, el volumen de importaciones de la partida 22.06, decrece a lo largo del período estudiado, con un 23%, con un valor de B/.854,229 en el año 2019.

En la partida 22.04, que es la de mayor valor de importación en el período, se puede indicar que el máximo valor importado es de B/.23,892,838.00 y el mínimo de B/.4,265,119.00,

con una media de B/.13,393,278.52 y una mediana de B/.13,159,036.00, y con una desviación estándar de B/.7,173,470.83.

Del cálculo del primer cuartil vemos que menos del 25% de los años se ha importado hasta B/.6,336,789 y que del cálculo del tercer cuartil menos del 75% de los años se ha importado hasta B/.20,434,111, lo que refleja un aumento.

Tabla 1

Importación a Panamá según descripción arancelaria en el año 2019

IMPORTACIÓN A PANAMÁ SEGÚN DESCRIPCIÓN ARANCELARIA Y PAÍS DE ORIGEN					
DESCRIPCIÓN ARANCELARIA Y PAÍS DE ORIGEN		AÑO: 2019			
		PESO (EN KILOS)		VALOR CIF (EN BALBOAS)	IMPUESTO TRAMITADO (EN BALBOAS)
		NETO	BRUTO		
2204	VINO DE UVA S FRESCA S, INCLUSO ENCABEZADO; MOSTO DE UVA, EXCEPTO EL DE LA PARTIDA 20.09.	5,093,189	10,186,378	23,686,745	3,330,560
2205	VERMUT Y DEMAS VINDOS DE UVA S FRESCA S PREPARADOS CON PLANTAS O SUSTANCIAS AROMATICAS.	804,089	1,608,178	2,114,249	210,011
2206	LAS DEMAS BEBIDAS FERMENTADAS, (POR EJEMPLO: SIDRA, PERRA DA, A GUAMIEL); MEZCLAS DE BEBIDAS FERMENTADAS Y BEBIDAS NO ALCOHOLICAS, NO EXPRESADAS NI COMPRENDIDAS EN OTRAS PARTES.	438,229	876,458	854,229	114,466

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (2020)

La Tabla 1 concentra el peso neto, el peso bruto, el valor CIF y el impuesto cobrado por la importación de vino en el año 2019, el cual fue el último año completo previo a la pandemia del

COVID-19 en el 2020. Lo recaudado en impuestos de la importación de vino es alrededor de B/.3,655,037 en el año 2019.

En la Tabla 2, que se refieren a la importación de vino en el 2019, presenta los principales países de procedencia de los vinos que se introducen en el mercado panameño. Algunos vinos ingresan a través de la Zona Libre de Colón y, desde ese punto geográfico estratégico, se nacionaliza la carga.

Tabla 2

Principales países importadores de vino a Panamá por valor en 2019

Pais	VALOR CIF (EN BALBOAS)	% de Mercado en 2019, por Valor
España	B/. 6,362,454.00	24%
Chile	B/. 6,179,241.00	23%
Estados Unidos de América	B/. 3,571,675.00	13%
Francia	B/. 3,152,393.00	12%
Italia	B/. 2,411,645.00	9%
Almacenes de Depósito	B/. 2,254,175.00	8%
Zona Libre de Colón (Panamá)	B/. 1,319,172.00	5%
Otros	B/. 1,404,468.00	5%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (2020)

Es necesario subrayar que la Zona Libre de Colón es una Zona Económica Especial, y es considerada una zona no aduanera con almacenes de depósito para el despacho internacional de mercancía y para la nacionalización de la carga, una vez se paguen los impuestos de introducción para ingresar al mercado doméstico (ZLC, 2016).

Reparto del mercado panameño, según país de procedencia del vino de uvas frescas

La importación de vino se puede dividir, según su valor y según su peso, pero también se puede agrupar dependiendo del país de procedencia. Para ello, las Tablas 3 y 4 se aprecian los países que más abastecen el mercado panameño del producto.

Tabla 3

Principales países importadores de vino a Panamá por peso en 2019

País	Peso Bruto (kilos)	% de Mercado en 2019, por peso
Chile	4,505,600	36%
España	3,216,336	25%
Estados Unidos de América	1,328,510	10%
Italia	1,097,918	9%
Almacenes de Depósito (Panamá)	770,890	6%
Francia	589,494	5%
Zona Libre de Colón (Panamá)	397,230	3%
Argentina	340,166	3%
Otros	424,870	3%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (2020)

En la Tabla 3, los países más importantes son: España, Chile, Estados Unidos de América, Francia e Italia son los que exportaron la mayor cantidad de vino de uvas frescas a Panamá, con un 81% de valor total.

En ese sentido, Chile es el país que mayor cantidad de vino exportó a Panamá en el año 2019. En segundo lugar fue España. De ahí en adelante fueron Estados Unidos de América e Italia. El vino de uvas frescas importado con mayor valor CIF y con mayor peso en kilos, según la Tabla 54, es el francés. Este tiene un valor de B/ 5.35 por kilo. Cabe destacar que en la

segunda posición en término de volumen se encuentra el vino que ingresa a través de la Zona Libre de Colón.

Tabla 4

Valor por peso de cada vino importado de cada país en el 2019

Pais	VALOR CIF (EN BALBOAS)	Peso (kilos)	Valor por peso (B/ por kilo)
Francia	B/. 3,152,393.00	589,494	B/. 5.35
Zona Libre de Colón (Panamá)	B/. 1,319,172.00	397,230	B/. 3.32
Almacenes de Depósito (Panamá)	B/. 2,254,175.00	770,890	B/. 2.92
Estados Unidos de América	B/. 3,571,675.00	1,328,510	B/. 2.69
Italia	B/. 2,411,645.00	1,097,918	B/. 2.20
España	B/. 6,362,454.00	3,216,336	B/. 1.98
Chile	B/. 6,179,241.00	4,505,600	B/. 1.37

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (2020)

Conclusiones

El análisis expuesto, permite inferir que la partida 22.04 presentó estadísticas del valor de las importaciones de vino de uvas frescas con un crecimiento en los años 2017, 2018 y 2019, lo que demuestra que el mercado del producto bajo descripción tiene un comportamiento creciente por tener una baja barrera a la entrada.

Los resultados derivados también han permitido conocer que la hipótesis que el comportamiento de las importaciones de vinos de uvas frescas, que se concentra en partida 22.04 mantiene una tendencia creciente, se confirma, además, permite promover oportunidades de

negocios a importadores y a pequeñas empresas, por ser un producto con bajas barreras a la entrada con una dinámica de ofrecer, mayormente, en períodos de estacionalidad de la demanda.

De acuerdo con lo descrito, los cinco (5) principales países exportadores, mantienen un acuerdo comercial vigente con Panamá, lo que refuerza la baja barrera a la entrada del vino de uvas frescas para comercializarse en el mercado doméstico.

Es evidente una tendencia al incremento de la importación de vino de uvas frescas en Panamá, y se puede inferir que ese aumento continuará en el tiempo, ya que hay incentivos para su importación, sin mayores restricciones para su demanda a los intermediarios, ni a los consumidores finales. Por tal razón, pequeñas empresas y nuevos importadores, se interesen en participar en el mercado del vino de uvas frescas, donde hay: bajas barreras a la entrada, libre concurrencia económica y libre competencia.

Referencias Bibliográficas

Arnoldi, P. (2019). Cambios en las dinámicas de control del Comercio Internacional. *Revista Integración y Cooperación Internacional*, 29, 14–29. <https://doi.org/10.35305/revistamici.v0i29.16>

Coppelli, G. (2019). Entre el libre comercio y el proteccionismo. Impacto de los obstáculos sobre la equidad en el comercio en el marco de la Agenda 2030. *Anuario Español de Derecho Internacional*, 35, 333–371. <https://doi.org/10.15581/010.35.333-371>

De La Mora Sánchez, L.M. (2019). *Hacia dónde se dirige el régimen de comercio internacional y sus implicaciones para América Latina*. Documentos de proyectos, CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/43621>

Estudios y Evaluación Política Comercial, S. G. (2020). El comercio exterior ante los retos de 2020. *Boletín Económico de ICE*, 3121. <https://doi.org/10.32796/bice.2020.3121.6983>



- Frohmann, A., Mulder, N. y Olmos, X. (2020). *Incentivos a la sostenibilidad en el comercio internacional*. Documentos de proyectos, CEPAL, 176.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46604/1/S2000778_es.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censo – INEC. (2020). *Importación a La República de Panamá a través de los Tratados de Libre Comercio. Por cantidad, peso y valor, según descripción arancelaria y país de origen: Año 2019*.
- González, C. y Martínez, P. (2018). *Comercio Latinoamericano: Una perspectiva intrarregional*.
https://www.pucv.cl/uuaa/site/docs/20190619/20190619162259/memoria_2018_claudio_gonzalez_pascalle_martinez.pdf
- Guayasamín Segovia, C.F., Machado Espinosa, F.A. & Guayasamín Flores, W. (2019). Teorías del comercio internacional: líderes mundiales a nivel comercial – 2018. *Revista Publicando*, 6(22), 50–62.
<https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/2041>
- Machado Espinosa, F.A., Guayasamín Segovia, C. F. & Caselli Villacres, E.V. (2019). Acuerdos Comerciales Regionales: Una Visión desde el Comercio Exterior en América Latina. *REVISTA Publicando*, 6(21), 48–57.
<https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/2031>
- Ministerio de Economía y Finanzas - MEF. (2013). *Arancel de importación de la República de Panamá*.
- Saguer, M. & Ghiotto, L. (2018). Las Empresas Transnacionales: Un punto de encuentro para la Economía Política Internacional de América Latina. *Desafíos*, 30 (2), 159-190.
<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/desafios/a.6222>
- Urmeneta, R. (2021). *Empleo, salarios, productividad y brechas de género en empresas exportadoras e importadoras de América Latina*. Documentos de proyectos, CEPAL.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47654>

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



Zona Libre de Colón - ZLC. (2016). Ley de 4 de abril de 2016, Que Organiza La Zona Libre de Colón y Dicta Otras Disposiciones.

https://www.asamblea.gob.pa/APPS/LEGISPAN/PDF_NORMAS/2010/2016/2016_623_0916.pdf



Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica

Phytoremediation as an alternative to remove heavy metals from soil: A theoretical review

Jefferson J. Velásquez García¹, Hugo M. Cobeña Navarrete²

¹ Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Posgrado, Maestría en Química Ambiental, Portoviejo, Manabí, Ecuador. jvelasquez4995@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0001-6827-0697

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Departamento de Ingeniería Ambiental, Manabí, Ecuador. hugoc28@espam.edu.ec. ORCID: 0000-0001-6413-4321

Resumen

Actualmente en el mundo, existen problemas de contaminación de suelos, ocasionados principalmente por acciones antropogénicas, generando un impacto ambiental en los recursos naturales. La presente investigación tiene como finalidad buscar una reducción o mitigación en el medio ambiente, por tanto, su objetivo es determinar cuáles son las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados. Mediante una revisión de la literatura que se encuentra disponible y actualizada en los últimos 10 años, se obtuvo como resultados principales una conceptualización clara de la fitorremediación, las técnicas que se emplean, principales plantas nativas con capacidad de bioacumulación de plomo y finalmente las ventajas y desventajas de esta técnica. Se concluye que es una técnica que relaciona a la flora nativa con la toxicidad de los metales, debido a que estas se adaptan por su versatilidad con el entorno, siendo el maíz aquella planta con mayor capacidad de remoción de 76.22 mg/kg de plomo y se considera que esta técnica es poco perjudicial con el medio ambiente. Sin embargo, los resultados sólo se evidencian a largo plazo.

Palabras clave: fitorremediación; plomo; metales pesados; contaminación de suelos.

Abstract

Currently, there are soil contamination problems in the world caused mainly by anthropogenic actions, generating an environmental impact on natural resources. Therefore, the present research aims to determine the plant species and seek a reduction or mitigation in the environment with the most remarkable phytoremediation capacity of soils contaminated with heavy metals. Through a review of available and updated literature from the last ten years, the main results were a conceptualization of phytoremediation, the techniques used, the primary native plants with the capacity to bioaccumulate lead, and the advantages and disadvantages of this technique. We conclude that it is a technique that relates the native flora with the toxicity of metals because their versatility to adapt to the environment. Corn is the plant with the highest removal capacity at 76.22 mg/kg of lead, and it is considered as a method that is not harmful to the environment. However, results are evident in the long term.

Keywords: phytoremediation; lead; heavy metals; soil contamination.

Introducción

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre y constituye uno de los recursos naturales más importantes ya que es el substrato que sustenta la vida en el planeta (Hudson, 2006). Pese a ello, el suelo se ha visto afectado negativamente como consecuencia de las actividades humanas, principalmente la industrial, acumulándose numerosos compuestos en grandes cantidades y/o en formas solubles, rompiendo el equilibrio natural y causando la contaminación del suelo, acuíferos y, en ocasiones, la introducción de estos elementos en la red trófica. Particularmente importantes en este sentido son los llamados metales pesados (Bautista, 1999).

Los metales pesados son considerados como peligrosos debido a que no pueden degradarse ni destruirse fácilmente, constituyéndose como contaminantes estables y persistentes en el medioambiente, pueden cambiar su estado de oxidación representando cierta movilidad

hacia los seres vivos (Méndez et al., 2016); estos representan un riesgo alto tanto para el medio ambiente, como para la salud humana.

En Ecuador, el incremento de diversas actividades como la minería, ha provocado un aumento de la contaminación por metales pesados, siendo a su vez causantes de graves daños en los sectores del país. El sector agropecuario desempeña un papel crucial en la economía de los habitantes, es la columna vertebral del sistema económico, generador de riqueza y empleo de mano de obra. Cada año su aporte es constante a la producción nacional de alimentos y materias primas para el mercado local, regional e internacional (Ramos et al., 2016).

Ante esta problemática nacen las técnicas de remediación de suelos mediante investigaciones encaminadas a recuperar los suelos contaminados en lugar de destruirlos o simplemente calcinarlos o aislarlos. Muchos métodos fisicoquímicos convencionales utilizados para la remediación son costosos, poco ecológicos y generan subproductos secundarios perjudiciales para el ambiente (Kumari y Singh, 2016), en tanto que las técnicas biológicas son de bajo costo y ecológicas, los resultados se obtienen a largo plazo (Canales, 2021).

Es sumamente importante tener en consideración que el plomo (Pb) es el metal tóxico más extendido y presente en el ambiente. Estudios en mamíferos concluye que afecta al sistema nervioso, al sistema linfático y afecta gravemente a los glóbulos rojos. De ahí su importancia de evitar la contaminación de entornos que puedan afectar directamente al ser humano.

Por lo tanto, la búsqueda de alternativas para el manejo de suelos contaminados es de mucha importancia debido al daño que pueden causar al medio ambiente. Las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas y los consumidores son cada vez más sensibles al impacto ambiental del proceso productivo de un determinado producto (Jiménez, 2017).

Según Munive et al. (2018), la aplicación de la técnica de remediación de suelos empleando plantas para degradar contaminantes, puede constituir una alternativa viable para su manejo en lugares donde exista una contaminación por metales pesados, contribuyendo a la sostenibilidad productiva.

De esta manera, la fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Delgadillo et al., 2011), y debido al poco conocimiento acerca de las especies que se pueden emplear en nuestro entorno, nace el interés de investigar la literatura existente sobre la utilización de esta técnica.

No obstante, en la actualidad no se dispone de un análisis comparativo de las metodologías sobre fitorremediación de suelos implementadas como un instrumento de consulta y que permita consolidar las ventajas y desventajas de estas técnicas documentadas a la fecha. Los riesgos mínimos que puedan representar para el ambiente, la eficiencia en la remoción de metales demostrada en cada proceso y si supera las limitaciones tecnológicas inherentes que enfrentan los procesos convencionales de remediación, se considera como una herramienta eficaz para facilitar la remediación de sustancias tóxicas persistentes.

Por ello, el interés de la investigación es solventar esa problemática mediante la elaboración de una síntesis documental sobre los estudios desarrollados para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, centrándose en la revisión bibliográfica de métodos y especies de plantas con capacidad para absorber, acumular y degradar compuestos como metales pesados, tales como el plomo en suelos contaminados esto en busca plantear alternativas o ecotecnologías actuales.

De esta manera esta investigación tiene sentido debido a que, existe una necesidad en recopilar y resumir la información conseguida en la base de información de acceso abierto, con la finalidad de determinar cuáles son los principales métodos de fitorremediación existentes y su relación con las especies vegetales usadas para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. Se pretende realizar un aporte teórico y actualizado referente a este tema que sirva de apoyo a futuros trabajos de investigación.

El objetivo de este trabajo fue determinar cuáles son las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados, mediante una revisión de la literatura.

Metodología

Esta investigación es de tipo no experimental con un enfoque explicativo, analítico de tipo descriptivo, en el cual se empleó la recopilación documental y la revisión de la literatura existente entre 2012 a 2021 sobre la aplicación de plantas nativas que se puedan utilizar como mecanismo de fitorremediación del suelo contaminado por presencia de metales pesados, particularmente el plomo.

Durante el proceso, los autores verificarán la literatura recolectada para seleccionar aquellos cuyo contenido sea pertinente a la temática y vinculante a la contaminación mediante metales pesados. Los resultados serán caracterizados, comparados y analizados para identificar las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados.

Resultados

La búsqueda de alternativas para el manejo de suelos contaminados es de mucha importancia, debido al daño que pueden causar al medio ambiente; además conociendo que, las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas y los consumidores son cada vez más sensibles al impacto ambiental del proceso productivo de un determinado producto (Jiménez, 2017). En la revisión de la literatura, se determinaron varios conceptos acerca de la fitorremediación los cuales se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1

Concepto de fitorremediación de acuerdo con diversos autores

Referencia	Concepto
Delgadillo et al. (2011)	Capacidad de las plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes como metales pesados, radioactivos, compuestos orgánicos que se encuentran en el suelo, agua o aire.
Núñez et al. (2017)	Tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir <i>in situ</i> la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos.
Munive et al. (2018)	Es una tecnología emergente basada en plantas superiores y microorganismos asociados que constituye una opción para la remoción <i>in situ</i> o <i>ex situ</i> de contaminantes.
Ferrua y Aimituma (2019)	Uso de plantas para eliminar contaminantes del suelo mediante la acumulación en el tejido vegetal, tal método es una prometedora tecnología de limpieza para una variedad de suelos que contienen metales.
Paredes Campos y Rodríguez Rojas (2020)	Es la técnica que se fundamenta en la capacidad que tienen algunas especies y microorganismos para resistir agentes contaminantes y a la vez extraer, acumular, inmoviliza o transformar dichos contaminantes del suelo y es aplicable tanto en el lugar como fuera las plantas.
Lizcano (2020)	Método por el cual se reduce, elimina o inmoviliza contaminantes nocivos y purifica el suelo mediante la remediación de plantas junto con sus microorganismos rizosféricos asociados.

Estos conceptos establecen a la fitorremediación como una técnica innovadora que emplea las raíces de plantas como medio absorbente y bioacumulador que tienen la capacidad de eliminar residuos tóxicos de entornos contaminados.

Considerando los criterios de Chen et al. (2018), se refiere a metales pesados aquellos que su densidad es igual o mayor a 5 g/cm^3 , estos pueden ser retenidos en el suelo o pueden ser absorbidos por las plantas o cultivos. En adición que el plomo es un elemento altamente tóxico, se puede adsorber sobre materia orgánica o se precipita como otros minerales secundarios.

La revisión de la literatura destaca un conjunto significativo de técnicas aplicadas en la fitorremediación, tal como se describen en la Tabla 2.

Tabla 2

Técnicas de fitorremediación

Nombre	Técnica	Descripción	Limitaciones
Fito extracción	In situ	Uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.	La disponibilidad de metales en partes cosechables sin un adecuado control podría afectar a la cadena trófica.
Fito estabilización	In situ	Uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, alterando su composición ha formas más estables.	No extrae el metal del suelo.
Fito inmovilización	In situ	Uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo.	-
Fito volatilización	In situ	Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización.	Existe el riesgo de emisiones de metales pesados a la atmosfera.

Fito degradación	In situ	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.	-
Rizo filtración	In situ	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.	-

Fuentes: Álvarez (2019), Gama Retamozo (2019).

De acuerdo con el criterio de Liu et al. (2018), es importante para escoger un método o técnica basarse en la eficacia y en los costos que puede conllevar realizarlo. Así mismo, Álvarez (2019) menciona que para poder mejorar la eficiencia de las técnicas fitorremediadoras en suelo contaminados por metales pesados, es necesario adicionar sustratos o nutrientes que cambien el pH para su enmienda.

Un punto importante para que se lleve este proceso como una técnica exitosa es tener en cuenta los factores de disponibilidad y toxicidad de los compuestos contaminantes, así como de la capacidad de las especies vegetales para removerlos o degradarlos, y de las condiciones ambientales (Mitton et al., 2014). Sin embargo, los resultados de la revisión establecen las principales ventajas y desventajas de emplear esta técnica, las cuales deben ser consideradas al momento de elegir este método de remediación de suelos, y que son detalladas en la Tabla 3.

Considerando los términos de ventajas y desventajas, estudios de Velásquez (2017) reportan que el éxito de la fitorremediación depende, ante todo, de la selección juiciosa de las especies de plantas, su capacidad de sobrevivir, el clima en la región geográfica en un sitio dado es un requisito absoluto; además es necesario que las plantas elegidas para la fitorremediación también tengan tolerancia a concentraciones relevantes del contaminante que se está remediando, capacidad para crecer en suelos pobres, crecimiento rápido y alto, la producción de biomasa y raíces profundas y densas.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la fitorremediación como mecanismo depuradora de metales pesados en el suelo

Ventajas	Autores	Desventaja	Autores
Mejora las condiciones físicas y químicas del suelo.	Delgadillo et al. (2011); Suárez (2021)	El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o a aguas poco profundas.	Zhou et al.(2015); Shen et al.(2013); Suárez (2021)
Su amplia aplicabilidad y bajo costo la hacen rentable.	Ferrua y Aimituma (2019)	Tiempo de remoción lento, puede tardar de meses o años.	Delgadillo et al. (2011); Lobo (2013); Velásquez (2017)
Simplicidad de Operación.	Galeano, J.(2016); Vargas et al. (2018)	Adecuada para ambientes con bajas concentraciones de contaminantes.	Tariq y Ashraf (2016)
Método apropiado para descontaminar suelos y agua de forma natural, sin la necesidad de adicionar sustancias químicas.	Velásquez (2017)	No todas las plantas son tolerantes o acumulativas, y la tasa de recuperación del área tratada depende de la estación y el clima, no de la efectividad del proceso.	Velásquez (2017)
Eficaz tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.	Velásquez (2017)	No se puede, con un sistema de remediación a base de plantas, evitar completamente el paso de contaminantes a la capa freática (esto solo es posible mediante la eliminación total del suelo).	Suárez (2021)

La Tabla 4 presenta algunas de las plantas nativas que se han empleado por diversos autores como bioacumuladoras en tratamientos de suelos contaminados, exclusivamente con plomo.

Tabla 4

Principales plantas bioacumuladoras empleadas para suelos contaminados de plomo

Plantas	Referencias
<i>Helianthus annuus, L.</i>	Peña (2019); Argomeda y Alfredo (2017)
<i>Allium sativum L.,</i>	Núñez et al. (2017); Kumar et al. (2018)
<i>Aloe vera L.,</i>	
<i>Asparagus racemosus L.,</i>	
<i>Azadirachta indica L.,</i>	
<i>Calotropis gigantean L.,</i>	
<i>Cannabis sativa L.,</i>	
<i>Catharanthus roseus L.,</i>	
<i>Curcuma longa L.,</i>	
<i>Datura stramonium L.</i>	
<i>Eclipta prostrate L.</i>	
<i>Hibiscus sinensis L.</i>	
<i>Lantana camara L.,</i>	
<i>Ocimum tenuiflorum L.</i>	
<i>Rosa rubiginosa L.</i>	
<i>Solanum nigrum L.</i>	
<i>Tagetes patula L.</i>	
<i>Tinospora cordifolia L.</i>	
<i>Withania somnifera</i>	
<i>Zea mays</i>	Argomeda & Alfredo (2017)
<i>Alopecurus magellanicus bracteatus y</i>	Argota et al. (2014); Vargas (2021)
<i>Muhlenbergia angustata (Poaceae)</i>	
<i>Agrostis canina</i>	Suárez (2021)
<i>Medicago sativa</i>	
<i>Phaseolus vulgaris</i>	

Por otro lado, Coyago y Bonilla (2019) indican que el proceso de fitorremediación no depende únicamente del tipo de planta utilizada, sino también del tiempo, cuanto más contacto tenga el metal pesado con el suelo puede existir depuración o recontaminación, es por ello por lo que se debe conocer la cinética de absorción del metal para someter una especie vegetativa al proceso.

En investigaciones sobre la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, Núñez et al. (2017) han experimentado con plantas medicinales y debido a que es necesario tener en consideración que la contaminación de suelos representa un riesgo a la salud de personas que utilizan este tipo de plantas, surgió el interés de identificar aquellas especies con mayor capacidad de remoción y que a su vez tienen un uso directo, ya sea medicinal o alimenticio, para el ser humano. La Tabla 5 identifica estas especies, los metales y su capacidad de remoción.

Tabla 5

Capacidad de remoción de metales pesados de diferentes plantas

Planta	Metales	Capacidad de remoción	Autor
<i>Aloe vera</i> L., (sábila)	Cadmio	10 hasta 385.150 µg/kg	Kumar et al. (2018)
<i>Allium sativum</i> L., (ajo)	Cobre, cromo, hierro y plomo	10 hasta 385.150 µg/kg	Kumar et al. (2018)
<i>Zea mays</i> , (maíz)	Plomo	50.50 mg/kg a 76.22 mg/kg	Grandez (2017)
<i>Oryza sativa</i> (arroz)	Plomo	1.9 a 3.85 mg/kg	Huiracocha (2018)
<i>Helianthus annuus</i> (girasol)	2,3,6-trinitrotolueno (TNT), iones de cesio y DDT	54200, 90100 y 9030 µg/kg	Tabagari et al. (2019)

Munive et al (2018) concluyen que las enmiendas orgánicas compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados, particularmente plomo y cadmio, para una mejor absorción en las plantas de maíz; además, en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, es así que se determina que el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando están presentes en el suelo.

Además, estudios de Grandez (2017), al evaluar 3 especies vegetales (alfalfa, acelga y amaranto) determinó una mayor capacidad de absorción de plomo con alfalfa, capacidad media con acelga y capacidad menor con amaranto a los 60 días. El mismo registró plantas con mayor biomasa cuya etapa de desintoxicación fue de 10 días y porcentajes de fitorremediación del 90%, mientras que especies con menor biomasa luego de 70 días no lograron recuperar su poder de absorción y reportaron fitorremediación de 25%. Esto supone que las plantas que no presenten abundante biomasa tienden a intoxicarse más rápido.

Finalmente tomando los criterios de Ferrua y Aimituma (2019) señalan que este proceso es una metodología nueva para limpiar entornos y además rentable, así mismo de que se pueden emplear una variedad de especies de plantas que en corto plazo adquieren la capacidad de captar metales pesados.

Conclusiones

La problemática que existe actualmente requiere de tecnologías costo-efectivas, ambientalmente amigables y que puedan aplicarse a gran escala, tal es el caso de la fitorremediación. La capacidad de las plantas nativas disponibles para absorber, adsorber, metabolizar, acumular, estabilizar o volatilizar contaminantes orgánicos y/o inorgánicos, determinan a esta tecnología una ventaja sobre otros métodos convencionales de remediación de la contaminación.

Una de las principales plantas con mayor capacidad de remoción es el *Zea mays* (maíz) que puede acumular hasta 76.22 mg/kg de plomo. Sin embargo, se requiere más información sobre las interacciones plantas-microorganismos y cadenas tróficas, así como del papel que juegan ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación. Mientras se avance en investigaciones, será posible una aplicación más eficiente y a gran escala de esta tecnología.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, M. L. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.55865>
- Argomeda, G., y Alfredo, M. G. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus Annus*) y maíz (*Zea Mays*) usando enmiendas*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo, Perú].
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. 1 ed. México. Ediciones de la Universidad de Yucatán.
- Canales, D. (2021). *Revisión sistemática de diferentes métodos de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo, Perú].
- Chen, Y., Jiang, X., Wang, Y., y Zhuang, D. (2018). Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: A case study in China. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 204–219. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.008>
- Coyago, E. y Bonilla, S. (2019). Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados. *Revista Alfa*, 3(7), 47-58. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v3i7.54>

- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/814/565>
- Ferrua, S.V. y Aimituma, K.M. (2019). *Potencial fitorremediador de especie Amaranthus caudatus como alternativa para suelo contaminado con plomo y cromo*. [Tesis de Grado, Universidad Peruana Unión, Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/2437>
- Galeano, J. (2016). Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. en diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, 158-168.
- Gama Retamozo, Y. O. (2019). *La fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción – Cajabamba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3489>
- Grandez, M. G. A. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (Helianthus annuus) y maíz (Zea mays) usando enmiendas*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejos, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3537>
- Huiracocha, J. F. (2018). *Evaluación del riesgo por cadmio y plomo en granos de arroz (Oryza sativa) comercializados en la ciudad de Cuenca*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31265>
- Hudson, N. (2006). *Conservación del suelo*. Edit. Reverté, S.A. España. p 44.
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelo*. Mundi-Prensa. España. p 2-29.
- Lizcano, J. A. (2020). *Análisis teórico de las técnicas mixtas de nano-biorremediación en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38436>

- Liu, L., Li, W., Song, W., y Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: principles and applicability. *Science of the total environment*, 633, 206-219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Kumar, N., Kulsoom, M., Shukla, V., Kumar, D., Priyanka, Kumar, S., Tiwari, J. y Dwivedi, N. (2018). Profiling of heavy metal and pesticide residues in medicinal plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29505-29510. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2993-z>
- Kumari, B., y Singh, D. P. (2016). A review on multifaceted application of nanoparticles in the field of bioremediation of petroleum hydrocarbons. *Ecological Engineering*, 97, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.006>
- Méndez, A., Amachi, F., Vera, M., y Espinosa, I. (2016). Fitorremediación al plomo asimilable, una biotecnología promisoría. *Revista Ciencia y Tecnología*, 2(4), 5. <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/58>
- Mitton, F.M, Miglioranza, K.S.B., González, M., Shimabukuro, V.M. & Monserrat, J.M. (2014). Assessment of tolerance and efficiency of crop species in the phytoremediation of DDT polluted soils. *Ecological Engineering*, 71, 501–508. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.069>
- Munive, R., Figueroa, O., Azabache A. y Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- Núñez, R., Vong, Y. M., Ortega, R. y Olgún, E. (2017). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones, Biotecnología y Biología Molecular. *Ciencia*, Julio-Septiembre, 69-82.
- Paredes Campos, P. y Rodríguez Rojas, J. (2020). *Revisión sistemática: Especies vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejos, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64119>

- Peña, I. (2019). *Evaluación de la capacidad de absorción del Helianthus annuus como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur, Perú]. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/167>
- Ramos, D; Terry, E; Soto, F. y Cabrera, J. (2016). Técnicas de remediación de suelo. *Revista Ciencia*, 35(2).
- Suárez, R. (2021). *Fitorremediación: una alternativa para reducir la contaminación por hidrocarburos en Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6301>
- Tabagari, I., Kurashvili, M., Varazi, T., Adamia, G., Gigolashvili, G., Pruidze, M., Chokheli, L., Khatisashvili, G. & Niemsdorff, P von F. (2019). Application of *Arthrospira (Spirulina) platensis* against chemical pollution of water. *Water*, 11(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/w11091759>
- Tariq, S. R. & Ashraf, A. (2016). Comparative evaluation of phytoremediation of metal contaminated soil of firing range by four different plant species. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(6), 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.024>
- Vargas, C. M., Oviedo, A., Montañez, M. N., y Polania, A. (2018). Estado del arte; del uso de la *eichhornia crassipes* en la fitorremediación de aguas residuales industriales. *Ingenio Magno*, 9(2), 105–130. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1631>
- Vargas, L. J. (2021). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú*. [Tesis de Grado, Universidad Científica del Sur, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1890>
- Velásquez, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista*

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



de Investigación Agraria y Ambiental, 8(1), 151–167.

<https://doi.org/10.22490/21456453.1846>

Zhou, L., Li, Z., Liu, W., Liu, S., Zhang, L., Zhong, L., Luo, X., & Liang, H. (2015). Restoration of rare earth mine areas: organic amendments and phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(21), 17151–17160.

<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4875-y>



La mejora de la rentabilidad mediante el control de inventario

The improvement of profitability through inventory control

Irwing Alfredo Córdova Rojas¹, Laco Efraín Manguinuri Manihuari²,
Santos Alberto Farfán Peña³, Rafael Romero-Carazas⁴

¹ Universidad Peruana Unión, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Contabilidad y Gestión Tributaria. Lima, Perú. irwin.cordova@upeu.edu.pe. ORCID: 0000-0002-3096-8288

² Universidad Peruana Unión, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Contabilidad y Gestión Tributaria. Lima, Perú. laco.manguinuri@upeu.edu.pe. ORCID: 0000-0001-9463-8248

³ Universidad Peruana Unión, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Contabilidad y Gestión Tributaria. Lima, Perú. santos.farfán@upeu.edu.pe. ORCID: 0000-0003-3862-1040

⁴ Universidad Peruana Unión, Facultad de Ciencias Empresariales, Departamento de Contabilidad y Gestión Tributaria. Lima, Perú. rafael.romero@upeu.edu.pe. ORCID: 0000-0001-8909-7782

Resumen

Una de las falencias que existe en las empresas u organizaciones peruanas es el buen manejo de sus recursos lo cual puede ser mejorada mediante un eficiente control de inventarios, puesto que con ello se permite gestionar adecuadamente los bienes que existe en la organización para la prestación del servicio y para la mejora de su rentabilidad. Es por este motivo, que el presente trabajo propone evaluar y establecer el grado de influencia del control de inventario en la rentabilidad de la farmacia de una clínica con el fin de fortalecer los procesos involucrados en el control de inventario desde el manejo de los almacenes hasta la fase final de entrega de productos. Metodológicamente, se ha propuesto un estudio de corte cuantitativo, de diseño no experimental y de tipo correlacional. Para la recolección de datos se aplicó, bajo la técnica de la encuesta, dos cuestionarios a una muestra de 11 trabajadores de la farmacia de la clínica Adventista Ana Stahl de Iquitos, Perú, un cuestionario fue para medir la variable control de inventario y otro para la variable rentabilidad. Luego del análisis de la información recolectada,

los resultados manifiestan que el control de inventarios tiene relación significativa alta con la rentabilidad en la farmacia de una clínica, considerando que la correlación del $Rho=0,956$; $Sig.=0,00<0,05$, por lo que se rechazó la hipótesis nula.

Palabras clave: Almacén; inventario; producción; mantenimiento; rentabilidad.

Abstract

One of the shortcomings that exist in Peruvian companies or organizations is the excellent management of their resources, which can be improved through efficient inventory control since, with this, it is possible to properly manage the assets that exist in the organization for the provision of the service and the improvement of its profitability. For this reason, this work aims to evaluate and establish the influence of inventory control on the profitability of a clinic pharmacy to strengthen the processes involved in inventory control from warehouse management until the final phase of product delivery. A quantitative study of a non-experimental design and a correlational type has been proposed. For the data collection, researchers administered two questionnaires under the survey technique to a sample of 11 workers from the pharmacy of the Adventista Ana Stahl clinic in Iquitos, Peru. One questionnaire was to measure the inventory control variable and another for the profitability variable. After analyzing the information collected, the results show that inventory control has a highly significant relationship with profitability in a clinic pharmacy, considering that the correlation of $Rho = 0.956$; $Sig. = 0.00 < 0.05$, so the null hypothesis was rejected.

Keywords: Warehouse; inventory; production; maintenance; profitability.

Introducción

Inventario y procesos de control

Una de las finalidades de toda empresa es la satisfacción de sus clientes mediante la prestación de servicios que realiza. Para poder hacer esta labor, es necesario que cuente con sus recursos a la mano las cuales serán utilizadas de manera razonable. La Facultad de Estudios a Distancia de la Universidad Militar Nueva Granada – FAEDIS (2017) define inventario como la provisión de materiales que la empresa necesita para la continuidad de su proceso productivo o la generación de servicios. Asimismo, Fillet y Fucci, citado por Céspedes et al. (2017) señala que el inventario, representa “el almacenamiento de insumos directos e indirectos y/o productos terminados a la espera de consumirse en el proceso de producción servicio, mantenimiento o venta en un tiempo cercano, pero futuro, con el objetivo de abastecer de manera oportuna lo requerido” (p. 198).

Bajo las definiciones mencionadas, que el inventario es un proceso que permite ordenar los bienes que posee la empresa para asegurar el buen funcionamiento de los procesos que brinda a la población, es por ello, que debe ser gestionada de manera adecuada para evitar la falta de insumos o recursos.

En cuanto a la clasificación de inventarios, FAEDIS (2017) señala los siguientes tipos: (i) perpetuo: contiene un registro detallado de lo que contiene el almacén cada mes, esto sirve para elaborar los estados financieros mensuales, trimestrales y en cualquier momento que se requiera, permitiendo tener un mayor grado de control ya que se encuentran actualizados de manera permanente; (ii) final: se realiza al culminar un periodo de ventas; (iii) inicial: se elabora al inicio del periodo de operaciones de ventas; (iv) físico: considerado como el inventario real pues registra todas las mercancías que se encuentran en el almacén de manera detallada; y (v) disponible: es aquello con lo que la empresa cuenta actualmente para realizar sus procesos.

Se considera importante la determinación del tipo de inventario que va a tomar la empresa para el registro y ordenamiento de sus bienes, con el fin de que siempre se encuentren presentes,

este inventario debe considerar las situaciones adversas que pueden pasar para que los recursos de la empresa puedan ser utilizadas en dichas circunstancias.

En la elaboración de los inventarios se debe considerar los siguientes componentes: (i) costos, es necesario el establecimiento de cuánto es el precio del mantenimiento, las penalizaciones (relacionadas al costo que genera la pérdida de ventas de productos por no encontrarse en la empresa) y de los productos que se adquieren; (ii) demanda, se debe contar con un registro determinados de productos que se proyecta vender en el futuro; y (iii) tiempo de anticipación, hace referencia al tiempo que transcurre en la empresa desde que el cliente pide un producto hasta que sea entregado (Guerrero, 2017).

Estupiñán (2015) indica que el control es un proceso que sirve para determinar las acciones que se lleva a cabo en una organización, haciendo un juicio valorativo sobre cómo se está desarrollando para que se den oportunamente mejoras, si es necesario, en cuanto a la ejecución de las actividades. Con relación a ello y con la finalidad de que la empresa en todo momento brinde satisfactoriamente sus servicios se propone el desarrollo de un control de inventario, definida como aquel proceso que permite descubrir mantener el nivel óptimo y adecuado de los almacenes, para poder planificar y tomar mejores decisiones de compra y venta en la empresa.

Sobre este punto, el adecuado control de inventarios proporciona información relevante para la elaboración del presupuesto y los estados financieros con la finalidad de garantizar el trabajo de la empresa, la calidad del servicio, la satisfacción de los clientes y una correcta ejecución de sus procedimientos. Así mismo, la importancia del control de inventarios radica en que con ella es posible la obtención de más utilidades ya que habrá un aumento de las ventas.

Respecto a las funciones del control de inventario, Ortega et al. (2017) indica que se puede determinar a través del control operativo, donde se pretende mantener los recursos existentes de manera adecuada, preservando las características cualitativas de los productos y también la cantidad necesaria que se requiere; y el control contable, el cual permite conocer la eficiencia del control preventivo, es decir, la empresa compra lo necesario para vender, evitando la pérdida del producto por el almacenamiento a grandes periodos de tiempo.

En este punto, FAEDIS (2017) también señala que dentro de las funciones de un sistema de control de inventario se encuentra el poder mantener un registro actualizado de los bienes que hay en la empresa, en base a esta información dar a conocer a los encargados del abastecimiento de productos sobre los bienes que faltan y realizar informes sobre la eficiente utilización de los recursos o la venta adecuada de los mismos.

Se debe tener presente que respecto a este tema de control de inventario, el trabajo de la empresa debe ser articulada, puesto que todos los ámbitos de la organización requiere de cierta cantidad de recursos, los cuales se deben de establecer en el inventario para poder desarrollar presupuestos y pronósticos de ventas de bienes pertinentes, es por ello, que como parte de este proceso de control se encuentra: planeamiento, compra u adquisición de bienes, la recepción de los bienes adquiridos, el almacenamiento de los productos para la venta, si fuese el caso, la producción de bienes, el empaquetamiento de bienes, y la contabilidad de los productos en stock (Ortega et al., 2017).

Para que el control de los inventarios sea exitoso, Durán (2012) señala que la empresa debe manejar una adecuada política de administración de inventario, así se podrá tener mayor liquidez, disminución de los costos y con ello, un aumento de la rentabilidad. Finalmente, Ascencio et al. (2017) señala que entre las principales dificultades que se presentan en una empresa para el buen proceso del control de inventario están la poca organización departamental, la poca articulación de los procesos de control y el incumplimiento de funciones por parte de los trabajadores en el registro permanente de los productos que hay en el almacén todo esto debe ser atendido para evitar una disminución de la rentabilidad de la empresa.

Rentabilidad y sus tipos

En cuanto al concepto de rentabilidad, Cantero-Cora, H., y Leyva-Cardenosa (2016) señalan que es una relación entre ingresos y costos generados por el uso de los activos de una empresa. Esta cantidad de ingresos se debe generar a través los recursos propios de la empresa pues cuando los niveles de ingreso y con ello rentabilidad, son bajos puede ser consecuencia de

los elevados costos de producción o adquisición de productos que se comercializa, elevado costo de la fabricación, materia prima o costos de recursos humanos o tecnológicos que requiere la empresa para funcionar. Por ello, es que uno de los métodos para evitar una baja rentabilidad es mediante el uso de estrategias financieras (Zurita et al., 2019).

Para saber la cantidad de ganancia que recibe la empresa, es importante evaluar su rentabilidad, Barrero (2013) indica que esto es posible con los siguientes métodos de evaluación: el uso de los estados financieros, que es un método simple y el uso del valor del dinero en el tiempo, método complejo. La elección del método para evaluar la rentabilidad debe ser acorde a las necesidades de la empresa, cual sea la elección, ambos tienen la finalidad de evaluar las finanzas de la empresa para tener un mejor uso de los recursos monetarios previniendo situaciones de riesgo pues ayuda a la mejor toma de decisión sobre las acciones a realizar en la empresa.

Los inversionistas toman en cuenta estos resultados para decidir sobre su dinero, ya que, pueden retirar sus fondos de la empresa al ver una disminución de la rentabilidad o puede aportar más al ver que en una empresa el grado de rentabilidad es óptimo generando mayores ganancias en los accionistas (Ibíd).

Sánchez (2002) indica que el estudio de la rentabilidad se puede dar de dos maneras: rentabilidad financiera y rentabilidad económica. La rentabilidad financiera, conocida también como la rentabilidad de fondos propios, ya que permite saber el rendimiento de los capitales invertidos por parte de los propietarios en un tiempo determinado. Este es un indicador que crea riquezas en la empresa, pues los accionistas visualizan el retorno de sus inversiones, luego de haber pagado lo necesario para que los procesos de la empresa se den satisfactoriamente (Ortega et al., 2021).

La rentabilidad económica, asociada a la evaluación de la efectividad de la empresa para obtener rendimiento con los capitales y recursos disponibles, es decir, evalúa la ganancia que la empresa obtiene de sus activos, productos de su capacidad de gestión para generar ingresos económicos. En este caso, los ingresos, deben ser mayor que la inversión (Caraballo et al., 2014).

Cantero-Cora y Leyva-Cardenosa (2016) señala que este tipo de rentabilidad se analiza cumpliendo las siguientes fases: (i) caracterización, con la ayuda de todos los trabajadores de la empresa, se inicia por describir a la organización; (ii) diagnóstico, luego de conocer a la empresa, bajo la descripción realizada, se procede a determinar los valores de rentabilidad económica en base a sus indicadores, con el fin de conocer el grado de influencia en la empresa y las causas que la provocan; (iii) proyección de las soluciones, si en el diagnóstico se encontraron situaciones de riesgo y procesos mal ejecutados, en ese punto se plantean alternativas de solución considerando los costos y beneficios de las propuestas; y (iv) aplicación, es la ejecución de las medidas de solución para mejorar las falencias de la empresa y controlar sus procesos con la finalidad de aumentar la rentabilidad económica.

Por otro lado, respecto a los indicadores de rentabilidad, los cuales permiten medir la ganancia de la empresa, Mejía y Palacio (2017) determinan lo siguiente: (i) margen de utilidad bruta que indica cuánto gana una empresa por vender un producto; (ii) margen de utilidad neta que determina la utilidad luego de analizar los costos y gastos de la empresa; (iii) rendimientos sobre los activos indicando la utilidad real de la empresa en base a los activos que posee; (iv) rentabilidad del patrimonio dando a conocer la rentabilidad del negocio a los propietarios o socios en base a la cantidad de inversión que pusieron en la empresa; y (v) margen comercial que considera a la ganancia comercial por cada producto que adquiere la empresa.

La población en estudio ha mantenido una rentabilidad óptima que le permite continuar funcionando, sin embargo, los resultados pueden ser mejor si el control de inventario cumple adecuadamente con sus procesos, así, los clientes serán mejor atendidos y quedarán satisfechos con el servicio. Por ello, es que el presente artículo se propone en corroborar si el control de inventario influye positivamente en la rentabilidad de una farmacia de una clínica. También, corroborar si la planificación del control de inventarios influye positivamente en la rentabilidad de una farmacia de una clínica; el costo o nivel de stock del control de inventario influye positivamente en la rentabilidad de una farmacia de una clínica; y si el almacenamiento del control de inventario influye positivamente en la rentabilidad de una farmacia de una clínica.

Metodología

La metodología utilizada en el estudio es de enfoque cuantitativo, de diseño no experimental y de tipo correlacional. Esto quiere decir, que no se hará una manipulación de las variables que son rentabilidad y control de inventario; sino, una investigación de las mismas en el estado actual donde se encuentra para identificar el grado de relación que existe entre las variables de estudio y la comprobación, bajo la estadística, de las hipótesis planteadas (Arispe et al., 2020). Respecto a la población de estudio, esta es considerada como el conjunto de “casos o personas objeto de estudio accesibles que pueden ser parte de la muestra de investigación” (Arias-Gómez et al., 2016, p. 202), se compone de 11 trabajadores que laboran en la farmacia de la clínica Adventista Ana Stahl, en Iquitos, Perú. La muestra del presente estudio es censal que en palabras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010) es aquella que proporciona información con precisión y confianza pues representa a la totalidad de la población.

En un primer momento se realizó una revisión bibliográfica sobre las variables propuestas, para tener en claro las características conceptuales asociados al tema, luego se realizará una propuesta de operacionalización de las variables para poder diseñar los instrumentos de recolección de datos, bajo la técnica de la encuesta. Se elaboraron dos cuestionarios, uno para la variable control de inventario compuesta por tres dimensiones: (i) planificación integrada por ocho ítems; (ii) costo o nivel de stock integrada por siete ítems; y (iii) almacenamiento integrado por ocho ítems. El otro cuestionario fue elaborado para la variable rentabilidad compuesta por dos dimensiones: ¿cuánto se obtiene integrada por ocho ítems? y ¿cuánto se invierte, integrada por ocho ítems?

Luego de la validación por juicio se expertos, se procedió a determinar, mediante una prueba piloto, la confiabilidad de los cuestionarios a través del Alfa de Cronbach obteniendo en la Figura 1.

Figura 1

Confiabilidad de los instrumentos

Instrumento	Alfa de Cronbach	N° de elementos
Control de Inventarios	,986	23
Rentabilidad	,958	16

Previa coordinación y consentimiento de los trabajadores, se aplicó el instrumento manteniendo el anonimato de los participantes. Los datos obtenidos de dichos instrumentos se procesaron en el programa SPSS 22.0 para hacer la contrastación y verificación de hipótesis.

Resultados y Discusión

El resultado de la prueba de hipótesis general confirma que el control de inventarios tiene relación significativa alta con la rentabilidad en la farmacia de una clínica, considerando que la correlación del Rho de Spearman fue 0,956; Sig.=0,00<0,05, tal como muestra la Figura 2.

Figura 2

Correlación entre el control de inventario y la rentabilidad en la farmacia de una clínica

	Rho de Spearman	V. control de inventarios	V. rentabilidad
V. control de inventarios	Coeficiente de correlación	1,000	,956**
	Sig. (bilateral)	.	,000
	N	11	11
V. rentabilidad	Coeficiente de correlación	,956**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	.
	N	11	11

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

El control interno es una pieza fundamental dentro de la organización de una empresa, pues de ella depende su buen funcionamiento y que las operaciones que se realicen dentro de ella, y que se dé adecuadamente cumpliendo los estándares de calidad necesarios que permitan satisfacer las necesidades del cliente (Santa Cruz, 2014). Otro de los objetivos que responde el control interno es la mejora de las actividades en la empresa pues las situaciones de riesgo son controladas y manejables, con ello se da una mejora en la rentabilidad de la empresa, como demuestran los resultados, ya que habrá un uso eficiente de los recursos económicos y financieros de la empresa, al tener presente de manera detallada lo que se necesita y cuánto se necesita como inversión para el abastecimiento adecuado de los almacenes.

En cuanto a la primera hipótesis específica, se obtuvo una correlación a través del $Rho=0,954$; $Sig.=0,000 < 0,05$, por lo que se acepta que la planificación del control de resultados tiene una relación significativamente alta con la rentabilidad de la farmacia de una clínica (Véase Figura 3).

Figura 3

Correlación entre la planificación de control de inventarios y la rentabilidad

	Rho de Spearman	Planificación	Rentabilidad
Planificación	Coefficiente de correlación	1,000	,954**
	Sig. (bilateral)	.	,000
	N	11	11
Rentabilidad	Coefficiente de correlación	,954**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	.
	N	11	11
** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).			

Delgado et al. (2019) indica en su investigación que la planificación es una parte importante en el control de inventarios, pues es de gran utilidad al organizar el proceso de

control, contribuyendo en el establecimiento adecuado y ordenado de ingresos, consumos y demanda de ventas, esto genera una mejora significativa en la rentabilidad de la empresa.

Para la segunda hipótesis específica, los resultados del $Rho=0,972$; $Sig.=0,00<0,05$ demuestran que el nivel de stock del control de inventarios tiene una relación significativamente fuerte con la rentabilidad, tal como muestra la Figura 4.

Figura 4

Correlación entre el costo o nivel de stock del control de inventario y la rentabilidad

Rho de Spearman		Costo o nivel de stock	V. rentabilidad
Costo o nivel de stock	Coefficiente de correlación	1,000	,972**
	Sig. (bilateral)	.	,000
	N	11	11
V. rentabilidad	Coefficiente de correlación	,972**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	.
	N	11	11
** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).			

Sobre el componente de costos en el control interno, Ortega et al. (2017) indica en su investigación que para fijar adecuadamente los precios de los productos necesarios en el almacén. Se requiere de una planificación organizacional coordinada con las oficinas de la empresa, con la finalidad de mantener los activos y contar con exactitud la cantidad de recursos necesarios para la ejecución de sus funciones, todo esto será considerado dentro del presupuesto de la empresa para evitar la falta de recursos, sin embargo, es necesario que la lista de los costos sean las más actualizadas y las adecuadas acorde a la calidad que debe tener el producto de la farmacia en una clínica.

Respecto a la última hipótesis específica, el análisis de Rho de Spearman fue de 0,938; Sig.=0,000>0,05, lo cual indica que el almacenamiento del control de inventarios influye de manera significativamente fuerte en la rentabilidad (Véase Figura 5).

Figura 5

Correlación entre el almacenamiento del control de inventarios y la rentabilidad

Rho de Spearman		Almacena- miento	Rentabilidad
Almacenamiento	Coefficiente de correlación	1,000	,938**
	Sig. (bilateral)	.	,000
	N	11	11
Rentabilidad	Coefficiente de correlación	,938**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	.
	N	11	11

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

El control de inventarios tiene como función determinar la cantidad de recursos que existe en los almacenes, las cuales están destinadas a ser usadas o vendidas por la empresa. Es así que el departamento de almacenamiento también es muy importante, puesto que es el lugar de despacho de los materiales y recursos adquiridos por la empresa, las cuales deben ser guardadas de forma organizada para realizar el inventario fácilmente sin contratiempos.

Delgado et al. (2019), señala que parte de las funciones del departamento de almacenamiento asociados con el control del inventario son: (i) velar por que el área de almacenamiento se encuentre ordenada y limpia, con los espacios adecuados para la adquisición de los materiales, (ii) realizar adecuadamente la recepción y el despacho de mercadería para las oficinas de la empresa como para los clientes que la solicitan, (iii) llevar un control de inventario sobre los productos que se almacenan, y (iv) verificar la calidad de los productos que se almacenan y que no estén en riesgo de perderse.

De acuerdo con los datos estadísticos de la investigación existe una relación significativa fuerte entre el almacenamiento y la rentabilidad esto permite mantener los productos necesarios en la farmacia de una clínica evitando la pérdida de estos por falta de ventas, eso puede ser posible porque existe una adecuada coordinación de los trabajadores encargados de dicha área con la empresa y los que realizan el control de inventarios.

Conclusiones

En esta época de mucha competitividad entre las empresas, donde se pretende destacar sobre las demás por la calidad y eficiencia de su servicio, se propone el desarrollo del control interno. Esto ha sido tomado por la población de estudio que es la farmacia de una clínica para la mejora de su rentabilidad.

En este sentido, los resultados manifiestan, en base a la estadística, que existe una relación significativa entre ambas variables de estudio con un Rho de Spearman = 0.956, lo cual quiere decir que la ejecución adecuada del control de inventarios mejora la rentabilidad de la farmacia de la clínica. Según, Ortega et al. (2017) es favorable la promoción del control interno puesto que genera los siguientes beneficios: minimiza los costos financieros producto de la adquisición excesiva de bienes que no terminan siendo vendidos por la poca demanda; disminuye situaciones de fraude, robos o la pérdida de productos adquiridos que al no venderse se vencen; mantiene una venta constante en la empresa puesto que los productos con alta demanda se encuentran en el almacén; y evita situaciones de rebaja del precio del producto por tener una alta cantidad de stock en el almacén.

En concordancia con lo establecido en la teoría revisada y en base a los resultados obtenidos, se concluye que el ejercicio del control interno en la farmacia de una clínica ha sido pertinente, generando la mejora de la rentabilidad. Sin embargo, esto puede seguir mejorando para seguir optimizando la rentabilidad. Se debe considerar una revisión de los procesos asociados al almacenamiento, ya que, si bien tiene una relación significativa con la rentabilidad, dentro de los resultados del estudio es la que tiene una influencia de Rho de Spearman más baja

con 0,938; Sig. =0,000>0,05. Por el contrario, la dimensión costo o nivel de stock del control de inventario ha tenido el mayor grado de influencia con la rentabilidad con un $Rho=0,972$; Sig.=0,00<0,05, esto demuestra que las acciones asociadas a dicho proceso son adecuadas y quienes se encuentran a cargo de su ejecución muestran conocimiento necesario sobre el tema favoreciendo significativamente a la mejora de la rentabilidad de la farmacia en una clínica.

Luego de la descripción de los resultados se concluye que la farmacia de la clínica Adventista Ana Stahl de Iquitos, Perú puede mejorar su rentabilidad desde una mejor ejecución del control de inventario. Una de las formas de optimizar esto es a través de la tecnología ya que, en la actualidad, los registros de control de inventario se realizan con apoyo de programas computarizados que permiten llevar una mejor contabilidad de los productos, es por ello, que se considera necesario su uso para el mejor desarrollo del control de inventario y con ello la mejora de la rentabilidad de las empresas.

Agradecimiento

A la farmacia de la Clínica Adventista Ana Stahl por permitir realizar dicha investigación, a los docentes de la Universidad Peruana Unión por el oportuno apoyo en la presente investigación y a todas las personas que hicieron posible este manuscrito.

Referencias Bibliográficas

- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. y Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2),201-206.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
- Arispe, C., Yangali, J., Guerrero, M., Lozada, O., Acuña, L. y Arellano, C. (2020). *Métodos de investigación; la muestra; marco teórico y discusión de resultados*.
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4310>

- Ascencio, L., Gonzáles, E. y Lozano, M. (2017). El inventario como determinante en la rentabilidad de las distribuidoras farmacéuticas. *Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 7(13), 231 – 250.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/5045/504551272009/html/index.html>
- Barrero, J. (2013). *Importancia de medir la rentabilidad*
https://www.cpba.com.ar/old/Actualidad/Noticias_Consejo/2013-01-18_Este_verano_lea_a_sus_colegas_RePro_68_Agosto_2012_La_importancia_de_medir_la_rentabilidad.pdf
- Cantero-Cora, H., y Leyva-Cardenosa, E. (2016). La rentabilidad económica, un factor para alcanzar la eficiencia empresarial. *Ciencias Holguín*, 22(4),1-17.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181548029004>
- Caraballo, T., Amondarain, J., y Zubiaur, G. (2014). *Análisis contable. Metodología e instrumentos*. http://www.ehu.es/tcaraballo/Docencia_Grado/OCW/ANALISIS_CONTABLE.pdf
- Céspedes, N., Paz, J., Pérez, L. y Pérez, Y. (2017). La administración de los inventarios en el marco de la administración financiera a corto plazo. *Revista Boletín Repide*, 6(5), 196 – 214. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/272>
- Cruz, P., Torres, A., Cruz, G., y Juárez, J. (2016). Metodología para medir la rentabilidad de un proyecto de inversión: estudio de caso de agua. *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico*, 5(4), 1-11. <http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2016.050428.1-11>
- Delgado, S., Cruz, L. y Lince, E. (2019). El uso de software libre en el control de inventarios: caso de estudio. *Ciencia Administrativa*, 1, 52 – 57.
<https://www.uv.mx/iiesca/files/2019/10/08CA201901.pdf>
- Durán, Y. (2012). Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas. *Visión Gerencial*, 1, 55-78.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545892008>

- Estupiñán, R. (2015). *Control Interno y fraudes, con base en los ciclos transaccionales. Análisis de informe COSO I, II y III*. Tercera edición. <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2015/07/Control-interno-y-fraudes-3ra-Edicio%CC%81n.pdf>
- Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Estudios a Distancia – FAEDIS (2017). *Gestión de Inventarios*. Unidad 3. http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/administracion_empresas/logistica/unidad_3/DM.pdf
- Guerrero, H. (2017). *Inventarios, manejo y control*. Segunda Edición. <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2017/08/Inventarios.-Manejo-y-control-2da-Edici%C3%B3n.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010). *Diseño de la muestra censal 2010*. https://celade.cepal.org/censosinfo/manuales/MX_DisenomuestraCensal_2010.pdf
- Mejía, J. y Palacio, D. (2017). *Análisis de Los Indicadores Financieros Empresas Comercializadoras De Productos Farmacéuticos Periodo 2005-2015*. [Tesis de Maestría, Universidad Libre de Pereira, Colombia]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/16321>
- Ortega, A., Padilla, S., Torres, J. y Ruz, A. (2017). Nivel de importancia del control interno de los inventarios dentro del marco conceptual de una empresa. *Liderazgo Estratégico*, 7(1). <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/liderazgo/article/view/3261>
- Ortega, C., Vásquez, S. y Vásquez, S. (2021). Crecimiento Empresarial y su influencia sobre la Rentabilidad en las empresas de la Cámara de Industria de Huaycán Perú. *Diagnóstico Fácil Empresarial*, 8(16), 20-26. <https://doi.org/10.32870/dfe.vi16.98>
- Sánchez, J. (2002). *Análisis de Rentabilidad de la empresa*. <https://ciberconta.unizar.es/LECCION/anarenta/analisisR.pdf>
- Santa Cruz Marín, M. (2014). El control interno basado en el modelo COSO. *Revista de Investigación de Contabilidad*, 1(1), 36 – 43. <https://doi.org/10.17162/rivc.v1i1.832>

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



Zurita, T., Pucutay, J. y León, L. (2019). Estrategias financieras para incrementar la rentabilidad.

Caso: Empresa Indema Perú S.A.C. *Innova Research Journal* 4(3.1), 30 – 41.

<http://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/index>



Sistemas de información móvil para mejorar la calidad del software en Panamá: Aportes y desafíos

Mobile information systems to improve software quality in Panama:
Contributions and challenges

Roberto Daniel Gordón Graell

¹ Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Panamá Oeste. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Panamá. roberto.gordon@up.ac.pa. ORCID: 0000-0001-8468-4910

Resumen

Las tecnologías móviles de comunicación e información son el adelanto disruptivo más significativo para las sociedades en las dos últimas décadas. Su aparición cambió los modelos productivos, las formas de negocios y la manera de relacionamiento de los ciudadanos. En los procesos de desarrollo tecnológico desigual, como los que se encuentran en el mundo, la región Latinoamericana entre las que se encuentra Panamá está clasificada como en desarrollo, con evidentes retrasos infraestructurales y desventajas tecnológicas. La investigación tiene como objetivo examinar la calidad del funcionamiento de los sistemas de información móviles en Panamá. Para ello se revisaron las características de las condiciones de la infraestructura tecnológica necesaria en Panamá para dar soporte a los sistemas de información móviles con el fin de aumentar la calidad del software, las aplicaciones y tecnologías móviles para que el servicio complemente el ecosistema digital del país y cubra las necesidades sociales en los ámbitos de educación, salud y producción. La principal conclusión es que la estructura actual no alcanza al cubrimiento nacional de los requerimientos de los sistemas móviles de información para un servicio de calidad, pero cuyo fundamento estructural le permitiría avanzar rápidamente hacia las condiciones digitales de país desarrollado si cuenta con la inversión necesaria.

Palabras clave: Calidad del software; desarrollo; sistemas de información; tecnología móvil.



Abstract

Mobile communication and information technologies have been society's most significant disruptive advances in the last two decades. Their appearance has changed production models, forms of business, and the way citizens relate to each other. In processes of unequal technological development, such as those found in the world, the Latin American region including Panama is classified as a developing region with noticeable infrastructural delays and technological disadvantages. This investigation aims to examine the quality of the operation of mobile information systems in Panama. The characteristics of the conditions of the technological infrastructure required in Panama to support mobile information systems were reviewed to increase the quality of software, applications, and mobile technologies so that the service complements the country's digital ecosystem and meets social needs in the areas of education, health, and production. The main conclusion is that the current structure does not meet the national coverage of the requirements of mobile information systems for quality service. However, its structural foundation would allow it to advance rapidly toward the digital conditions of a developed country if it had the necessary investment.

Keywords: Software quality; development; information systems; mobile technologies.

Introducción

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) marcan la realidad del avance tecnológico de la humanidad a un ritmo dos o tres veces mayor que en los periodos antes de su aparición. Son, tal vez, la invención más importante de la humanidad, después de la electricidad, en todo el periodo histórico de la humanidad determinado como la industrialización. marcan una etapa de los procesos de producción de bienes de consumo que muchos autores han calificado como la cuarta revolución industrial (Martínez, Palma y Velásquez, 2020).

Con su aparición las formas de producción cambiaron adaptándose a cada realidad, constantemente transformada, de las tecnologías digitales y sistemas de información que, a su vez, se desarrollaron a un ritmo sustancialmente mayor. Se requirió de la adopción y adaptación de un término lingüístico para su catalogación dentro del conocimiento humano: la disrupción. Su concepto implica que cada desarrollo de las TIC hace obsoleta la tecnología anterior en periodos de menos de un lustro (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021).

Ese ritmo de evolución tecnológica genera consecuencias positivas y negativas para las sociedades. En la producción de bienes de consumo, los países industrializados poseen mega estructuras manufactureras integradas por software en complejas redes y arquitecturas de programas que controlan los procesos productivos sin la intervención humana, algunos desde la extracción y/o producción de la materia prima. Es el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), el uso de la Inteligencia Artificial (IA), el apoyo en tecnologías robóticas, la automatización de manufacturas y la conjugación con políticas de desarrollo desde la gobernanza pública (Reicheneder, 2022).

En su desarrollo las tecnologías digitales tienen diferentes etapas. Han pasado tres décadas desde los grandes equipos y sistemas interconectados reservados para los gobiernos y empresas con mucho poder económico, pasando luego por equipos con infraestructura de conexión por cable para que el internet llegara a la computadora de los usuarios hasta los equipos móviles con conexión satelital. Para Yarad (2020) “el tecnológico es un nuevo paradigma construido por el ser humano que vive “era dorada de la tecnología” (p. 111) que también se traduce en productos digitales móviles de uso común, de consumo masivo y de las aplicaciones de consumo masivo que provee soportados en una calidad de software cada vez mayor.

Las tecnologías móviles cambiaron la manera de relacionarse con el mundo y han significado un elemento estratégico para el combate a la pobreza en regiones del tercer mundo (Yanes, 2019). Sirven de paradigma para diferenciar etapas del desarrollo social tanto de los denominados inmigrantes digitales, que han debido adaptarse a los entornos digitales, como de los que nacieron en ella y por lo tanto son nativos digitales. Son jóvenes que estructuran su vida alrededor de los dispositivos y aplicaciones que les ofrece la informática, son sus principales

críticos y desarrolladores de sistemas y que reciben la denominación etaria de Milenial (Rodríguez y Gallardo, 2021).

Las herramientas digitales transportables en las manos del hombre son algo más que un dispositivo móvil para comunicarse, que ya es algo cotidiano hasta en las regiones más apartadas del globo terráqueo. La diversidad de aparatos de diferentes tipos va desde teléfono móvil, pasando por tabletas y sistemas de posición global (GPS, por sus siglas en inglés) hasta los chips de seguridad y la gama de dispositivos de alta complejidad y calidad de software, algunos subcutáneos y permanentes, de seguimiento de indicadores de salud en una visión sintética y positiva del conocimiento humano pero que requieren de sistemas de soportes avanzados para cumplir su (Bascones et al, 2021).

Para un número amplio de investigadores sociales lo digital y las tecnologías móviles se convierten no solo en medios sino también en meta medios, formas únicas de relacionamiento humano tanto con otros humanos como con equipos que imitan la presencia humana en los que la Inteligencia Artificial con su aprendizaje profundo hará, del usuario humano, un ser dependiente de la tecnología (Márquez, 2017). Las tecnologías que representan la concreción de los sistemas móviles de información son un cambio cultural muy parecido a la aparición del vehículo de motor al alcance del ciudadano común. La percepción de Dueñas (2020) sobre la transformación digital plantea que es un proceso cultural que se apoya en herramientas tecnológicas se ha dicho de manera suficiente en todos los escenarios en los que el término se menciona. Pero que las tecnologías móviles han sido una de las herramientas que han permitido impulsar y masificar con más fuerza estos procesos es un reconocimiento que suele omitirse, pero que no se puede dejar de hacer (p. 1).

Son parte de los ecosistemas digitales que es el nombre que recibe la parte tecnológica digital que se considera natural en la humanidad del presente y que está más presente en algunas regiones del planeta que en otras debido a la desigualdad del desarrollo tecnológico y económico. El nivel de digitalización es uno de los indicadores de desarrollo económico y social aceptados por el concierto de países y del cual la región Latinoamericana, entre los años 2014 y 2018, presentaba una tasa moderada de crecimiento anual (Agudelo et al, 2020).

Para que los países y los ciudadanos puedan mantenerse al día y competidores, en un mundo altamente competitivo, es necesaria una infraestructura tecnológica digital que permita la plusvalía de su trabajo, de la producción y de los ingresos que garanticen inclusión social con calidad de vida. Debe estar integrada por los softwares tanto como por los hardware que la soporten en una relación de calidad con los servicios que provee.

La visión de los desarrolladores tecnológicos va por dos parámetros: calidad y flexibilidad. La primera implica rapidez y amplitud de respuesta. La transmisión de datos se soporta en diferentes herramientas como son la nube de datos, la computación de borde, las tecnologías de retardo, etc. La segunda está relacionada con la forma de uso. El usuario tiene posibilidad de conectarse en cualquier momento, en cualquier lugar y con los dispositivos más cómodos posibles, se denomina conectividad que, en el caso de los desarrollos en las manos de los usuarios, es la integración de software de calidad en sistemas de información móviles al alcance de las necesidades de las personas.

Es necesario conocer el impacto de las tecnologías digitales en las variables sociales relevantes para garantizar calidad de vida a sus ciudadanos, que incluye aquellos softwares, y herramientas cuya característica determinante es la flexibilidad de la movilidad. No solo para evaluar su calidad sino para sentar las bases que permitan su evolución armónica y en consonancia con los derechos humanos en educación, salud y trabajo que se reviertan en un desarrollo sostenido y sustentable de la nación.

Metodología

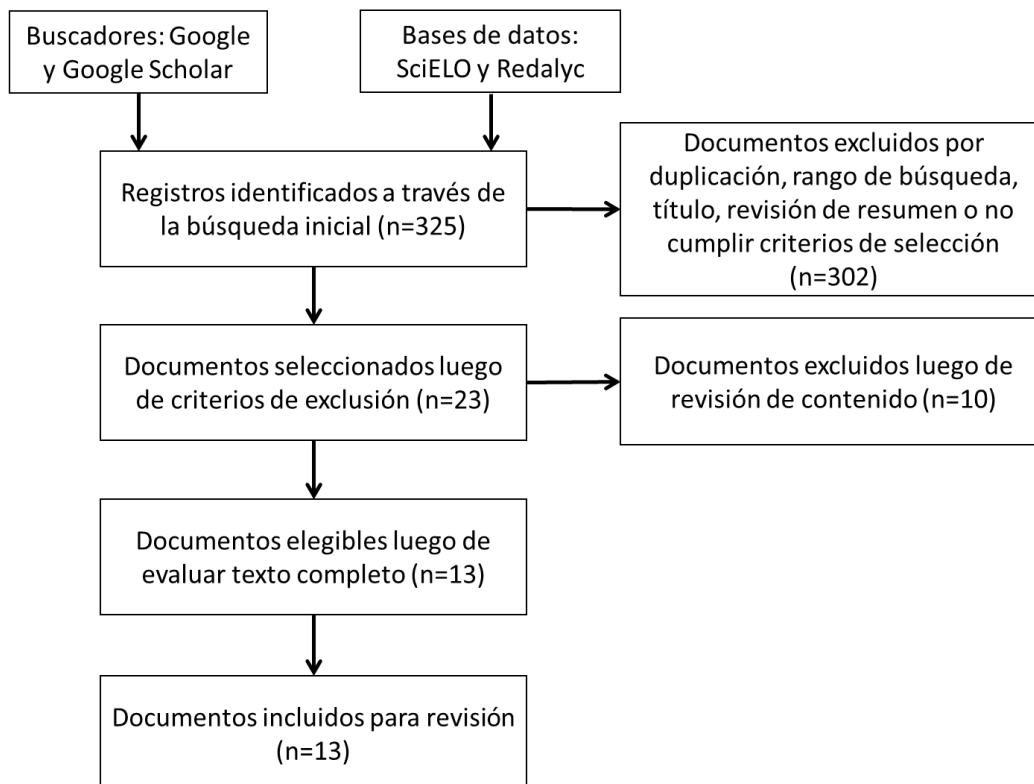
Es una investigación cualitativa, documental, descriptiva y comparativa de las condiciones de la digitalización en Latinoamérica con especial atención a los sistemas y tecnologías móviles de información. En los buscadores de Google y Google académico, así como en las bases de datos de SciELO y Redalyc, se realizó una revisión sistemática en documentos y páginas web de contenido científico y técnico relevante, publicado en idioma español, entre los

años 2016 al 2022, con la descripción de búsqueda principal “*tecnología digital móvil*” con conectivos booleanos de búsqueda: *educación, salud, producción y trabajo*.

Como criterio de inclusión se determinó la característica de tecnología móvil de información en los fenómenos sociales sobre educación, salud y gobernanza pública para la producción, así como del elemento técnico estructural de conectividad a internet. Se obtuvieron 325 fuentes, reducidas a 23 en una primera revisión y seleccionadas, como referentes de muestra significativos. Las 13 fuentes incluidas es el resultado del proceso de selección y que cumplen con las características deseadas para el análisis, el cual es presentado en la Figura 1.

Figura 1

Flujograma de selección de documentos en la revisión sistemática



Resultados

La importancia de las tecnologías digitales para las sociedades radica en la aceleración que significó en los cambios productivos, políticos y sociales de los últimos siglos como se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1

Evolución del desarrollo industrial y social de la humanidad

Revoluciones industriales del siglo XVII-XXI			
Primera revolución	Segunda revolución	Tercera revolución	Cuarta revolución
Siglo XVIII	Siglos XIX y XX	Mediados del siglo XX	Siglo XXI
Mecanización basada en el poder del agua y el vapor	Producción masiva basada en la instalación de líneas de ensamblado y uso de la electricidad	Automatización basada en el uso de computadoras y la electrónica	Expansión de sistemas productivos físico-digitales, basada en la digitalización de la realidad cotidiana y la hiperconectividad de los procesos, las cosas y las personas

Fuente: Martínez, Palma y Velásquez (2020)

Las primeras dos revoluciones ocurrieron en un lapso de tres siglos, no así la tercera y cuarta signadas por las tecnologías informáticas que ocurrieron en menos de un siglo.

La cuarta revolución es de las tecnologías digitales y está caracterizada por la híper-conectividad, el uso de las TIC y la ampliación de usuarios al incluir la IoT. En medidas de tiempo histórico es un desarrollo acelerado, que incluye disrupción tecnológica por la evolución de sus tecnologías.

A nivel de fenómenos sociales significa el consumo masivo de productos digitales y los que se ofrecen de manera digital. Yarad (2020) señala que, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones, “los datos apuntan a un crecimiento acelerado en cuanto al uso y consumo

de tecnologías móviles como es el teléfono, en detrimento de la telefonía fija [...]” (p. 115), gracias a la virtualidad y flexibilidad de uso del móvil. Es la tecnología con más aceptación entre las demás. Otros datos de interés que aplican a la movilidad como futuro digital son:

- El uso de aplicaciones (*apps*) que genera condiciones necesarias para el cambio de ciertos patrones de consumo con plataformas como UberEats, Deliveroo, Glovo, etc.
- El 76.4 % de la población mundial usa, al menos, un teléfono móvil como medio de comunicación principal.
- El aumento de suscripciones en banda ancha móvil y de paquetes de minutos va en crecimiento.
- En los países desarrollados hay 110 suscripciones por cada 100 habitantes. En los que están en vías de desarrollo, incluido Panamá, 80 suscripciones por cada 100 habitantes y en los de bajo desarrollo hay 50 suscripciones por cada 100 habitantes (Yarad, 2020).

La conectividad de los ecosistemas digitales entra en juego como una determinante de la calidad de las herramientas para el desarrollo y de la reducción de la brecha digital que también tiene un componente de infraestructura. La medición del estado de los ecosistemas digitales está conformada por diferentes variables según la institución que la realice. La Corporación Andina de Fomento (2021) utiliza un “Indicador de Digitalización” en el que aplica variables con diferentes indicadores. las variables son: Índice de digitalización en hogares, penetración en hogares, cobertura, calidad y asequibilidad para medir los servicios de digitalización que reciben los usuarios.

Sus resultados del indicador de digitalización, para el año 2019, son 74.3% para los países desarrollados y un promedio de 50.7% para los países de la región Latinoamericana, en una clara diferencia de desarrollo, aunque la región alcanza un 67% de hogares con acceso a Internet. Los porcentuales de Panamá corresponden al Índice de digitalización de hogares 47.5%, Penetración en hogares 62.3%, Cobertura 52.7%, Calidad 20.4% y Asequibilidad 66.7% (Corporación Andina de Fomento, 2021).

Si no se ve de manera disgregada la lectura del índice de digitalización puede resultar engañoso. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) refleja que, de las regiones pobladas en el mundo, para el año 2020, el acceso a equipos y conectividad a internet en las zonas urbanas es de 72%, en promedio es el doble del 38% de las zonas rurales. En cuanto a los sistemas para móviles en las zonas urbanas se alcanza un 95% de cobertura 4G y solo un 19% de la población rural alcanza cobertura 2G y 3G. Un 17% no tiene cobertura de ningún tipo (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2020).

La distribución poblacional de Panamá puede calificarse de dispersa. En estimaciones del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) para el año 2020, el 70 % de su población habita en sólo 15 de los 76 distritos y todos son urbanos. En los 61 distritos de características rurales habita apenas un 3.0%. Según la UIT (2020), el 64% de la población usa internet con 5.5 millones de líneas telefónicas en activo en una población estimada de 4.2 millones de habitantes para una penetración de la tecnología móvil del 132.5%. El 13% de la población tiene suscripciones de banda ancha fija. Aunque la cobertura alcanza el 96% de la población el territorio cubierto es del 38% lo que significa que el porcentaje mayor de panameños, con conexión, vive en ciudades y usan el teléfono móvil celular como principal medio de conexión y comunicación (García, Martínez, Puig, Schneider e Iglesias, 2021).

García, Martínez, Puig, Schneider e Iglesias (2021) señalan que una gran ventaja del país es que tiene puntos de amarre de 12 cables submarinos de fibra óptica que interconectan al país con Norte, Centro y Sudamérica y el Caribe. De igual forma refieren que, la Autoridad Nacional para la Innovación Gubernamental (AIG) señala que Panamá cuenta con 7,430 km de fibra óptica en su mayoría concentrada en la provincia y ciudad de Panamá e instalada a lo largo de la zona sur y costa pacífico del país.

En la educación general en Panamá, el Ministerio de Educación de Panamá (MEDUCA) es la institución responsable de la evolución del sistema educativo básico del país. En el Plan Estratégico 2014-2019 señala la necesidad de dotar todo el sistema de entornos digitales que considera con fallas estructurales persistentes (Ministerio de Educación, 2014). La Tabla 2 presenta los objetivos relacionados con la digitalización escolar en la que cabe resaltar la

actividad de colocación de antenas lo que permitiría el acceso a los sistemas móviles. De igual forma la necesidad de dotar de los equipos adecuados para el tipo de conectividad que requiere cada institución.

Tabla 2

Extracto del Plan Estratégico 2014 – 2019 del Ministerio de Educación de Panamá

Eje 3: Mejoramiento de la Infraestructura Escolar

Objetivos Estratégicos	Objetivos Operacionales	Actividad
Dotar a los centros educativos con las mejores herramientas tecnopedagógicas.	Dotar de Internet a los centros educativos a nivel nacional que actualmente no cuentan con el servicio.	Ejecución del proyecto en los centros que no cuentan con el servicio de internet. Colocación de antenas donde el servicio de internet presenta dificultad.
	Fortalecer el servicio de Internet en los centros educativos.	

Eje Estratégico 5: Investigación, Innovación y Desarrollo tecnológico

Dotar de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC'S) al sistema educativo.	Modernizar la infraestructura tecnológica.	Desarrollo de sistema en línea para la capacitación y actualización de los docentes en servicio.
	Establecer y adecuar espacios de actualización continua con innovación tecnológica para todos los actores.	Adquisiciones de equipos tecnológicos requeridos.

Fuente: Ministerio de Educación (2014)

Las fuentes de información del cumplimiento del plan del ministerio no están disponibles en números de organismos oficiales.

García, Martínez, Puig, Schneider e Iglesias (2021) dejan ver que la geografía alargada de la nación y la distribución de la infraestructura permitiría conectar todos los centros educativos públicos y de prestación de servicios de salud públicos pues se encuentran en tres rangos de distancia:

- Un aproximado de 1,712 centros en un primer grupo muy cercano a la red y en condiciones geográficas óptimas una conectividad de máxima calidad.
- Un aproximado de 1,326 centros en un segundo grupo a una distancia relativamente pequeña de la red de fibra y que recibiría conectividad con un pequeño despliegue, o a través de soluciones inalámbricas.
- Un aproximado de 431 centros en un tercer grupo muy alejado e inviable extender la fibra óptica y que, en consecuencia, requerirán de soluciones inalámbrica.

Los autores anteriores también señalan que, según datos de la AIG, para el año 2021 en el país hay 3,137 escuelas de las cuales 1,071 no tienen acceso a internet, 176 se ubican en el primer grupo, 468 en el segundo y 427 en el tercero. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) presenta una metodología para la evaluación de los Sistemas de Información y Gestión Educativa (SIGED) de América Latina y el Caribe que, en lo que se refiere a la educación digital, implica variables interconectadas entre los elementos que componen la educación como son: Escuela, familia y comunidad y sistema.

Para ello se identifican seis procesos de gestión de los cuales el quinto “Contenidos digitales para aprendizaje y formación docente” está directamente relacionada con la escuela digital. De igual forma dos de condiciones estructurales en las que la primera “Infraestructura tecnológica” es relevante para este artículo (Arias, Eusebio, Pérez, Vásquez y Zoido, 2021)

El instrumento diseñado para la evaluación de los sistemas cuenta con 119 preguntas cuya calificación cualitativa de características identificadoras de los centros educativos y la correlación

de los resultados con la función esperada colocan al SIGED en cuestión en una escala de clasificación a saber:

- Latente: No cubre los procesos ni condiciones estructurales que lo definen.
- Incipiente: Cubre parcialmente los procesos y condiciones estructurales que lo definen, pero no está orientado a una gestión eficiente.
- Emergente: Tiene un abordaje parcial de los procesos y condiciones estructurales y está orientado a una gestión eficiente.
- Establecido: Tiene un alcance mayor al 80% de los procesos y condiciones estructurales y está orientado a una gestión eficiente.

En la Tabla 3 se presentan algunos de los indicadores relacionados con los procesos y las condicionantes estructurales.

Tabla 3

Evaluación del SIGED Panamá 2020

Indicador	Latente	Incipiente	Emergente
Infraestructura y equipamiento			
Centros educativos			
Recursos Humanos y financieros			
Contenidos digitales			
Herramientas para la gestión estratégica			
Conectividad en oficinas centrales y locales			
Conectividad en las escuelas:			
Infraestructura tecnológica acorde a la demanda			
Arquitectura y herramientas adecuadas de desarrollo			
Integración a nivel de datos:			
Sistemas compatibles e interoperables			
Interoperabilidad con sistemas externos			

Fuente: Arias, Eusebio, Pérez, Vásquez y Zoido (2021)

Los indicadores señalados son básicos para establecer la calidad del sistema y proponer estrategias de mejoramiento institucional. Es relevante que la evaluación del BID no considera el SIGED de Panamá como establecido para lo que se requiere un 80% de instituciones en procesos de digitalización consolidados.

Un sistema educativo, sostenible y sustentable, como el planificado por el MEDUCA en sus planes operativos se complementa y fortalece con las plataformas educativas, sea con softwares propios o con los que se encuentran en la red. Una rápida revisión permite encontrar múltiples plataformas diseñadas para apoyar los sistemas educativos que cuentan con diseño de software para soportar, con calidad, tecnología móvil de comunicación (Educación 3.0, s.f.).

En la salud, las desigualdades en el acceso a los sistemas que prestan el servicio, en Latinoamérica, son condiciones presentes permanentes en la ciudadanía y está signado por determinantes como nivel socioeconómico, género, condición étnico-racial y el lugar de residencia. Martínez, Palma y Velásquez (2020) aseveran que las tecnologías digitales son herramientas de inclusión en salud, ya que jugar un importante papel en la expansión del acceso a servicios de salud, así como mejorar su calidad, eficiencia y equidad. Como en los demás ámbitos del bienestar, existen determinantes socioeconómicos, culturales y geográficos que contribuyen a las disparidades en salud, lo que se traduce en atenciones poco oportunas y de calidad reducida. (p. 39)

La salud móvil (*mHealth*, por su sigla en inglés) es un término que referirse a la atención médica la salud pública con el apoyo de dispositivos móviles. Para Martínez, Palma y Velásquez (2020), Alonso (2016), Spinelli y Dreizzen (2021), entre otros, el teléfono es usado para la transmisión de mensajes con pacientes en el seguimiento de su salud, o su registro directo en páginas web con aplicaciones directas, o información sobre condiciones de salud de manera general a través del Internet y medio de educación en salud directa con el público.

El *mHealt* se desarrolló en los países industrializadas, pero con el arribo del servicio de internet y la disponibilidad masiva de dispositivos al alcance de los ciudadanos en regiones más retrasada se convirtió en una prioridad para los servicios de salud. En el reciente periodo, marcado por el coronavirus COVID 19, la inmediatez de las tecnologías móviles permitió

desarrollar asistentes virtuales que atendieron requerimientos educativos e informativos de salud respetando las normas de alejamiento social. En Panamá recibieron los nombres de R.O.S.A. y P.A.C.O. respectivamente (Agencia France Press, 2020).

Los sistemas productivos de un país son la garantía principal de su nivel de desarrollo social y de inclusión social. Su mejor referente es la gobernanza pública que debe estar lo suficientemente equipada y establecida para dar respuesta a la iniciativa privada. Al respecto, la AIG (2021) considera entre los pilares estratégicos de desarrollo una “Economía competitiva y generación de empleo” y el Combate a la pobreza y a la desigualdad” (p.7), las líneas estratégicas para la gobernanza pública en el ámbito digital son:

- **Transformación del Estado:** Lograr una actualización tecnológica y organizacional de la Administración Pública, racionalizando y focalizando los recursos de esta en pro de servicios electrónicos (e-servicios) orientados al ciudadano, que permitan la mejora de la eficacia y eficiencia en su accionar.
- **Desarrollo de Infraestructura:** Desarrollar y fortalecer la infraestructura tecnológica de Panamá, el uso de la plataforma de interoperabilidad, el marco normativo y los aspectos organizativos y de mejora de procesos, orientados a incrementar la calidad de los servicios destinados a la ciudadanía, así como lograr las capacidades técnicas y de sostenibilidad de las mismas.
- **Desarrollo Económico basado en el Conocimiento:** Estimular el aprovechamiento de las TIC para el desarrollo productivo del país, impulsando la generación de productos de calidad con valor agregado en conocimiento. Fomentar la industria TIC y de producción de contenidos digitales y el uso de TIC por parte de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYME) (p.10).

En ese orden de ideas es de suponer los esfuerzos nacionales en conjunción para alcanzar un desarrollo industrial y de servicios industriales 4.0 que se caracterizan por la tecnología IoT en sistemas móviles o de datos en la red al alcance inmediato de una conexión a internet. es la transformación de los sistemas de gestión productiva bajo nuevos paradigmas.



La transformación digital del sector productivo se da bajo la forma de nuevos modelos de gestión, de negocios y de producción que facilitan la innovación y la introducción de nuevos mercados, y que generan disrupciones en las industrias tradicionales. La expansión de la Internet industrial, de los sistemas inteligentes, de las cadenas de valor virtuales y de la inteligencia artificial en los procesos productivos aceleran las innovaciones y generan ganancias de productividad, con efectos positivos en el crecimiento económico. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 12).

Discusión y Conclusiones

Los cambios producidos por la TIC son permanentes y progresivos. Su aparición y disrupción marca el inicio de la cuarta revolución industrial en la que la conectividad máquina a máquina (M2M) sin la intervención humana y con decisiones propias en el rango de la IA es el referente principal.

La conectividad en Panamá tiene un componente de desarrollo social que la determina como estructura. Las zonas urbanas sobrepobladas y una ruralidad desatendida. Cuatro de cada diez panameños habitan en la zona del Canal que concentra más del 80% de la actividad económica y la centralización de recursos privilegia la provincia de Panamá. Existe una marcada dualidad urbano-rural. La medición de las dinámicas de la segunda deja a la gobernanza del país con una deuda social grande, que, por supuesto, incluye la infraestructura tecnológica digital (Pittí, Gaudin y Hess, 2021).

El 13% de la población conectada en Panamá utiliza suscripciones de banda ancha fija. El porcentual significa también que el 87% de los usuarios se decanta por la tecnología de sistemas móviles de información. Este dato hace más relevantes los aportes del sistema en el desarrollo social panameño, aun antes de la pandemia del coronavirus COVID 19, pero también representa un desafío de infraestructura para las políticas de gobierno.

La educación, la salud y las formas de producción no cuentan con recursos de digitalización óptimos. El sistema educativo básico sufre de carencias estructurales tecnológicas básicas que se reflejan en la formación y nivel de capacitación de sus integrantes. En la salud es imperativo fortalecer los sistemas de atención primaria informativa y educativa que nacieron en pandemia. En datos de la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP) en la pandemia las actividades comerciales y de trabajo en línea aumentaron un 50% en una tendencia que puede aprovecharse para el fortalecimiento de la economía digital (Díaz et al, 2021).

La infraestructura de soporte para las tecnologías digitales de Panamá es insuficiente para que el servicio alcance todas las regiones del país. Es una deuda social aún pendiente como lo demuestran los números de gestión educativa y de salud para la cual las tecnologías móviles son una estrategia oportuna tomando en cuenta la distribución de la fibra óptica en la geografía nacional.

Las tecnologías móviles demostraron como cambiaron la realidad del ser humano en el reciente periodo marcado por el coronavirus COVID 19. No fue oportunismo o producto de una política estructurada sino resultado de un cambio cultural mundial, que parecía natural, pero que no ha sido suficientemente soportado en los planes de la gobernanza pública.

La revisión de la divulgación académica, científica o técnica, sobre tecnologías digitales en Panamá es una de las grandes deudas del sistema educativo del país. es una situación que no escapa al común de otras ciencias duras pero que es una tarea pendiente que aporta, por competencia y conocimiento, a la calidad de los softwares que se puedan diseñar en el país.

La discusión académica sobre los avances tecnológicos digitales no puede quedarse en el campo de las ciencias duras como un hecho tácito del progreso del conocimiento humano. Debe trascender siempre al impacto que causará en la persona o usuaria y el conjunto de la sociedad a la que servirá.

Referencias Bibliográficas

Agencia France Press. (2020). *Rosa y Paco, los profesionales virtuales que luchan contra el COVID-19 en Panamá*. <https://www.france24.com/es/20200330-rosa-y-paco-los-profesionales-virtuales-que-luchan-contr-el-covid-19-en-panam%C3%A1>

Agudelo, M., Chomali, E., Suniaga, J., Núñez, G., Jordán, V., Rojas, F., . . . Jung, J. (2020). *Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19*. Agenda Digital Regional eLAC 2020-2022. CAF y CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45360/4/OportDigitalizaCovid-19_es.pdf

Autoridad Nacional para la Innovación Gubernamental - AIG. (2021). *Agenda Digital Nacional 2021*. <https://aig.gob.pa/descargas/2019/06/agenda-digital-2021-aig.pdf>

Alonso, J. (2016). *Aplicaciones móviles en medicina y salud*. XII Jornadas APIS. Universidad de Coimbra: <https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/130118/Aplicaciones%20m%C3%93viles%20en%20medicina%20y%20salud.pdf;jsessionid=EC93CF80F599734FBB58A757942EBDF3?sequence=1>

Arias, E., Eusebio, J., Pérez, M., Vásquez, M. y Zoido, P. (2021). *Los Sistemas de Información y Gestión Educativa (SIGED) de América Latina y el Caribe: la ruta hacia la transformación digital de la gestión educativa*. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Educación. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Los-Sistemas-de-Informacion-y-Gestion-Educativa-SIGED-de-America-Latina-y-el-Caribe-la-ruta-hacia-la-transformacion-digital-de-la-gestion-educativa.pdf>

Bascones, L., Martorell, V. y Turrero, M. (2021). *Accesibilidad en las aplicaciones y dispositivos de telemonitorización de la salud. Un acercamiento a la realidad*. Fundación ONCE para la Cooperación e Inclusión Social de Personas con Discapacidad.

http://riberdis.cedd.net/bitstream/handle/11181/6326/Accesibilidad_aplicaciones_y_dispositivos_telemonitorizaci%C3%B3n_salud.pdf?sequence=1

Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. Santiago: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46816/1/S2000961_es.pdf

Corporación Andina de Fomento. (2021). *IDEAL 2021: El impacto de la digitalización para reducir brechas y mejorar los servicios de infraestructura*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1762#:~:text=Resumen,expuestos%20a%20ese%20avance%20tecnol%C3%B3gico>.

Díaz, B., Mulder, N., Corcuera, S., Weck, W., Barreiros, L., Contreras, R. y Patiño, A. (2021). *Recuperación Económica tras la Pandemia Covid-19*. Banco Interamericano de Desarrollo <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Recuperacion-economica-tras-la-pandemia-COVID-19-empoderar-a-America-Latina-y-el-Caribe-para-un-mejor-aprovechamiento-del-comercio-electronico-y-digital.pdf>

Dueñas, J. (2020). *Tecnologías móviles, un ingrediente fundamental para la Transformación Digital*. *Impactotic.com*. <https://impactotic.co/tecnologias-moviles-un-ingrediente-fundamental-para-la-transformacion-digital/>

Educación 3.0. (s.f.). 33 plataformas para la gestión de centros educativos. *EDUCACIÓN 3.0*. <https://www.educaciontrespuntocero.com/recursos/plataformas-gestion-escolar/>

García, A., Martínez, R., Puig, P., Schneider, C. e Iglesias, E. (2021). *La situación actual y los desafíos del sector de telecomunicaciones de Panamá*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-situacion-actual-y-los-desafios-del-sector-de-telecomunicaciones-de-Panama.pdf>

Márquez, I. (2017). *El smartphone como metamedio*. *Observatorio (OBS*) Journal*, 61-71. <https://pdfs.semanticscholar.org/081a/89a22276a732ecff43caf68640d1cd5f350c.pdf>

- Martínez, R., Palma, A. y Velásquez, A. (2020). *Revolución tecnológica e inclusión social: reflexiones sobre desafíos y oportunidades para la política social en América Latina*. CEPAL, serie Políticas Sociales, 233.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45901/1/S2000401_es.pdf
- Ministerio de Educación - MEDUCA. (2014). *Plan Estratégico del Ministerio de Educación 2014-2019*.
https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/siteal_panama_0073.pdf
- Pittí, A., Gaudin, Y. y Hess, S. (2021). *Caracterización de los espacios rurales en Panamá a partir de estadísticas nacionales: enfoque social, económico y demográfico*. CEPAL, Documentos de proyectos.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46797/1/S2100206_es.pdf
- Reicheneder, D. (2022). La fábrica digital y los datos conectados: el futuro de la fabricación. Redshift. *Estrategia Industrial y Empresarial, Diseño y Fabricación*.
<https://redshift.autodesk.es/fabrica-digital/>
- Rodríguez, M. y Gallardo, C. (2021). La generación milenial y los cambios tecnológicos. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9 (1), 5 – 23.
https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/2614/2362
- Spinelli, O. y Dreizzen, E. (2021). Códigos QR en Educación Médica, Parte 1. Un puente Analógico – Digital. *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas*, 54(2), 111-120.
<https://doi.org/10.18004/anales/2021.054.02.111>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). *El acceso a Internet en los hogares de las zonas urbanas duplica el de las zonas rurales*. Comunicado de prensa.
<https://www.itu.int/es/mediacentre/Pages/pr27-2020-facts-figures-urban-areas-higher-internet-access-than-rural.aspx>

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



Yanes, J. (2019). Tecnologías móviles para el desarrollo del tercer mundo. *Openmind BBVA*.

<https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/tecnologias-moviles-para-el-desarrollo-del-tercer-mundo/>

Yarad, V. (2020). Capitalismo y arqueología tecnológica: análisis sobre el uso de dispositivos digitales. *Anagramas Rumbos y Sentidos de la Comunicación*, 19 (38), 109-128.

<https://doi.org/10.22395/angr.v19n38a6>



Modelación del flujo de microplásticos y la interacción de contaminantes químicos orgánicos en sistemas acuáticos

Modeling microplastics flow and interaction of organic chemical pollutants in aquatic systems

Peter Leonel Vera Bravo¹, Rosa Alexandra Córdova-Mosquera²,
Ernesto Alonso Rosero Delgado³

¹ Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Postgrado, Programa de Maestría de Ingeniería Química. Portoviejo, Manabí, Ecuador. pvera0287@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0003-0264-1728

² Universidad Técnica de Manabí; Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas; Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología. Portoviejo, Manabí, Ecuador. rcordova@utm.edu.ec ORCID: 0000-0003-4299-4798

³ Universidad Técnica de Manabí; Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas; Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología. Portoviejo, Manabí, Ecuador. ernesto.rosero@utm.edu.ec ORCID: 0000-0001-8878-8522

Resumen

Los microplásticos son uno de los principales contaminantes del ambiente. Estos pueden transportarse entre diferentes medios acuáticos y actúan como captadores de contaminantes orgánicos persistentes altamente nocivos. El presente artículo aborda la revisión sistemática de la literatura sobre la modelación del flujo de microplásticos y la interacción de contaminantes químicos orgánicos presentes en sistemas acuáticos. Se analizaron producciones científicas, en su mayoría, dentro del período de 2012 a 2020. Se evidenció que muchos enfoques de modelos desarrollados para otros tipos de partículas se aplican también al flujo de los microplásticos en el medioambiente. Sin embargo, la alta persistencia, baja densidad y diversidad de tamaños extremadamente amplia de los plásticos, hacen que el comportamiento del sistema muestre una variedad mucho más extensa. Por otra parte, se considera que la presencia de microplásticos puede limpiar o contaminar un sistema u organismo, dependiendo del gradiente de concentración entre el microplástico y la matriz, ya sea un tejido o un sistema acuoso. Los modelos de

simulación han demostrado ser útiles para analizar mecánicamente estas consideraciones. No obstante, la información encontrada sobre la validación de tales modelos es limitada y adicional se requiere trabajo experimental para enfatizar adecuadamente las variables involucradas, considerando la diversidad de organismos y productos químicos que interactúan en los ecosistemas involucrados.

Palabras clave: Enfoques de modelos; partículas; persistencia; gradiente de concentración; contaminantes orgánicos persistentes.

Abstract

Microplastics are one of the main pollutants of the environment. These can be transported between different aquatic environments and act as a capture of highly harmful and toxic Persistent Organic Pollutants. This article deals with the systematic review of the literature on microplastic flow modeling, and the interaction of organic chemical pollutants present in aquatic systems. Scientific productions were analyzed, mostly, within the period from 2012 to 2020. It was evidenced that many model approaches developed for other types of particles are also applicable to the flux of microplastics in the environment. However, the high persistence, low density, and extremely wide size diversity of the plastics mean that the behavior of the system shows a much wider variety. On the other hand, it is considered that the presence of microplastics may cleanse or contaminate a system or organism, depending on the concentration gradient between the microplastic and the matrix, whether it is tissue or an aqueous system. Simulation models have proved useful in mechanically analyzing these considerations. However, the information found on the validation of such models is limited, and additional experimental work is required to adequately emphasize the variables involved, considering the variety of organisms and chemicals that interact in the ecosystems involved.

Keywords: Model approaches; particles; persistence; concentration gradient; persistent organic pollutants.

Introducción

La contaminación por el uso excesivo de plástico y su disposición final es un tema de interés cotidiano. Se considera que alrededor del 80% de la basura que se encuentra en los océanos corresponde a materiales plásticos de diferentes tamaños (Akabay & Özdemir, 2016). Los residuos plásticos debido a la radiación ultravioleta y a la erosión mecánica a la que están expuestos durante el flujo en los diferentes sistemas contaminados se degradan gradualmente en pequeños fragmentos que pueden clasificarse por su tamaño como macrolásticos (> 25 mm), mesoplásticos (5 mm a 25 mm), microplásticos (1 μm a 5 mm) y nanoplásticos. (1 nm a 1 μm) (Campoy & Beiras, 2019).

Hoy en día los microplásticos son un tema de creciente preocupación ya que estas partículas debido a su pequeño tamaño son capaces de adsorber contaminantes orgánicos presentes en sistemas acuáticos (Iñiguez, Conesa, & Fullana, 2017), que al ser ingeridos por animales marinos provocan daños físicos como ulceraciones internas (Zhao, Zhu, Wang, & Li, 2014) y daños por toxicidad producto de la lixiviación de los elementos que conforman su composición (Sarria & Gallo, 2016). Se ha encontrado que en organismos marinos existe acumulación de microplásticos en células y tejidos (Sharma & Chatterjee, 2017), y estos pueden acabar en el sistema digestivo de los seres humanos debido a su bioacumulación en la cadena trófica (Javier Ramírez, 2018), es así que, los posibles efectos peligrosos en los humanos por la ingestión alternativa de macropartículas plásticas pueden causar alteraciones en los cromosomas que conducen a infertilidad, obesidad y cáncer (Sharma & Chatterjee, 2017).

Existen algunos reportes que informan de la presencia de microplásticos en aguas continentales (ríos y lagos) (Waller et al., 2017) y en aguas residuales domésticas (Ramírez, Alcañiz, Hernández, Lincon, & Fernández, 2019). Así mismo, de la presencia de estas partículas en algunas especies de peces (Condor, Villasante, Riva, Panduro, & Cruz, 2019), productos como la leche (Kutralam, Pérez, Elizald, & Shruti, 2020), sal de mar (Karami et al., 2017), agua embotellada (Pastor & Agulló, 2019), azúcar y miel (Liebezeit & Liebezeit, 2013).

Cuantificar el transporte de desechos plásticos entre los diferentes sistemas acuáticos es fundamental para evaluar los riesgos de los desechos plásticos para la salud humana y el medio ambiente (Iwasaki, Isobe, Kako, Uchida, & Tokai, 2017; Siegfried, Koelmans, Besseling, & Kroeze, 2017). Además, generalmente se supone que los microplásticos pueden actuar como vector para el transporte de productos químicos asociados con las partículas plásticas, como contaminantes orgánicos persistentes (COP) o aditivos, monómeros u oligómeros residuales de las moléculas componentes de los plásticos (Gouin, Roche, Lohmann, & Hodges, 2011; Teuten, Rowland, Galloway, & Thompson, 2007; Teuten et al., 2009).

Los modelos matemáticos que explican el flujo de los desechos plásticos en sistemas acuáticos o terrestres, así como la bioacumulación de estos materiales en organismos acuáticos, pueden complementar la información de mediciones, desempeñando un papel importante en la evaluación del riesgo que representa la presencia de microplásticos en los sistemas acuáticos. En este artículo se realiza una revisión del conocimiento actual con respecto a la posible interacción entre los contaminantes químicos orgánicos persistentes (COP) y microplásticos (MP) presentes en sistemas y organismos acuáticos, así como los flujos que toman estas micropartículas en los cuerpos de agua.

Metodología

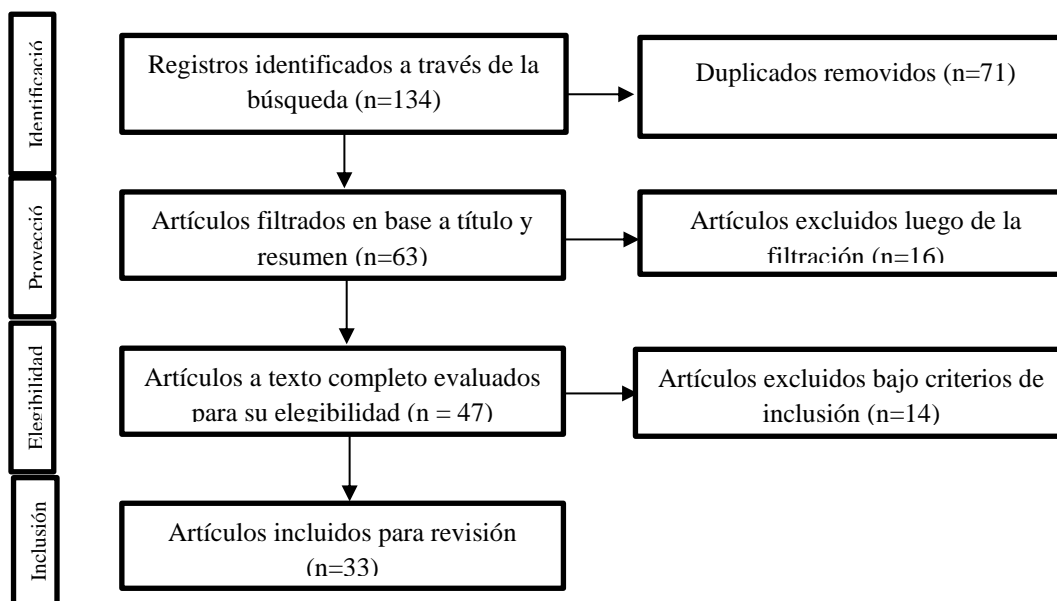
Se realizó una revisión sistemática empleando combinaciones de las siguientes palabras claves: *microplastics*, *transport*, *modeling*, *bioaccumulation*, *leaching*, *plastic additives*, *marine organisms*. Se recurrió a información de artículos científicos en su mayoría relacionados a Elsevier, Scopus y Science Direct. Además, se realizaron búsquedas de apoyo con Google Scholar. Los artículos fueron seleccionados para su inclusión en esta revisión basado en la relevancia de la información para el tema de flujo de microplásticos y su interacción con contaminantes químicos orgánicos, que incluyan la descripción del modelo, su aplicación y los procesos influyentes, en su mayoría, dentro del período de 2012 a 2020. Además, se incluyeron estudios complementarios para

ayudar a establecer el nivel actual de comprensión acerca del modelado matemático con relación a la contaminación microplástica en ambientes acuáticos.

El establecimiento de estos criterios permitió depurar la información, descartando los artículos que no contenían información suficientemente relacionada con el objetivo de la investigación. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de búsqueda y selección.

Figura 1

Diagrama de flujo sobre la búsqueda sistemática



Resultados

Los artículos seleccionados que cumplieron los criterios de inclusión mostraron un gran aporte para los aspectos y fenómenos a estudiar y, por tanto, de resultados (Véase Tabla 1).

Tabla 1

Artículos incluidos en la revisión sobre flujo de microplásticos y de interacción con contaminantes químicos orgánicos

#	Estudio (Autor, año)	Modelo	Información complementaria al modelo	Factores influyentes en el fenómeno
Fenómeno de estudio: Flujo de los microplásticos en ecosistemas acuáticos.				
1	Wright, Thompson, and Galloway (2013).			x
2	Kooi, Besseling, Kroeze, Van Wezel, and Koelmans (2018).			x
3	Siegfried et al. (2017)	x		
4	Mayorga et al. (2010)		x	
5	Seitzinger et al. (2010)		x	
6	Iwasaki et al. (2017)	x		
7	Critchell and Lambrechts (2016)		x	
8	Isobe, Kubo, Tamura, Nakashima, and Fujii (2014)	x		
9	Maximenko, Hafner, and Niiler (2012)		x	
10	Zhang (2017)		x	
11	Unice et al. (2019a)	x		
12	Unice et al. (2019b)	x		
13	Besseling, Quik, Sun, and Koelmans (2017)	x		
14	Quik, de Klein, and Koelmans (2015)		x	
15	Atteia (1998)		x	
16	Burd and Jackson (2009)		x	
17	Farley and Morel (1986)		x	
18	Meesters, Koelmans, Quik, Hendriks, and van de Meent (2014)		x	
19	Sani-Kast et al. (2015)		x	
Fenómeno de estudio: Interacciones entre COP y microplásticos en matrices acuáticas.				
20	Browne, Dissanayake, Galloway, Lowe, and Thompson (2008)			x
21	Murray and Cowie (2011)			x
22	Alimba and Faggio (2019)			x
23	Hammer, Kraak, and Parsons (2012)			x
24	Teuten et al. (2007)	x		
25	Rochman, Manzano, Hentschel, Simonich, and Hoh (2013)		x	
26	Gallo et al. (2018)		x	
27	Castañeta, Gutiérrez, Nacaratte, and Manzano (2020)		x	
28	Mao et al. (2020)		x	
29	Groh et al. (2019)		x	
30	Albert A. Koelmans, Besseling, and Foekema (2014)	x		
31	Albert A Koelmans, Besseling, Wegner, and Foekema (2013)	x		
32	Gouin et al. (2011)		x	
33	Hendriks, van der Linde, Cornelissen, and Sijm (2001)		x	

Modelos de evaluación del flujo de los microplásticos en ecosistemas acuáticos

En la literatura se han identificado varios aspectos que proporcionan una descripción general de los procesos físicos involucrados en el movimiento de microplásticos que se abordan cuando se modela. El tamaño, la forma y la densidad de las partículas influyen en su comportamiento de transporte y destino en el ambiente acuático (Wright et al., 2013). Existen pocos modelos que simulen este fenómeno. En el caso particular de microplásticos y nanoplásticos, puede estar sujeto a una solución similar a la de coloides naturales y sólidos en suspensión (Kooi et al., 2018). Por lo tanto, tales partículas naturales pueden servir como guía para algunas clases de desechos plásticos y modelos que simulan el transporte de dichas partículas, pudiendo formar la base para el desarrollo de modelos de transporte para desechos plásticos.

Existe un enfoque de modelado para analizar la composición y cantidad de flujos de microplásticos de fuente puntual desde los ríos europeos hasta el mar (Siegfried et al., 2017). Dicho enfoque de modelado está inspirado en un modelo global existente para nutrientes, el modelo de Global NEWS (Exportación de Nutrientes de Cuencas Hidrográficas) (Mayorga et al., 2010; Seitzinger et al., 2010). El modelo representa diferentes tipos y fuentes de microplásticos que ingresan a los sistemas fluviales a través de fuentes específicas, como productos para el cuidado personal, lavandería, polvo doméstico y partículas de desgaste de neumáticos y carreteras (TRWP).

Se determinó que la mayoría de los microplásticos modelados transportados por los ríos a los mares fueron polímeros sintéticos de TRWP (42%) y textiles a base de plástico desgastados durante el lavado (29%). Se estableció que el transporte de microplásticos difiere en gran medida entre los ríos europeos, debido a las diferencias en el desarrollo socioeconómico y el estado tecnológico de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Alrededor de dos tercios de los microplásticos modelados en este estudio fluyen hacia el Mediterráneo y el Mar Negro. Esto se justificó por la eficiencia relativamente baja de eliminación de microplásticos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en las cuencas de los ríos que drenan en estos dos mares. Este estudio no proporcionó un modelo validado que pueda predecir con certeza la exportación o transporte de microplásticos. Sin embargo, proporcionaron una metodología muy necesaria para evaluar los microplásticos

transportados por los ríos a los mares, lo cual fue un primer paso importante para obtener una mejor comprensión de los patrones espaciales de la exportación de plástico a los ecosistemas marinos.

En este mismo sentido, pero incluyendo variedad de tamaños de partículas, existe un modelo numérico para reproducir los procesos de transporte oceánico de microplásticos y mesoplásticos, tomando como referencia el mar de Japón (Iwasaki et al., 2017). Se empleó un modelo de seguimiento de partículas (PTM) tridimensional en el que las partículas modeladas fueron transportadas por una combinación de las corrientes oceánicas superficiales, proporcionadas por los datos de reanálisis oceánico, y la deriva de Stokes, calculada por separado en un modelo de onda impulsado por vientos derivados de satélites. Los resultados modelados fueron validados utilizando datos adquiridos durante los estudios de campo intensivos de mesoplásticos y microplásticos en Japón en 2014 y 2015. La incorporación de la deriva de Stokes en el PTM se justificó mediante la comparación de las distribuciones observadas y modeladas de pequeños fragmentos de plástico. Además, la comparación estableció las limitaciones del modelo presentado.

Respecto a sus características, se puede considerar a este modelo como impreciso al reflejar la comprensión del destino de estos fragmentos de plástico en el océano. De hecho, la correlación espacial entre la proporción de mesoplásticos observados y modelados en el Mar de Japón no fue significativa. Una forma de mejorar la precisión del modelo podría ser, considerando la degradación de los mesoplásticos a microplásticos (Critchell & Lambrechts, 2016).

Anteriormente también se había empleado este modelo para interpretar las distribuciones de pequeños fragmentos de plástico y los posibles procesos de transporte en aguas costeras (Isobe et al., 2014). En este caso, el modelo numérico reprodujo la captura de mesoplásticos cerca de la costa, lo que sugiere que los mesoplásticos se transportan selectivamente a tierra por una combinación de deriva de Stokes y velocidad terminal, dependiendo del tamaño de los fragmentos. Sin embargo, aún es incompleto para descubrir el destino de los fragmentos plásticos en el océano. Una de las limitaciones es que la cantidad total de los fragmentos de plástico son constantes dentro del dominio del modelo.

En general, es una tarea difícil cuantificar verdaderamente los desechos plásticos, su velocidad de carga en los océanos, su velocidad degradante, y la creciente adición de pequeños

fragmentos de plástico. Además de la deriva de Stokes incorporada en el presente modelo numérico, en el mundo real, los fragmentos de plástico también son transportados por la circulación de Langmuir, la deriva de Ekman (Maximenko et al., 2012) y las corrientes oceánicas ambientales (Zhang, 2017). Por lo tanto, el destino de los desechos plásticos permanecerá ambiguo a menos que se realice más investigaciones para descubrir nuevas vías oceánicas.

Por otra parte, se desarrolló un modelo de balance de masas a escala de cuenca hidrográfica para TRWP en la cuenca del Sena (Francia) (Unice et al., 2019a). Este balance considera la generación de TRWP y el transporte terrestre al suelo, el aire y las carreteras, así como los procesos de transporte en aguas superficiales, que incluyen la heteroagrupación de partículas, la degradación y la sedimentación dentro de las subcategorías. En consideración a los resultados mostrados con el uso de este modelo, se puede considerar como una metodología flexible para un balance de masa TRWP, incluidos los procesos de destino capaces de respaldar una evaluación de referencia a nivel de detección. Sin embargo, la incertidumbre en estimaciones y los datos limitados de muestreo ambiental, representan inconvenientes, que, si bien es cierto, podrían complementarse con un análisis de incertidumbre y sensibilidad. Por lo tanto, las evaluaciones de balance de masa de microplásticos son una importante herramienta en caracterizaciones de riesgo de estas micropartículas.

Se conoce que el transporte fluvial al medio marino es una vía importante para el microplástico. No obstante, existe poca información sobre el destino y el transporte de nano y microplásticos en los sistemas de agua superficiales, como los ríos. En este aspecto, se analizó un estudio sobre el destino y el transporte de partículas esféricas de tamaño nanométrico a milimétrico como microperlas (100 nm – 10 mm) con un modelo hidrológico de resolución espacial y técnica de vanguardia (Besseling et al., 2017).

El modelo utilizado se denomina NanoDUFLOW (Quik et al., 2015), empleado para la investigación de comportamiento de partículas plásticas en sistemas fluviales, tomando en cuenta, el transporte advectivo, la hetero y homoagregación, la sedimentación, suspensión, la degradación del polímero y la presencia de biopelículas. Para este modelado se recurrieron a conceptos tradicionales del modelo de partículas que, entre otros, se utilizaron para sólidos en suspensión,

coloides y algas (Atteia, 1998; Burd & Jackson, 2009; Farley & Morel, 1986) y en (nano-) modelos de transporte de partículas (Meesters et al., 2014; Sani-Kast et al., 2015).

Los datos para validar el modelo fueron extraídos de la literatura y, además, se determinó experimentalmente la eficacia del apego para la heteroagregación. Aunque los autores no proporcionan un modelo completamente validado que pueda simular todo tipo de partículas plásticas con certeza, el modelo es útil. Éste proporciona una herramienta generalizada que se puede implementar para otras cuencas. Además de ser, espacial y temporalmente explícito, con una alta calidad en los procesos hidrodinámicos, incluyendo la agregación y comportamiento de los nanoplásticos.

El tiempo de transporte o incluso la retención de los microplásticos puede considerarse como un índice que refleja un riesgo ambiental. Esto se debe a la posibilidad de que los organismos acuáticos ingieran micropartículas (Browne et al., 2008; Critchell & Lambrechts, 2016; Murray & Cowie, 2011), riesgo que podría aumentar cuanto más tiempo permanezcan los microplásticos dentro del sistema acuático.

Modelos para evaluar las interacciones entre contaminantes químicos orgánicos y microplásticos en matrices acuáticas

Más allá de las consecuencias externas a la que puede estar asociada la presencia de residuos plásticos en ecosistemas acuáticos, la ingestión de estos por parte de la biota marina también se deriva a los microplásticos que podrían afectar potencialmente por su naturaleza física y la transferencia de sustancias químicas asociadas con ellos.

El plástico puede actuar como un adsorbente ante contaminantes químicos presentes en medios acuáticos (Alimba & Faggio, 2019). Es así que, se podría reducir la concentración química de determinado contaminante en una matriz, si se le agregara plástico (Koelmans et al., 2013). En contraste, si el plástico agregado no estuviera limpio y presentara concentraciones proporcionalmente altas de productos químicos, estos terminarían siendo liberados, aumentando posiblemente las concentraciones químicas en matrices como el agua, suelo, incluida la biota

presente en ellos (Hammer et al., 2012; Koelmans et al., 2014). En consecuencia, el plástico puede actuar como fuente o adsorbente de contaminantes químicos orgánicos.

El efecto de adicionar plástico fue modelado empleando como base un balance de masa, bajo un enfoque de partición en equilibrio (Teuten et al., 2007). Se trabajó sobre un sistema cerrado de sedimento-agua, contaminado con fenantreno, al cual se le añadió plástico limpio. Sobre este modelo, llegaron a la conclusión de que la adición de plástico limpio reduciría la biodisponibilidad del contaminante, debido a la eliminación del fenantreno por el plástico. Aunque el efecto reportado fue pequeño (13 %), se identificaron los factores influyentes como los coeficientes de partición del plástico. Este modelo considera el sedimento, pero para los productos químicos hidrófobos, deberían agregarse otros parámetros importantes que describan el comportamiento de los microplásticos por ejemplo en el fitoplancton y el carbono orgánico disuelto (DOC).

Por lo tanto, los contaminantes químicos que los microplásticos pueden aportar en el medioambiente no se limitan simplemente a los que por composición le corresponden, sino que, además, estas partículas pueden interactuar y adsorber fácilmente sustancias tóxicas en su superficie, para luego liberarlas (Rochman et al., 2013). Estas sustancias pueden ser de naturaleza química muy variadas, como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), contaminantes orgánicos persistentes (COP), disruptores endocrinos (EDC), metales pesados, entre otros (Gallo et al., 2018; Rochman et al., 2013).

Esta capacidad puede verse influenciada por factores externos como el envejecimiento por radiación ultravioleta (UV), naturaleza del polímero, temperatura e hidrofobicidad (Castañeta et al., 2020). Por ejemplo, después de exposiciones prolongadas a radiación UV, el poliestireno aumenta su capacidad de adsorción de metales pesados (Mao et al., 2020). Así mismo, en otras matrices como los alimentos, se ha observado la liberación de compuestos químicos en comida que ha sido recalentada en contenedores plásticos (Groh et al., 2019). Respecto a estos sucesos, la modelación matemática ha sido empleada para comprender dichos procesos y evaluar los efectos que estos productos químicos asociados al plástico puedan provocar en su interacción con sistemas acuáticos y bioacumulación.

Se ha estudiado la adsorción de los aditivos plásticos, bisfenol A y nonilfenol, en el tracto intestinal de la lombriz (*A. marina*) y el bacalao (*Gadus morhua*), usando un modelo biodinámico (Koelmans et al., 2014). Este permitió calcular la contribución relativa de estas sustancias químicas que residen en el plástico ingerido, explicando la incertidumbre de los parámetros mediante modelos probabilísticos. A pesar de que se demostró la lixiviación de estas sustancias en los organismos, la transferencia química efectuada se estableció en concentraciones no relevantes, considerando la ingestión de plástico como una vía de exposición intrascendente en estos organismos evaluados.

Esto no significa que los peligros de los aditivos plásticos sean menos relevantes, pero puede implicar que la ingestión del plástico como una vía de exposición adicional para estos aditivos sea menos crítica de lo que se ha asumido. No obstante, esta apreciación podría ser variante si se consideran otras vías de exposición secundarias, que podrían conducir a un fenómeno de bioacumulación. En este sentido, Gouin et al. (2011) utilizó conceptos de partición de equilibrio para definir la distribución química de los COP entre el aire, el agua, los sedimentos y el plástico, y utilizaron modelos de bioacumulación en estado estacionario para evaluar su destino posterior en la red alimentaria. En lugar de considerar un producto químico, su análisis abarcó una amplia gama de hidrofobicidades químicas y coeficientes de partición aire-agua.

Entonces, la bioacumulación es otro fenómeno relacionado a los microplásticos y se puede modelar utilizando enfoques tradicionales que utilizan un balance de masa de los procesos de adsorción y pérdida (Hendriks et al., 2001). Muestra de aquello es un modelo que se empleó para analizar la bioacumulación de químicos hidrofóbicos de un ambiente que contiene plástico (Koelmans et al., 2013). El modelo representó la dilución de concentración de exposición por sorción de COP al plástico, el aumento de la bioacumulación por ingestión de plástico que contiene COP, y la disminución de la bioacumulación por ingestión de plástico limpio.

El modelo fue evaluado contra datos de bioacumulación obtenidos en bioensayos de laboratorio con microplástico poliestireno. Otros escenarios incluyeron microplásticos polietileno, plástico de tamaño nanométrico y sistemas marinos abiertos. El análisis del modelo mostró que el poliestireno tendrá un efecto decreciente sobre la bioacumulación, regido por la dilución. Para

adsorbentes más fuertes como el polietileno, la dilución, el vehículo y el mecanismo de limpieza fueron más sustanciales. En sistemas cerrados de bioensayo de laboratorio, la dilución y la limpieza dominaron la bioacumulación disminuida. Además, en los sistemas marinos abiertos se predijo una disminución debido a un mecanismo de limpieza que contrarresta la biomagnificación.

En general, los estudios experimentales actuales y los estudios modelo son consistentes en que pueden predecir un aumento en la bioacumulación si el microplástico es la única fuente de la sustancia química y la única vía de adsorción. Por el contrario, predicen una disminución en la bioacumulación cuando la dilución química supera la transferencia en el intestino.

En la Tabla 2 se muestra el resumen de los modelos utilizados para predecir el comportamiento del flujo de los microplásticos en sistemas acuáticos, así como la interacción dentro de dichos sistemas.



Tabla 2

Modelos considerados en la revisión sobre flujo de microplásticos y de interacción con contaminantes químicos

Modelo	Tamaño referencial	Aplicación	Fenómenos o procesos influyentes	Referencia
Modelos de evaluación del flujo de los microplásticos en ecosistemas acuáticos				
Adaptado de un modelo de exportación de nutrientes de cuencas hidrográficas. (Sistema Global NEWS)	Microplásticos. (<5mm)	Movimiento del contaminante desde fuentes puntuales, por los ríos hasta el mar.	Fuentes puntuales de emisión (productos de cuidado personal, fibras plásticas del polvo doméstico, TRWP).	Siegfried et al., 2017
Adaptado de un modelo de seguimiento de partículas. $X(t + \Delta t) = X(t) + U\Delta t + \frac{1}{2} \left(U \cdot \nabla_H U + \frac{\partial U}{\partial t} \right) \Delta t^2 + R\sqrt{2K_h}\Delta t(i, j)$ Donde: $U [= (u, v)]$, K_h , i y j son el vector de corriente horizontal, la difusividad horizontal y los vectores unitarios en las direcciones zonal (x) y meridional (y), respectivamente. R representa un número aleatorio generado en cada paso de tiempo con un promedio y una desviación estándar de 0.0 y 1.0.	Microplásticos y mesoplásticos. (<10mm)	Transporte oceánico, bajo influencia de factores externos.	Corrientes superficiales, olas, viento.	Isobe et al., 2014; Iwasaki et al., 2017

<p>Adaptado de un modelo de balance de masas.</p> $\frac{d(V_a C_a)}{dt} = E_a + \sum_{b \neq a} Q_{ba} C_b - \sum_{b \neq a} Q_{ab} C_a - k_a V_a C_a$ <p>Donde: <i>a</i> es el índice de compartimento de subcuenca, <i>b</i> es el número de índice de compartimentos que comparten contacto con el compartimento <i>a</i>, <i>V_a</i> es el volumen del compartimento, <i>C_a</i> y <i>C_b</i> son concentraciones a granel, <i>E_a</i> es la tasa de emisión en el compartimento <i>a</i>, <i>Q_{ba}</i> y <i>Q_{ab}</i> variables de tasa de transporte, y <i>K_a</i> es tasa de reacción.</p>	<p>Microplásticos. (<5mm)</p>	<p>Destino y transporte de TRWP a escala de cuenca hidrográfica.</p>	<p>Generación de TRWP, transporte terrestre, por aire y agua dulce, heteroagregación de partículas, degradación y sedimentación.</p>	<p>Unice et al., 2019a, 2019b</p>
<p>Aplicación del modelo hidrológico de resolución espacial. (Modelo NanoDUFLOW)</p>	<p>Nano y microplásticos. (100 nm – 10 mm)</p>	<p>Destino y retención de estas micro y nanopartículas en los ríos.</p>	<p>Advección, hetero y homoagregación, sedimentación, suspensión, degradación del polímero y presencia de biopelículas.</p>	<p>Besseling et al., 2017</p>
<p>Modelos para evaluar las interacciones entre contaminantes químicos orgánicos y microplásticos en matrices acuáticas</p>				
<p>Basado en un enfoque de balance de masa</p> $C_{aq} = \frac{M_{PHE}}{\sum K_{di} M_i + V}$ <p>Donde: <i>C_{aq}</i> es la concentración de fenantreno en fase acuosa, <i>M_{PHE}</i> la masa de fenantreno en el sistema, <i>M_i</i> es la masa de la fase sólida (<i>i</i>), <i>V</i> es el volumen de agua intersticial, <i>K</i> el coeficiente de distribución.</p>	<p>Microplásticos. (200-250µm)</p>	<p>Sorción y desorción de contaminantes químicos por plásticos.</p>	<p>Área de superficie plástica, coeficientes de distribución, concentración de contaminante.</p>	<p>Teuten et al., 2007</p>
<p>Modelo biodinámico</p> $C_{PLR,t} = \frac{k_1 C_{PL}^{Ing} - k_2 C_{L,t}^{Ing}}{k_1 + \frac{M_{PL}}{M_L}} (1 - e^{-(k_1 + \frac{M_{PL}}{M_L}) GRT_t})$ <p>Donde: <i>C_{PLR,t}</i> es la concentración en plástico que ha sido adsorbida, <i>K₁</i> y <i>K₂</i> son las constantes de velocidad aparente de primer orden para el transporte de plástico a lípido y de lípido a plástico, <i>M_{PL}</i> y <i>M_L</i> son la masa plástica y masa lipídica en el organismo. <i>GRT_t</i> es el tiempo de residencia intestinal, <i>C_{PL}^{Ing}</i> concentración en plástico (fuera del gusano) y en el momento de la ingestión) y <i>C_{L,t}^{Ing}</i> la concentración normalizada de lípidos en la biota.</p>	<p>Microplásticos. (<5mm)</p>	<p>Efectos del plástico en la bioacumulación de COP. Potencial de lixiviación de nonilfenol y bisfenol A en tracto intestinal de especies acuáticas.</p>	<p>Procesos de adsorción y pérdida, gradiente de concentración entre los lípidos, plásticos y biota. Parámetros biológicos, retención intestinal, adsorción dérmica, egestión.</p>	<p>Albert A. Koelmans et al., 2013 Albert A. Koelmans et al., 2014</p>

Conclusiones

La modelación del flujo de microplásticos ha incorporado información útil sobre el destino y transporte de estas micropartículas a lo largo de sistemas acuáticos, ya sea oceánicos o de aguas superficiales, como ríos, lagos, así como también los fenómenos adsorción y bioacumulación de contaminantes químicos orgánicos. Ante la escasez de datos, todos estos modelos revisados pueden ser considerados como métodos complementarios. Al ser los microplásticos un contaminante emergente, aún queda mucho por analizar, no obstante, la adaptación de modelos ya existentes que simulan otros tipos de partículas ha resultado de gran utilidad para el estudio del comportamiento de los microplásticos y sus interacciones con el medio.

Entre los modelos desarrollados para la evaluación del flujo de microplásticos en sistemas acuáticos están aquellos basados en balances de masa, seguimientos de partículas, incluso de exportación de nutrientes, los cuales han sido modificados con variables y características correspondientes al plástico y al sistema en el cual se encuentran. Sin embargo, hace falta una estandarización de propiedades, unidades, y métodos para su análisis, que hacen que estos modelos aún no se encuentren completamente calibrados y validados. Se podría mejorar la precisión si se tienen en cuenta los factores ambientales como agregación y sedimentación, y la degradación del tamaño de partículas plásticas.

Tanto el transporte como la retención de microplásticos son indicadores de un riesgo ambiental que va en crecimiento, tomando en consideración que muchos organismos acuáticos están expuestos a ingerir estas micropartículas, pudiendo llegar hasta el ser humano. En base a esto, se discutió la influencia de los microplásticos en la adsorción y bioacumulación de los COP. Se revisaron estudios de autores que han proporcionado descripciones de modelos matemáticos para cuantificar los efectos de los procesos mencionados, evidenciándose que los efectos del microplástico pueden evaluarse considerando que estos pueden actuar como fuente o adsorbente dependiendo de las concentraciones iniciales de cada matriz.

La evaluación de riesgos de los productos químicos asociados al plástico no solo debe centrarse en biota y productos químicos particulares, sino también en enfoque de sistemas que representa todas las vías de exposición, incluido el aumento de la red alimentaria y las mezclas químicas, es por ello que se necesita una mejor comprensión cuantitativa con respecto al papel de la ingestión microplástica en la transferencia química de estos compuestos.

Referencias Bibliográficas

- Akbay, İ., & Özdemir, T. (2016). Monomer migration and degradation of polycarbonate via UV-C irradiation within aquatic and atmospheric environments. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 53(6), 340-345. <https://doi.org/10.1080/10601325.2016.1165999>
- Atteia, O. (1998). Evolution of size distributions of natural particles during aggregation: modelling versus field results. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 139(2), 171-188. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(98\)00279-9](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(98)00279-9)
- Besseling, E., Quik, J. T., Sun, M., & Koelmans, A. A. (2017). Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution*, 220, 540-548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42(13), 5026-5031. <https://doi.org/10.1021/es800249a>
- Burd, A. B., & Jackson, G. A. (2009). Particle aggregation. *Annual review of marine science*, 1, 65-90. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163904>
- Campoy, P., & Beiras, R. (2019). Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11), 581.

- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplastics: a contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37, 142-157. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>
- Condor, E., Villasante, Y., Riva, A., Panduro, G., & Cruz, A. (2019). Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente* (4), 79-92. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.004>
- Critchell, K., & Lambrechts, J. (2016). Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 171, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.036>
- Farley, K. J., & Morel, F. M. (1986). Role of coagulation in the kinetics of sedimentation. *Environmental Science & Technology*, 20(2), 187-195. <https://doi.org/10.1021/es00144a014>
- Gallo, F., Fossi, C., Weber, R., Santillo, D., Sousa, J., Ingram, I., . . . Romano, D. (2018). Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environmental Sciences Europe*, 30, 13. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0139-z>
- Gouin, T., Roche, N., Lohmann, R., & Hodges, G. (2011). A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. *Environmental Science & Technology*, 45(4), 1466-1472. <https://doi.org/10.1021/es1032025>
- Groh, K. J., Backhaus, T., Carney-Almroth, B., Geueke, B., Inostroza, P. A., Lennquist, A., . . . Trasande, L. (2019). Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of the Total Environment*, 651, 3253-3268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015>

- Hammer, J., Kraak, M. H., & Parsons, J. R. (2012). Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 220, 1-44. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6_1
- Hendriks, A. J., van der Linde, A., Cornelissen, G., & Sijm, D. T. (2001). The power of size. 1. Rate constants and equilibrium ratios for accumulation of organic substances related to octanol-water partition ratio and species weight. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 20(7), 1399-1420.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Pollutant content in marine debris and characterization by thermal decomposition. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 359-365. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.022>
- Isobe, A., Kubo, K., Tamura, Y., Nakashima, E., & Fujii, N. (2014). Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 89(1-2), 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.041>
- Iwasaki, S., Isobe, A., Kako, S. i., Uchida, K., & Tokai, T. (2017). Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: A numerical model approach in the Sea of Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1-2), 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.057>
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C., Larat, V., Galloway, T., & Salamatinia, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*, 7, 46173. <https://doi.org/10.1038/srep46173>
- Koelmans, A. A., Besseling, E., & Foekema, E. M. (2014). Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environmental Pollution*, 187, 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.013>
- Koelmans, A. A., Besseling, E., Wegner, A., & Foekema, E. M. (2013). Plastic as a carrier of POPs to aquatic organisms: a model analysis. *Environmental Science & Technology*, 47(14), 7812-7820. <https://doi.org/10.1021/es401169n>

- Kooi, M., Besseling, E., Kroeze, C., Van Wezel, A. P., & Koelmans, A. A. (2018). Modeling the fate and transport of plastic debris in freshwaters: review and guidance. In: Wagner, M., Lambert, S. (eds) *Freshwater Microplastics*. The Handbook of Environmental Chemistry, 58. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_7
- Kutralam, G., Pérez, F., Elizald, M., & Shruti, V. (2020). Branded milks—Are they immune from microplastics contamination? *Science of the Total Environment*, 714, 136823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823>
- Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(12), 2136-2140. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025>
- Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., Yang, X., & Guo, X. (2020). Aging mechanism of microplastics with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 393, 122515. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122515>
- Maximenko, N., Hafner, J., & Niiler, P. (2012). Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters. *Marine Pollution Bulletin*, 65(1-3), 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.016>
- Mayorga, E., Seitzinger, S. P., Harrison, J. A., Dumont, E., Beusen, A. H., Bouwman, A., . . . Van Drecht, G. (2010). Global nutrient export from WaterSheds 2 (NEWS 2): model development and implementation. *Environmental Modelling & Software*, 25(7), 837-853. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.01.007>
- Meesters, J. A., Koelmans, A. A., Quik, J. T., Hendriks, A. J., & van de Meent, D. (2014). Multimedia modeling of engineered nanoparticles with SimpleBox4nano: model definition and evaluation. *Environmental Science & Technology*, 48(10), 5726-5736. <https://doi.org/10.1021/es500548h>

- Murray, F., & Cowie, P. R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*, 62(6), 1207-1217. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.032>
- Pastor, C., & Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93(28), 1-10.
- Quik, J. T., de Klein, J. J., & Koelmans, A. A. (2015). Spatially explicit fate modelling of nanomaterials in natural waters. *Water Research*, 80, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.025>
- Ramírez, J. (2018). Plásticos y microplásticos en agua, un problema mundial que afecta nuestros sistemas acuáticos. *Ingeniería y Región*, 19. <https://doi.org/10.25054/22161325.2027>
- Ramírez, J., Alcañiz, L., Hernández, S., Lincon, E., & Fernández, S. (2019). Minimización de microfibras en ciclo de vida de los productos textiles y en el tratamiento de aguas residuales: Proyecto Fiberclean. *Tecnoaqua*, 36, 53-57.
- Rochman, C. M., Manzano, C., Hentschel, B. T., Simonich, S. L. M., & Hoh, E. (2013). Polystyrene plastic: a source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. *Environmental Science & Technology*, 47(24), 13976-13984. <https://doi.org/10.1021/es403605f>
- Sani-Kast, N., Scheringer, M., Slomberg, D., Labille, J., Praetorius, A., Ollivier, P., & Hungerbühler, K. (2015). Addressing the complexity of water chemistry in environmental fate modeling for engineered nanoparticles. *Science of the Total Environment*, 535, 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.025>
- Sarria, R., & Gallo, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27.
- Seitzinger, S., Mayorga, E., Bouwman, A., Kroeze, C., Beusen, A., Billen, G., . . . Garnier, J. (2010). Global river nutrient export: A scenario analysis of past and future trends. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4). <https://doi.org/10.1029/2009GB003587>

- Sharma, S., & Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21530-21547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>
- Siegfried, M., Koelmans, A. A., Besseling, E., & Kroeze, C. (2017). Export of microplastics from land to sea. A modelling approach. *Water Research*, 127, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.011>
- Teuten, E. L., Rowland, S. J., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Science & Technology*, 41(22), 7759-7764. <https://doi.org/10.1021/es071737s>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., . . . Yamashita, R. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Unice, K., Weeber, M., Abramson, M., Reid, R., van Gils, J., Markus, A., . . . Panko, J. (2019a). Characterizing export of land-based microplastics to the estuary-Part I: Application of integrated geospatial microplastic transport models to assess tire and road wear particles in the Seine watershed. *Science of the Total Environment*, 646, 1639-1649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.368>
- Unice, K., Weeber, M., Abramson, M., Reid, R., van Gils, J., Markus, A., . . . Panko, J. (2019b). Characterizing export of land-based microplastics to the estuary-Part II: Sensitivity analysis of an integrated geospatial microplastic transport modeling assessment of tire and road wear particles. *Science of the Total Environment*, 646, 1650-1659. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.301>
- Waller, C., Griffiths, H., Waluda, C., Thorpe, S., Loaiza, I., Moreno, B., . . . Hughes, K. (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research. *Science of the Total Environment*, 598, 220-227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.283>



- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>
- Zhao, S., Zhu, L., Wang, T., & Li, D. (2014). Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: first observations on occurrence, distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 86(1-2), 562-568. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.032>



Validación de un marco ETL para migración de Koha en el Sistema de Bibliotecas de la Universidad de Panamá.

Validation of an ETL framework for the migration of Koha in the University of Panama Library System..

Edgar Joel Pérez Rivera

¹ Universidad de Panamá, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Panamá. edgar.perezr@up.ac.pa.
ORCID: 0000-0002-0466-001X

Resumen

La gestión automatizada de recursos bibliográficos en instituciones de educación superior depende estructuralmente de sistemas integrados de gestión bibliotecaria (ILS) cuya arquitectura relacional sostiene procesos críticos de catalogación, circulación y preservación histórica de información. En entornos de software libre, la flexibilidad tecnológica puede coexistir con escenarios de obsolescencia acumulativa cuando las actualizaciones no se realizan de manera periódica. El presente estudio valida empíricamente un marco metodológico basado en procesos ETL (Extracción, Transformación y Carga) aplicado al sistema de gestión bibliotecaria Koha desde la versión una obsoleta 3.12 hacia la versión 20.11. La investigación adopta un enfoque aplicado con diseño de estudio de caso instrumental desarrollado en una universidad pública latinoamericana. La estrategia implementada consistió en una migración base de datos a base de datos utilizando herramientas de ingeniería de datos de código abierto y un modelo iterativo de transformación estructural. Los resultados evidencian una recuperación aproximada del 98% del capital informacional histórico, preservando la integridad referencial y la funcionalidad validada institucionalmente. Se concluye que el enfoque ETL iterativo constituye una alternativa metodológica viable para superar bloqueos generacionales en sistemas ILS con obsolescencia crítica, especialmente en contextos académicos con restricciones presupuestarias.

Palabras clave: sistemas de gestión bibliotecaria, Koha, migración generacional, ETL, integridad referencial, software libre.



Abstract

The automated management of bibliographic resources in higher education institutions relies structurally on integrated library systems (ILS), whose relational architecture supports critical processes of cataloging, circulation, and the long-term preservation of information. In open-source software environments, technological flexibility can coexist with scenarios of cumulative obsolescence when updates are not performed on a regular basis. This study empirically validates a methodological framework based on ETL (Extract, Transform, Load) processes applied to the Koha library management system, migrating from the obsolete version 3.12 to version 20.11. The research adopts an applied approach using an instrumental case study design conducted at a Latin American public university. The implemented strategy consisted of a database-to-database migration using open-source data engineering tools and an iterative structural transformation model. The results show an approximate recovery of 98% of the historical information capital, preserving referential integrity and institutionally validated functionality. It is concluded that the iterative ETL approach constitutes a viable methodological alternative for overcoming generational barriers in critically obsolete ILS systems, especially in academic contexts with budgetary constraints.

Keywords: library management systems, Koha, system migration, ETL, referential integrity, open-source software.

Introducción

La evolución tecnológica en el ámbito de la educación superior ha transformado profundamente los modelos de gestión del conocimiento y de los servicios bibliotecarios. Las bibliotecas universitarias han pasado de estructuras centradas exclusivamente en colecciones físicas a ecosistemas híbridos que integran repositorios digitales, catálogos en línea, servicios remotos y herramientas de análisis bibliométrico. En este entorno, los sistemas integrados de gestión bibliotecaria (ILS) constituyen la infraestructura tecnológica que articula procesos administrativos, catalográficos y transaccionales, convirtiéndose en el núcleo operativo de la memoria institucional (Breeding, 2015).

La estabilidad y actualización de estas plataformas no solo impacta la eficiencia de los servicios, sino también la preservación del capital informacional acumulado durante años de actividad académica. Los



registros bibliográficos, historiales de préstamos, configuraciones de usuarios y estadísticas institucionales forman parte de un patrimonio digital cuya integridad es estratégica para la institución. La pérdida o corrupción de estos datos puede tener consecuencias administrativas, académicas y legales.

En este contexto, el uso de software libre en bibliotecas universitarias ha sido una estrategia adoptada ampliamente, especialmente en América Latina, debido a su bajo costo de licenciamiento y flexibilidad de personalización (Koha Community, 2020). Koha se ha consolidado como uno de los ILS de código abierto más difundidos a nivel internacional. No obstante, la adopción de software libre no elimina la necesidad de mantenimiento continuo ni la obligación de actualización periódica. Por el contrario, cuando las instituciones carecen de políticas formales de actualización, puede generarse acumulación progresiva de deuda tecnológica.

La deuda tecnológica, entendida como el costo diferido de decisiones técnicas postergadas, puede manifestarse en forma de incompatibilidades estructurales, vulnerabilidades de seguridad y dificultades de interoperabilidad (Kruchten et al., 2012). En sistemas relacionales complejos como los ILS, esta deuda se materializa cuando el esquema de base de datos evoluciona significativamente entre versiones y la institución permanece anclada a una arquitectura legacy durante múltiples ciclos de desarrollo.

Cuando la brecha entre versiones abarca periodos extensos, los mecanismos automatizados de actualización diseñados para migraciones secuenciales, pueden resultar inviables. El sistema puede carecer de scripts intermedios compatibles o presentar divergencias estructurales que impidan la ejecución directa del proceso. Esta situación produce un fenómeno de “lock-in” generacional, en el cual la organización queda atrapada en una versión obsoleta debido al riesgo de pérdida masiva de información en caso de migración superficial.

El caso analizado en este estudio representa precisamente un escenario de obsolescencia acumulativa. La versión instalada del sistema Koha correspondía a la 3.12 (año 2012), cuyo esquema relacional contenía 151 tablas. La versión objetivo de actualización fue la 20.11 (año 2020), que incorporaba 219 tablas estructurales. Este incremento cuantitativo refleja una transformación cualitativa del modelo de datos, incluyendo procesos de normalización adicional, nuevas estructuras de metadatos y reconfiguración de relaciones internas.

Ante la inviabilidad de utilizar herramientas nativas de actualización automática y el riesgo de pérdida informacional asociado a migraciones por exportación de registros MARC/XML, se optó por diseñar una estrategia de migración base de datos a base de datos mediante procesos ETL. El presente estudio tiene como objetivo validar empíricamente la eficacia de este enfoque para preservar la integridad referencial y recuperar

el capital informacional histórico en un contexto de migración generacional extensa.

Desde una perspectiva académica, la relevancia del estudio radica en que documenta y sistematiza un procedimiento replicable para instituciones que enfrentan condiciones similares de obsolescencia crítica. Asimismo, contribuye al campo de la ingeniería de datos aplicada a sistemas bibliotecarios, integrando marcos conceptuales de calidad de datos, deuda técnica y migración estructural.

Marco teórico

Sistemas integrados de gestión bibliotecaria y arquitectura relacional

Los sistemas integrados de gestión bibliotecaria (ILS) se constituyen como plataformas transaccionales que operan sobre bases de datos relacionales estructuradas en múltiples entidades interconectadas. Estas entidades modelan objetos bibliográficos, usuarios, procesos de circulación, adquisiciones, autoridades y configuraciones administrativas. La arquitectura relacional subyacente es el componente estructural que garantiza coherencia operativa entre los distintos módulos funcionales del sistema.

Desde el punto de vista de la teoría de bases de datos, la integridad referencial es el principio que asegura que las relaciones entre entidades se mantengan consistentes mediante el uso de llaves primarias y foráneas (Date, 2019). Cuando esta integridad se vulnera, el sistema puede generar inconsistencias tales como registros huérfanos, duplicidades no controladas o errores de transacción (Batini & Scannapieco, 2016). En un ILS, estas inconsistencias pueden traducirse en fallas en la recuperación de información, pérdida de trazabilidad histórica o corrupción de estadísticas institucionales.

Koha, como sistema de código abierto, ha evolucionado a lo largo de múltiples ciclos de desarrollo incorporando mejoras funcionales y reestructuraciones internas del modelo relacional. Breeding (2015) señala que los ILS contemporáneos han transitado hacia modelos más normalizados y modularizados para facilitar interoperabilidad y escalabilidad. Esta evolución implica que versiones distantes en el tiempo pueden presentar diferencias estructurales significativas, tanto en el número de tablas como en la definición de sus campos y relaciones.

En el caso analizado, el diferencial estructural entre 151 tablas (versión 3.12) y 219 tablas (versión 20.11) no representa únicamente un crecimiento cuantitativo, sino una reconfiguración cualitativa del esquema relacional. Este fenómeno es consistente con procesos de modernización progresiva en sistemas de información institucionales, donde la complejidad estructural aumenta a medida que se incorporan nuevas funcionalidades.

Obsolescencia tecnológica y deuda técnica en sistemas de información

La literatura sobre deuda técnica ha conceptualizado la postergación de decisiones de actualización como una acumulación de compromisos estructurales que incrementan la complejidad futura de intervención (Kruchten et al., 2012). Aunque el concepto emergió en el ámbito del desarrollo de software, su aplicación se ha extendido a sistemas institucionales donde la falta de mantenimiento periódico genera costos diferidos exponenciales.

En sistemas de información organizacionales, la obsolescencia acumulativa puede manifestarse en múltiples dimensiones: incompatibilidad con nuevos estándares, vulnerabilidades de seguridad, bajo rendimiento y dificultad de integración con plataformas externas (Laudon & Laudon, 2020). En el ámbito bibliotecario, estos efectos pueden traducirse en problemas de recuperación de información, fallas en el OPAC y limitaciones para interoperar con sistemas de descubrimiento o repositorios institucionales.

Cuando la actualización no se realiza de manera incremental, la acumulación de cambios estructurales entre versiones genera lo que puede denominarse una brecha generacional. Esta brecha no solo implica cambios en funcionalidades visibles para el usuario, sino transformaciones profundas en el modelo de datos. En tales casos, los scripts de migración automatizada —diseñados para transiciones secuenciales— pueden no contemplar escenarios de salto generacional amplio.

El fenómeno de lock-in tecnológico, aplicado a sistemas legacy, describe la situación en la cual una organización permanece atrapada en una versión obsoleta debido a la complejidad técnica y al riesgo asociado a la migración (Kruchten et al., 2012). En sistemas relacionales complejos como los ILS, el lock-in puede derivarse no tanto de dependencias contractuales, sino de dependencias estructurales acumuladas.

Migración de datos y procesos ETL

La migración de datos constituye un proceso crítico en proyectos de modernización tecnológica. Kimball y Caserta (2011) señalan que el componente más complejo de cualquier migración no es la extracción o la carga, sino la transformación, especialmente cuando los esquemas origen y destino presentan divergencias estructurales significativas (Kimball & Caserta, 2011).

El modelo ETL (Extract, Transform, Load) se ha consolidado como una metodología estándar en integración de datos y construcción de almacenes de información. Su aplicación en migraciones relacionales permite abordar problemas de asimetría estructural mediante reglas explícitas de transformación y validación iterativa.



La fase de extracción implica la recuperación íntegra del capital informacional existente, garantizando que ningún conjunto de datos relevante quede excluido del proceso. La fase de transformación constituye el núcleo metodológico del proceso, donde se ejecutan operaciones de mapeo, normalización, limpieza y adaptación semántica. Finalmente, la fase de carga consolida los datos en el sistema destino respetando restricciones de integridad y reglas de negocio.

En contextos de migración generacional extensa, la fase de transformación adquiere especial relevancia, ya que debe compensar cambios acumulativos en el modelo relacional (Koha Community, 2020). Esto puede incluir la reconstrucción de identificadores secuenciales, la división de estructuras monolíticas en tablas normalizadas y la adaptación de campos a nuevos estándares internos.

Metodología

El presente estudio se enmarca dentro de la investigación aplicada, cuyo propósito central consiste en transformar conocimiento teórico en soluciones prácticas orientadas a resolver problemáticas específicas en contextos reales. A diferencia de la investigación básica, cuyo objetivo es ampliar el conocimiento conceptual, la investigación aplicada busca validar metodologías operacionales en escenarios concretos (Laudon & Laudon, 2020).

El diseño adoptado corresponde a un estudio de caso instrumental. Esta modalidad permite analizar un fenómeno técnico complejo dentro de su entorno natural, utilizando el caso como medio para comprender procesos estructurales más amplios. El sistema bibliotecario institucional funciona como escenario empírico para validar un marco metodológico replicable en otras instituciones con condiciones similares de obsolescencia tecnológica.

Evaluación de rutas y herramientas

Se descartó la actualización automática nativa por incompatibilidad de scripts y la exportación MARC/XML porque omitía historiales de circulación. Se seleccionó la migración vía ETL utilizando herramientas open-source: Pentaho Data Integration (Spoon) para orquestar transformaciones, y HeidiSQL para la validación de diccionarios de datos, asegurando la replicabilidad en entornos con restricciones presupuestarias.

Procedimiento técnico y resultados

Análisis estructural y diseño ETL

Se realizó ingeniería inversa de ambos esquemas para mapear correspondencias. El diferencial cuantitativo y el estado arquitectónico se resumen en la Tabla 1.

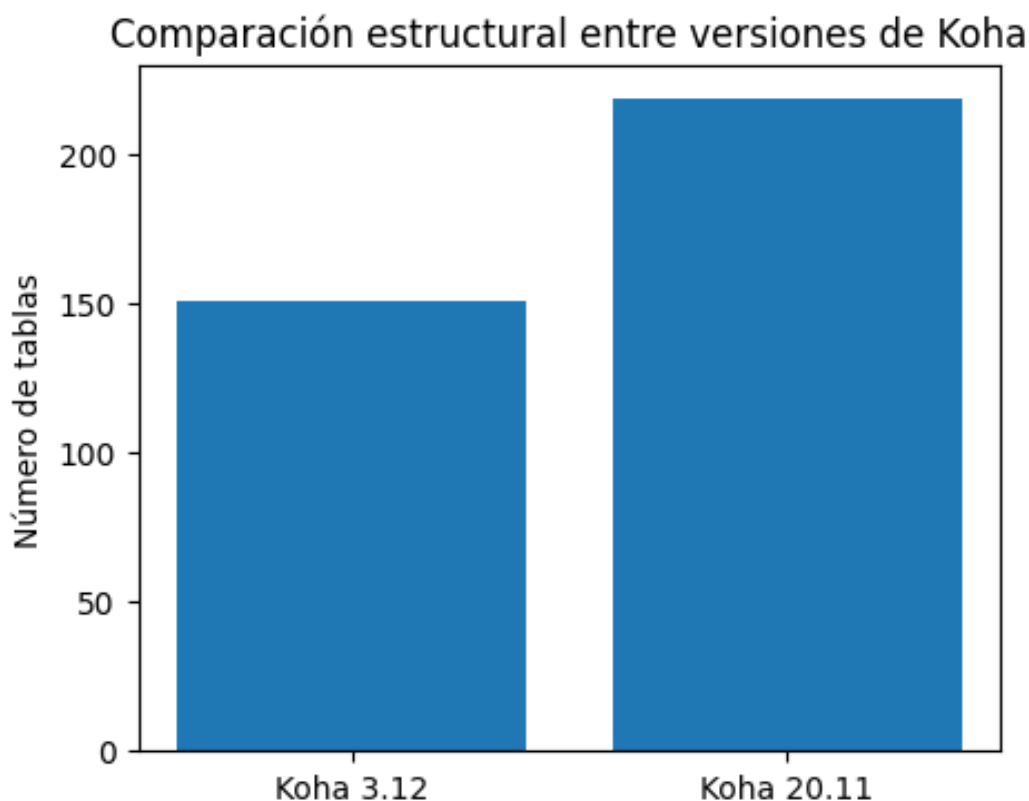
Tabla 1. Comparación estructural entre versiones del sistema Koha

Versión	Año	Número de tablas
3.12	2012	151
20.11	2020	219

Nota. Elaboración propia a partir de análisis comparativo de esquemas relacionales.

A partir de este diagnóstico, se programaron **63 transformaciones ETL críticas** para tablas con datos activos. El flujo secuencial iterativo se detalla en la Figura 1:

Figura 1. Comparación estructural entre versiones



La expansión estructural evidencia procesos de normalización y aumento de complejidad relacional.

Reconstrucción de integridad y gestión de inconsistencias

La versión 20.11 introdujo restricciones obligatorias (*NOT NULL*) y llaves primarias inexistentes en la versión 3.12. Se implementaron mecanismos algorítmicos secuenciales en Pentaho para generar

llaves artificiales y mantener la unicidad estructural sin colisiones (Date, 2019).

El proceso ETL permitió además identificar y aislar registros históricos inconsistentes (huérfanos de la versión anterior), evitando que hicieran fallar las restricciones del sistema destino (Batini & Scannapieco, 2016).

Tasa de recuperación y validación funcional

La Tasa de Recuperación Informacional fue del 98%, correspondiendo el 2% restante a datos corruptos aislados de forma preventiva. Los indicadores finales se consolidan en la Tabla 2.

Figura 2. Tasa de recuperación informacional



La migración permitió preservar aproximadamente el 98% del capital informacional histórico.

La validación post-migración confirmó el correcto funcionamiento transaccional de los módulos administrativos, catalogación MARC21 y búsquedas públicas en el OPAC.

Discusión y conclusiones

Los resultados demuestran que las brechas generacionales amplias en sistemas ILS no pueden resolverse con herramientas nativas incrementales, lo que valida las teorías de acumulación de deuda técnica (Kruchten et al., 2012). El enfoque ETL base de datos a base de datos demostró ser la estrategia óptima para mitigar asimetrías complejas, respaldando la tesis de Kimball y Caserta (2011) sobre la criticidad de la fase de transformación.



Alcanzar un 98% de recuperación preservando la integridad referencial demuestra que es posible rescatar el historial transaccional completo de una institución sin recurrir a costosas migraciones comerciales o perder la memoria institucional. El modelo propuesto es una guía técnica replicable para universidades que enfrentan obsolescencia crítica bajo limitaciones presupuestarias.

Referencias

- Breeding, M. (2015). Library systems report 2015: Operationalizing innovation. *Library Technology Reports*, 51(4). URL: <https://librarytechnology.org/document/20535>
- Date, C. J. (2019). Database design and relational theory: Normal forms and all that jazz (2nd ed.). O'Reilly Media. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/database-design-and/9781484255407/>
- Kimball, R., & Caserta, J. (2011). The data warehouse ETL toolkit: Practical techniques for extracting, cleaning, conforming, and delivering data. Wiley. URL: <https://www.wiley.com/en-br/The+Data+Warehouse%C2%A0ETL+Toolkit%3A+Practical+Techniques+for+Extracting%2C+Cleaning%2C+Conforming%2C+and+Delivering+Data-p-9781118076802>
- Kruchten, P., Nord, R. L., & Ozkaya, I. (2012). Technical debt: From metaphor to theory and practice. *IEEE Software*, 29(6), 18–21. DOI: 10.1109/MS.2012.167
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). Management information systems: Managing the digital firm (16th ed.). Pearson. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/management-information-systems-managing-the-digital-firm/P200000003135/9780136106414>
- Batini, C., & Scannapieco, M. (2016). Data and information quality: Dimensions, principles and techniques. Springer. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-24106-7>
- Engard, N. C. (2014). Koha 3.12 manual. Sin URL/DOI verificable.
- Koha Community. (2020, November 27). Koha 20.11 released. <https://koha-community.org/koha-20-11-released/>
- Koha Community. (2012). Koha 3.12 release information. <https://koha-community.org/koha-3-12-12-released/>
- Huo, L., Verner, J. M., Zhu, L., & Babar, M. A. (2004). Software maintenance through open source: A case study of Koha library software. *Journal of Systems and Software*, 74(1), 63–72. DOI:



10.1016/S0164-1212(04)00109-4

Dempsey, L. (2006). The library catalogue in a networked environment. *Ariadne*,(48). URL: <https://www.webjunction.org/content/dam/research/publications/library/2008/dempsey-portal.pdf>

Nicholson, D. R. (2008). Integrating open-source library systems in academic libraries. *The Journal of Academic Librarianship*, 34(2), 123–130. DOI: 10.1016/j.acalib.2007.11.006

Wodon, M. (2018). Open source integrated library systems and academic libraries. *Library Hi Tech News*, 35(3), 18–22. Sin DOI/URL verificable.

Tansley, R., & Houghton, J. (2003). The role of repositories in scholarly communication. *Ariadne*,(37). URL: <https://www.ariadne.ac.uk/issue37/tansley/>

Connaway, L. S., & Dickey, T. J. (2010). The digital information seeker. *Library & Information Science Research*, 32(2), 88–91. DOI: 10.1016/j.lisr.2009.11.007

O'Brien, J. A., & Marakas, G. M. (2010). *Management information systems* (10th ed.). McGraw-Hill. Sin URL/DOI verificable.

Stair, R., & Reynolds, G. (2017). *Principles of information systems* (13th ed.). Cengage. Sin URL/DOI verificable.

Golmohammadi, R., & Zahedi, F. (2012). Data quality management in information systems. *Information Systems Management*, 29(2), 89–101. DOI: 10.1080/10580530.2012.664478