

Investigación aplicada e innovación

Volumen 15, 2021 Lima, Perú • ISSN 1996-7551 | ISSN-L 2707-9368

Roberto León Leyva

Metodologías de Data Mining aplicadas al pronóstico de casos Covid 19 en Perú

Pág. 5

José Machuca Mines
Juan Carlos Suárez Quispe
Ernesto Juan Godinez de la Cruz
Wilson Marín Quevedo

Diseño e implementación de un robot hexápodo para realizar tareas de exploración mediante tomas de imágenes en zonas de cultivo

Pág. 17



Pasión por la Tecnología

www.tecsup.edu.pe



LE CO ND IN

Metodologías de Data Mining aplicadas al pronóstico de casos COVID 19 en Perú

..... Roberto León Leyva
5

Diseño e implementación de un robot hexápodo para realizar tareas de exploración mediante tomas de imágenes en zonas de cultivo

..... José Machuca Mines
..... Juan Carlos Suárez Quispe
..... Ernesto Juan Godínez de la Cruz
..... Wilson Marín Quevedo
17

Caracterización mecánica de dos resinas acrílicas y dentales polimerizables de origen y costos diferentes

..... Carlos Eddy Valdez Salazar
..... José Raúl Panca Boza
37

Modelo para el análisis de innovación tecnológica de productos en el sector metalmeccánico

..... Federico Del Giorgio Solfa
..... María Sol Sierra
..... Oscar Daniel Quiroga
51

Modelo de criticidad de repuestos de los activos físicos enfocado al logro de la excelencia operacional.

..... Juan Carlos Latorre Boza
61

Representación gráfica multivariante del seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021

..... José Luis Espinoza Melgarejo
71



Revisa todas las ediciones de la Revista I+i en versión digital

Director: Antonio Lazo de la Vega, *Tecsup*

Editor en jefe: Jorge Bastante Pazos, *Tecsup*.

Comité editorial: Aurelio Arbildo, *Inducontrol*; Carlos Hernández, *Alicorp*; Elena Flores, *UTEC*; Jack Vainstein, *Vainstein Ingenieros*.

Coordinadora editorial: Celene Alata Carhuavilca

Colaboradores: Alejandro Bermudez, Américo Alza, Carlos Ortiz, Carlos Aguilar, Edgar Roman, Enrique Ames, Hernando Prada, Iván Gonzales, Javier Lizárraga, José De Los Ríos, José Lazarte, Luis Morales, Oscar Mansilla, Pablo Padilla, Renzo Denegri, Ulises Quiróz.

Correctora de estilo: Laura Gómez Rojas

Diagramación: Tarea Asociación Gráfica Educativa

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú: 2007-04706
Publicado en diciembre 2021

Tecsup:

Sede Norte:

Vía de Evitamiento s/n Víctor Larco Herrera. Trujillo, Perú.

Sede Centro:

Av. Cascanueces 2221 Santa Anita. Lima, Perú.

Sede Sur:

Urb. Monterrey Lote D-8 José Luis Bustamante y Rivero. Arequipa, Perú.

Publicación:

Tecsup se reserva todos los derechos legales de reproducción del contenido, sin embargo autoriza la reproducción total o parcial para fines didácticos, siempre y cuando se cite la fuente.

Publicación Indexada en Latindex



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Suscripciones:

investigacioneinnovacion@tecsup.edu.pe

Página Web:

<https://www.tecsup.edu.pe/revista>

Nota: Las ideas y opiniones contenidas en los artículos son de responsabilidad de sus autores y no refleja necesariamente el pensamiento de nuestra institución.

EDITORIAL

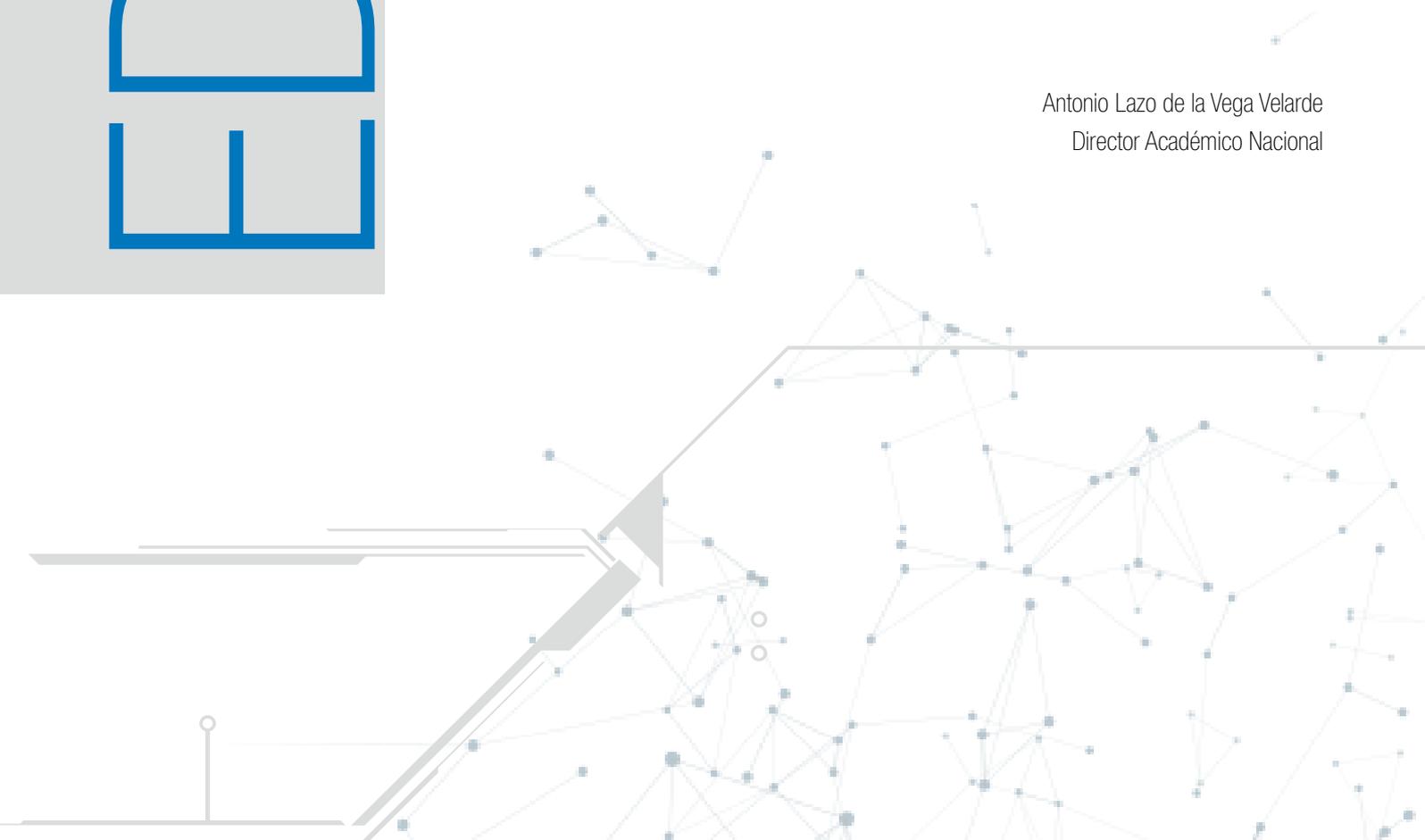
Apreciados lectores:

Es un honor poner a su disposición la edición número quince de nuestra revista en un año en el que estamos viendo cómo se consolida la virtualidad en muchas de nuestras actividades cotidianas, desde reuniones con amigos hasta seminarios y eventos internacionales. El mundo en general y nuestro país en particular han sido golpeados por la pandemia. Perú tiene la cifra más alta de fallecidos por millón de habitantes en el mundo y la recuperación económica no se está dando como esperábamos por razones ya conocidas. Sin embargo, los educadores e innovadores siempre vemos las oportunidades que los cambios trascendentales generan y nuestra revista ya es parte de este cambio. De hecho, es el segundo año en el que tendremos una distribución en formato digital alcanzando mayor cantidad de lectores. En este número encontraremos artículos relacionados con temas tecnológicos muy diversos que mencionamos brevemente a continuación: *Data Mining* aplicada a la salud, robots y modelos de análisis en agricultura, representaciones gráficas en proyectos de inversión, modelo de criticidad de repuestos de activos físicos, y caracterización mecánica de resinas dentales. Como es tradicional, estos artículos son el resultado de investigaciones realizadas por profesionales tanto de nuestra institución como externos.

Agradecemos la dedicación de los autores en la elaboración de los artículos, así como el trabajo del equipo de producción y edición que permite lograr una revista que transmite calidad, innovación, y trabajo colaborativo en cada uno de sus artículos.

Estamos seguros de que esta edición será del agrado de ustedes y animará a más de uno a participar en el siguiente número a publicarse el año que viene. Si usted precisa más detalle sobre alguno de los artículos exhibidos, le animamos a que se ponga en contacto con sus autores. De igual manera, si está interesado en colaborar en la próxima edición, nuestra coordinadora editorial gustosamente lo guiará en el proceso. Muchas gracias por ser parte de la revista I+i.

Antonio Lazo de la Vega Velarde
Director Académico Nacional



Los datos abiertos generan valor social porque permiten que

la comunidad académica comparta modelos y planteamientos para la solución de problemas sociales.



Metologías de *Data Mining* aplicadas al pronóstico de casos COVID-19 en Perú

Data Mining Methodologies Applied to the Forecast of COVID-19 Cases in Peru

RESUMEN

Se utiliza la metodología CRISP de *data mining* aplicada sobre los datos abiertos gubernamentales de la COVID-19 para el caso de Perú y se emplean técnicas de series de tiempo para descubrir los mejores modelos que permitan realizar pronósticos respecto a los casos confirmados. Se aplican las fases de la metodología iterativamente: limpieza de datos, detección de hallazgos, selección del modelo Arima (*autoregressive integrated moving average*) para el análisis de series de tiempo y estimación de los parámetros que caracterizan la serie temporal. El estudio concluye que, para los datos abiertos gubernamentales de la COVID-19 en el caso de Perú, no es conveniente el uso de datos diarios porque existen diferencias significativas por el día de semana y que es mejor utilizar la semana. Sobre la base de ello, se determina que no existe un único modelo a nivel país ni a nivel departamento, por lo que se proponen modelos a nivel de provincias que resultan estadísticamente significativos para realizar pronósticos a corto plazo.

ABSTRACT

The CRISP methodology of data mining is applied on open government data of COVID-19 for the case of Peru, and time series techniques are used to discover the best models that allow forecasts to be made regarding confirmed cases. The phases of the methodology are applied iteratively: data cleaning, detection of insights, selection of the Arima (autoregressive integrated moving average) model for the analysis of time series, and estimation of the parameters that characterize the time series. The study concludes that, for open government data on COVID-19 in the case of Peru, the use of daily data is not convenient because there are significant differences by the weekday and that the best approximation of grouping cases is the week. Based on this, it is determined that there is no single model at the country level or the department level, so models are proposed at the provincial level that is statistically significant for making short-term forecasts.



Palabras Claves

Data mining, pronóstico, COVID-19, Perú, series de tiempo, Arima, CRISP, datos abiertos gubernamentales.

Key words

Data mining, forecast, COVID-19, Peru, time series, Arima, CRISP, open government data.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de metodologías de trabajo en los campos de *big data*, ciencia de datos y *data mining* aplicados a dominios específicos de conocimiento para identificar hechos relevantes (*insights*) y plantear modelos que permitan la toma de acciones basadas en evidencias. Según lo mencionado en 2008 por Azevedo y Santos [1], la metodología CRISP DM (*cross-industry standard process for data mining*) es extremadamente completa y documentada, motivo por el cual se utilizará como un esquema general de trabajo.

La COVID-19 ha afectado seriamente la salud y la economía de muchos países; para el caso de Perú, a marzo de 2021 se tenía el mayor número de defunciones confirmadas en el mundo, que ascendía a 3 698.03 por millón de habitantes conforme la cifra oficial publicada por Our World in Data [2]. Asimismo, el impacto en el producto bruto interno a diciembre de 2020 provocó una contracción de -1.46 % interanual, según información del Banco Central de Reserva del Perú [3] (los peores desempeños estuvieron entre mayo y junio de 2020 con contracciones de -29.72 %, -29.83 % y -20.47 %, respectivamente). Las medidas adoptadas por el Gobierno consistieron en cuarentenas generales y prolongadas, luego se hicieron confinamientos en regiones y provincias. Uno de los mecanismos que hubiera permitido aminorar el efecto de las cuarentenas generales y hacer flexible tal medida es realizar pronósticos de los casos COVID-19 para cada circunscripción territorial, junto con otras medidas de carácter multidisciplinario y basadas en evidencias. Es en este contexto que las técnicas de series de tiempo brindan una forma de hacer tales pronósticos, debido a que son especialmente útiles en estimaciones de corto plazo.

El objetivo de este estudio es aplicar la metodología CRISP a las series temporales de COVID-19 y modelarlas con la técnica Arima para encontrar los mejores modelos aplicados a nivel de provincias, validar su significancia estadística y comparar las características de los parámetros de sus modelos. Los datos que utilizaremos provienen de la Plataforma Nacional de Datos Abiertos a marzo de 2021 del *dataset* respecto a casos positivos por COVID-19 [4].

FUNDAMENTOS

Datos abiertos gubernamentales

Perú tiene una política de Estado que compromete a las instituciones gubernamentales a la transparencia; asimismo, las normativas generadas en el marco del Gobierno digital y la gobernanza de datos implican la generación de datos abiertos gubernamentales que expresan hechos a través de mecanismos técnicos, jurídicos y de anonimización (en el caso de los datos personales) y que las instituciones públicas los pongan a disposición de los ciudadanos para tener la transparencia en la gestión pública y la generación de servicios y productos innovadores y de valores económico y social. Estos datos son publicados en la página de la plataforma de datos abiertos de Perú: <https://www.datosabiertos.gob.pe> y forma parte de los compromisos con la Alianza del Pacífico y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

En Perú, el ente rector responsable de coordinar las iniciativas y los mecanismos de gobernanza de datos abiertos gubernamentales es la Secretaría de Gobierno Digital, organismo adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros (Poder Ejecutivo).

La metodología CRISP

Fue propuesta en 1996 para cubrir la necesidad de contar con un esquema de trabajo para los proyectos de *data mining* y contó con la participación de DaimlerChrysler, SPSS y NCR; luego, con ayuda de la Comisión Europea, se terminaron de especificar las actividades y los resultados de cada fase de la metodología. La versión CRISP-DM 1.0 propone seis fases iterativas, tal como se presenta en la figura 1.

La primera fase, entendiéndolo el negocio (*business understanding*), se refiere a entender los requerimientos de negocio y convertirlo a la definición de un problema de *data mining*.

La segunda, entendiéndolo los datos (*data understanding*), cubre las actividades de recolección de datos, familiarización con los datos, descubrimiento de primeros hallazgos para formular hipótesis y detección de problemas con los datos.

La tercera fase, preparando los datos (*data preparation*), abarca las actividades (limpieza, selección de variables, transformación, entre otras) para contar con el *dataset* final que se utilizará en el modelo.

La cuarta fase, modelando (*modeling*), significa que se seleccionan y aplican las técnicas y se calibran los parámetros; cada técnica requiere de formatos específicos, por lo que es común retroceder a la fase anterior para realizar los ajustes correspondientes.

La quinta fase, evaluación (*evaluation*), toma en cuenta el modelo que se ajusta a los datos, por lo cual es necesario revisar el enfoque de los objetivos planteados en la primera fase; al concluir esta fase, los objetivos de *data mining* se han alcanzado.

La sexta fase, despliegue del modelo (*deployment*), consiste en poner el modelo en producción para que sea utilizado ampliamente en una organización o institución, que se materializa, por ejemplo, en una página web o aplicación.

La metodología CRISP es la más utilizada para los proyectos de *analytics*, *data mining* y *data science* conforme a la encuesta de Data Science Process Alliance [5] realizada en 2020 (49 %), seguida de SCRUM (18 %), Kanban (12 %), una propia (12 %), TDSP (4 %), SEMMA (1 %), ninguna (2 %) y otros (3 %), la anterior realizada por KD Nuggets [6] en 2014 (43 %) seguida de la propia (27.5 %) y SEMMA (8.5 %), lo que muestra la solidez de la metodología y su preferencia.

Análisis de series de tiempo

Series de tiempo

Se define como una colección de variables aleatorias indexadas cronológicamente en la forma como son obtenidas. Ejemplos de series de tiempo se encuentran, en economía, como variables económicas de producto bruto interno, inflación, cotizaciones de acciones, entre otras; y, en ecología, como temperaturas registradas para el fenómeno de El Niño, censo de poblaciones y demás [7].

$$y = y_1, y_2, y_3, \dots$$

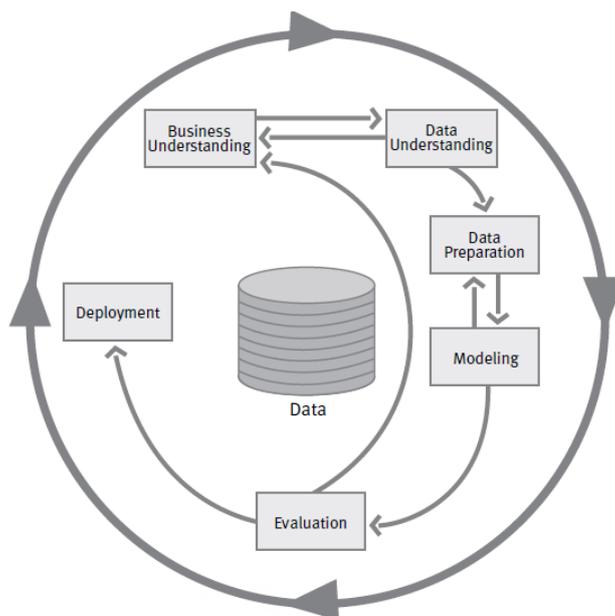


Figura 1. Fases de la metodología CRISP
Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (2019).

En la expresión anterior, la variable aleatoria es «y», mientras que los subíndices 1, 2, 3 y demás indican la secuencia cronológica con la que se obtuvieron; es decir, y_1 representa la observación de la variable aleatoria y en el tiempo 1, y_2 , la observación en el tiempo 2 y así sucesivamente.

Proceso estocástico

Es el conjunto de variables aleatorias. Se dice que se conoce la estructura de un proceso estocástico cuando se conocen las distribuciones de cualquier subconjunto de variables.

Proceso estacionario

Intuitivamente, es la estructura que genera regularidad en una variable aleatoria. Este puede ser estricto si el comportamiento probabilístico de cualquier subconjunto es igual a un subconjunto desplazado varios periodos de dicha serie; dado que esto es difícil de cumplir en la práctica, se utiliza el sentido débil de estacionariedad, el cual expresa que el proceso tiene media conocida y varianza finita, mientras que la covarianza entre las variables depende solo de su separación. Las siguientes expresiones formalizan estas últimas propiedades.

$$\begin{aligned} u_t &= \mu \\ \sigma_t^2 &= \sigma^2 \\ \gamma(t, t - k) &= E[(y_t - \mu)(y_{(t-k)} - \mu)] = \gamma_k \end{aligned}$$

Ruido blanco

Se dice que una variable aleatoria es un ruido blanco si cumple con las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} E[y_t] &= 0 \\ Var[y_t] &= \sigma^2 \\ Cov(y_t, y_{t-k}) &= 0 \end{aligned}$$

Modelos lineales estacionarios

Los principales modelos estacionarios lineales son:

- a. Procesos autorregresivos (AR): son series estacionarias en las cuales los valores actuales dependen de los valores anteriores. Un proceso AR de orden p [AR(p)] se escribe como:

$$y_t = \phi_1 y_{(t-1)} + \phi_2 y_{(t-2)} + \dots + \phi_p y_{(t-p)} + \epsilon_t$$

Si se define un operador autorregresivo de orden p, $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots$, el proceso AR(p) se escribe así:

$$\phi(B)y_t = \epsilon_t$$

- b. Procesos de medias móviles (MA): donde cada observación se observa como el promedio ponderado de las q observaciones de un ruido blanco. Un proceso de medias móviles de orden q se expresa como:

$$y_t = \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{(t-1)} - \dots - \theta_q \epsilon_{(t-q)}$$

Si se define un operador de medias móviles de orden q, $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots$, el proceso MA(q) se puede expresar como:

$$y_t = \theta(B)\epsilon_t$$

- c. Procesos autorregresivos de medias móviles (ARMA): son una combinación de los procesos AR y MA, así y_t sigue un proceso ARMA de orden (p, q), o ARMA (p, q) si se cumple:

$$y_t = \phi_1 y_{(t-1)} + \dots + \phi_p y_{(t-p)} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{(t-1)} - \dots - \theta_q \epsilon_{(t-q)}$$

O más compactamente utilizando los operadores AR y MA:

$$\phi(B)y_t = \theta(B)\epsilon_t$$

Modelos no estacionarios lineales

Muchas series de tiempo no presentan estacionariedad para empezar el análisis con alguno de los procesos revisados; para lograr la estacionariedad, una técnica muy usual es diferenciar la serie. Por ejemplo, para las series económicas, se diferencian una o dos veces. El operador diferenciación se define como:

$$\nabla y_t = y_t - y_{(t-1)} = (1 - B)y_t$$

Aplicando sucesivamente el operador d veces, se tiene:

$$\nabla^d y_t = (1 - B)^d y_t$$

Aplicando la diferenciación d veces a la serie original y_t , tendremos una nueva serie $z_t = \nabla^d y_t$; y, si fuese estacionaria, podremos modelarla con un proceso ARIMA (p, q). Este último proceso será denominado autorregresivo integrado de promedios móviles de orden ARIMA (p, d, q)[9]:

$$\phi(B)\nabla^d y_t = \theta(B)\epsilon_t$$

METODOLOGÍA

En este estudio, utilizaremos la metodología CRISP-DM descrita en la sección de fundamentos, se aplicarán las cinco primeras fases, pero la sexta no se aplicará, debido a que el presente trabajo es una propuesta y los modelos planteados no se desplegaron en un ambiente de producción.

La técnica de modelado de las series de tiempos es el ARIMA, reseñado en la sección de fundamentos. La herramienta que utilizaremos para aplicar dicho modelado es el lenguaje de programación R con los paquetes necesarios para el análisis de series de tiempo.

Los datos han sido obtenidos de la Plataforma de Datos Abiertos, respecto a casos confirmados de COVID-19, proporcionados por el Ministerio de Salud.

Tomando como marco de trabajo a la metodología CRISP, se procede a aplicar cada una de las fases a nuestro estudio. El esquema general se muestra en la tabla 1.

Tabla 1
Fases de la metodología CRISP

Entendiendo el negocio	Entendiendo los datos	Preparando los datos	Modelando	Evaluando	Despliegue del modelo
- Determinando los objetivos del negocio.	- Colectando los datos iniciales.	- Seleccionando datos.	- Seleccionando técnicas de modelado.	- Evaluando resultados.	- Plan de despliegue.
- Evaluando la situación.	- Describiendo los datos.	- Limpieza de datos.	- Generando diseño de pruebas.	- Revisando procesos.	- Plan de monitoreo y mantenimiento.
- Determinando los objetivos del <i>data mining</i> .	- Explorando datos.	- Construyendo datos.	- Construyendo el modelo.	- Determinando los siguientes pasos.	- Elaborar informe y presentación final.
- Estableciendo el plan del proyecto.	- Verificando la calidad de los datos.	- Integrando datos.	- Validando el modelo.		- Revisando el proyecto.
		- Formateando datos.			

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (2019).

Fase 1: entendiendo el negocio

- a. Determinando los objetivos
 - a.1 Contar con un modelo predictivo que permita pronosticar los casos COVID-19 en una circunscripción territorial.
 - a.2 Determinar la mejor forma de agrupar datos para el pronóstico de modo que permita recomendar políticas de cuarentena en la forma más focalizada a fin de preservar la salud y reducir el efecto en la actividad económica.
 - a.3 Determinar un patrón en las circunscripciones tomadas como base para el pronóstico.
- b. Evaluando la situación
 - b.1 Los recursos que tenemos disponibles para el proyecto son: el investigador que conoce la metodología CRISP, las técnicas de series de tiempo, el lenguaje de programación R para la implementación, el equipo con que cuenta, el acceso a internet, la bibliografía, entre otros.
 - b.2 Respecto al principal requerimiento, se deben emplear los datos abiertos para realizar pronósticos de los casos COVID-19. Asumiremos como técnica de modelamiento de las series de tiempo al proceso Arima, la restricción principal son las variables de los datos; si se contase con datos de factores de riesgo, se plantearían análisis adicionales para identificar la importancia de estos y pronosticar la probabilidad de contagio.
 - b.3 Respecto a los riesgos asociados al proyecto, se explica, principalmente, que la data no se actualiza con la frecuencia requerida, de modo que la calidad del pronóstico se ve afectada al subvaluar los casos y cuando llegan los registros se sobreponderan.
 - b.4 El principal beneficio de este proyecto es mejorar la calidad de las decisiones de los responsables de elaborar políticas públicas respecto a las cuarentenas focalizadas. Utilizar plataformas abiertas para datos y software reduce significativamente el costo total de propiedad, colocar los modelos en la nube y desarrollar aplicaciones para su consulta permitiría ajustar rápidamente las decisiones.

- c. Determinando los objetivos del data mining
 - c.1 El objetivo es modelar las series de tiempo con los procesos Arima.
 - c.2 El criterio de éxito será encontrar los parámetros que se ajustan al modelo y resultan estadísticamente significativos.
- d. Estableciendo un plan del proyecto
 - d.1 Se estableció un tiempo aproximado de seis semanas para el desarrollo del proyecto; aproximadamente, una semana para las cinco fases y la última para preparar el informe final del estudio.

Fase 2: entendiendo los datos

- a. Recolectando los datos iniciales
 - a.1 Los datos iniciales provienen de un archivo CSV disponible en la Plataforma de Datos Abiertos reportados por el Ministerio de Salud.
 - a.2 Para realizar una breve exploración de datos se aplicaron transformaciones a factor a las variables que por su naturaleza lo requerían; asimismo, se eliminaron los registros con datos faltantes. Los resultados se presentan en la tabla 2.
- b. Describiendo datos

Las observaciones resultantes del punto a.1 se describen en la tabla 3.

Tabla 2
Preparando datos para análisis exploratorio de datos

Tipo de registro	Número	%
Registros cargados	1 344 970	100.00 %
Registros con datos faltantes	308	0.02 %
Registros para el análisis	1 344 662	99.98 %

Tabla 3
Descripción de variables

Variable	Descripción	Valores únicos	Observaciones
UUID	Identificador del registro	1 344 662	
Departamento	Departamento al que pertenece el ciudadano	26	
Provincia	Provincia a la que pertenece el ciudadano	197	
Distrito	Distrito al que pertenece el ciudadano	1 675	
Método DX	Método de diagnóstico	3	AG: antígeno, PCR: molecular, PR: prueba rápida
Edad	Edad del ciudadano	117	Mín.: 0, máx.: 121
Sexo	Sexo del ciudadano	2	Femenino: 650,103 Masculino: 594,559
Fecha_Resultado	Fecha de diagnóstico	360	Más antigua: 2020/03/06 Más reciente: 2021/03/02

Fuente: Elaboración propia.

- c. Explorando los datos

Sobre la base de los datos del *dataset* de la tabla 3 y el preprocesamiento, se revisan los datos para obtener algunos hallazgos que ayuden a entender el problema en estudio. Los principales elementos detectados son:

 - Durante el primer año (marzo de 2020-marzo de 2021), se aprecia que se utilizaron las pruebas rápidas en forma predominante para hacer la detección de casos con un pico en agosto de 2020, pero luego declina; las pruebas molecular y de antígenos mantienen su uso durante 2020 y a partir de enero de 2021 comienzan a reemplazar a la prueba rápida, tal como se aprecia en la figura 2.
 - Respecto a la distribución por edad y género, se aprecia que no existe diferencia por género, que la distribución de los casos en relación con la edad tiene asimetría positiva con un pico de casos alrededor de los cuarenta años, tal como se aprecia en la figura 3.

- d. Verificando la calidad de datos
 - d.1 La revisión de datos muestra que la calidad de datos para el presente estudios es buena porque solamente se encontraron 0.02 % de datos faltantes que fueron retirados del análisis.

Fase 3: preparación de datos

- a. Seleccionando datos

El *dataset* de la tabla 3 contiene los datos requeridos para el análisis de series de tiempo.
- b. Limpiando datos

El preprocesamiento realizado en la fase 2 fue suficiente para tener un *dataset* con la calidad requerida para el estudio.
- c. Construyendo datos

En esta fase es importante seleccionar la circunscripción política y la unidad de tiempo para agregar los casos diagnosticados y construir las series de tiempo para el análisis.

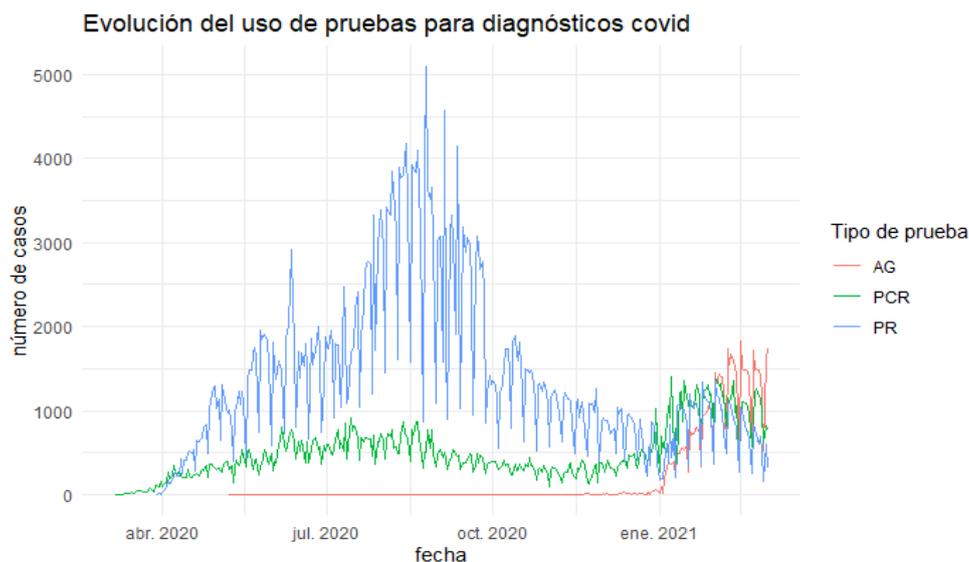


Figura 2. Evolución de casos por tipo de prueba
Fuente: elaboración propia.

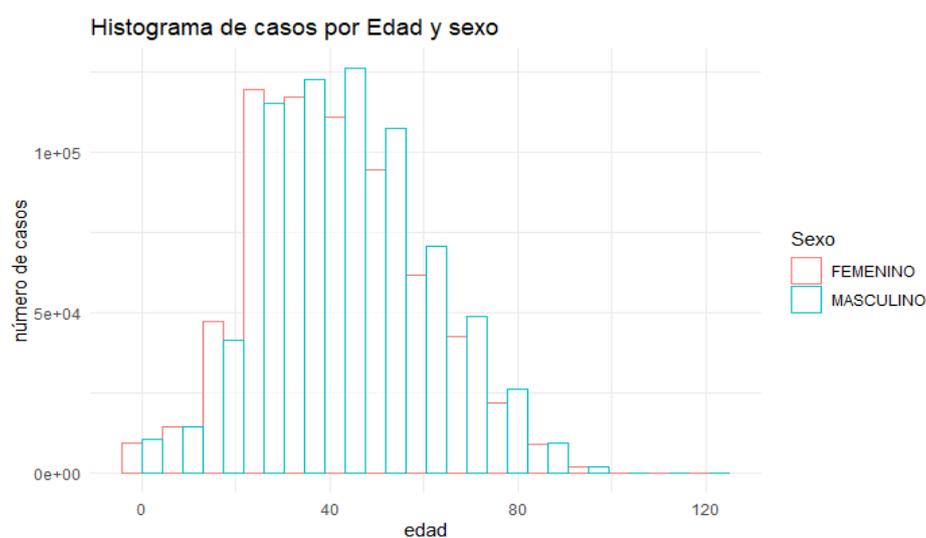


Figura 3. Distribución por edad y sexo
Fuente: elaboración propia.

Para la circunscripción política, se seleccionó la provincia, debido a que en la iteración con el ajuste del modelo se determinó que dentro de un departamento presentan comportamientos distintos con base en el orden de los parámetros Arima estimados.

Para la determinación de la unidad de tiempo, se prefieren los de menor espacio, la primera versión se hizo con base en el día; sin embargo, cuando se hizo el análisis dentro de día de semana, se determinó que existía diferencia entre los días, esto posiblemente a la distribución de trabajos durante la semana y por las

restricciones de los domingos; no obstante, desde el punto de vista epidemiológico, no existe sustento para que en un determinado día de la semana se detecten menos casos. Este hecho hizo que se seleccione como unidad de tiempo la semana. La tabla 4 muestra la distribución de días y la prueba de Kruskal-Wallis que confirma que existen diferencias entre los días de la semana ($p\text{-value} < 0.05$, H_0 : proviene de la misma población, H_1 : existe al menos una categoría diferente), se utiliza este test porque es una prueba no paramétrica y no hace supuestos de homocedasticidad [10].

Tabla 4
Distribución de casos por día de la semana

Test Kruskal-Wallis	
Chi-squared (df=6)	115.62
p-value	2.2 e-16

Día de semana	Casos
Domingo	92 582
Lunes	207 401
Martes	214 915
Miércoles	211 675
Jueves	207 292
Viernes	222 828
Sábado	187 969

Fuente: elaboración propia.

d. Formateando datos

Los datos se formatearon para tener las series de tiempo por fecha, provincia y casos.

Fase 4: modelando

La técnica seleccionada para modelar la serie de datos es un proceso Arima, pues en un estudio⁶ logró ser la mejor opción para realizar pronósticos y tener mejor rendimiento comparado con otros métodos, tales como el simple exponencial, el doble exponencial, las medias móviles (MA), el modelo de tendencia de curva S, el modelo de tendencia cuadrática y el modelo de tendencia lineal; el modelo general empleado fue un Arima (2, 2, 2), el periodo estudiado estuvo comprendido entre el 22 de enero de 2020 hasta el 13 de abril de 2020 y se analizaron países

Tabla 5
Estimación Arima para provincia de Lima

Provincia de Lima				
Arima (3, 0, 0)				
	ar1	ar2	ar3	mean
s.e.	0.9902	0.3898	-0.5379	9950.523
t	0.1128	0.1691	0.1187	1859.223
sigma^2	8.8	2.3	4.5	5.4
AIC	5029844	BIC	968.49	

Fuente: elaboración propia.

Fase 5: Evaluando el modelo

Revisaremos los gráficos de los residuales con la finalidad de comprobar la validación de supuestos, estos se presentan en la figura 4. Del gráfico superior que corresponde al diagrama de dispersión de residuales, se aprecia que no hay una tendencia en estos y los valores se encuentran alrededor de la media 0. Respecto al histograma, se aprecia que está centrado y presenta una ligera distribución leptocúrtica comparada con la normal (línea naranja). Del gráfico de autocorrelación, se aprecia que todos están sobre el intervalo de confianza para indicar que los residuales no presentan autocorrelación. La conclusión del análisis gráfico es que se cumplen los supuestos del modelo Arima y podemos concluir que los residuales siguen un proceso de ruido blanco.

que tenían los más altos índices de contagio, tales como India, Estados Unidos, España, Italia, Francia, Alemania, China, Irán y países del sudeste asiático.

Para la estimación de los procesos Arima, se empleará la implementación auto.arima del paquete forecast; el método fue desarrollado por Hyndman y Khandakar (2008), este combina pruebas de raíz unitaria (parámetro d) y minimización de los criterios AIC (*Akaike information criterion*) y MLE (*maximum likelihood estimation*) a través de iteraciones sucesivas en las cuales utiliza cuatro modelos establecidos como base para ir modificando en cada paso los parámetros p y q que van actualizando el modelo, de modo que se selecciona aquel que tiene el mejor AIC.

Para verificar el ajuste de los supuestos del proceso Arima, revisaremos en forma gráfica los residuales y sus autocorrelaciones. Para la validación estadística, utilizaremos el test Ljung aplicado a los residuales.

Uno de los aspectos prácticos que se detectaron al agregar semanalmente los datos fue que la última semana tenía observaciones sensiblemente inferiores a las previas y se sospecha que esto se debería al proceso de registro de la información, motivo por el cual retiramos la última semana para estimar los modelos.

A continuación, presentamos los resultados de modelamiento para la provincia de Lima y veremos a detalle las consideraciones y las pruebas de este; en la sección de resultados presentaremos las conclusiones en forma de tabla.

La estimación del modelo Arima se presenta en la tabla 5. Se aprecia que el proceso es un AR(3) y que todos los coeficientes estimados son significativos.

Revisando supuestos por medio del test de Ljung-Box aplicado a los residuales

H₀: Los residuales de la serie de tiempo siguen un ruido blanco.
H₁: Los residuales de la serie de tiempo no son un ruido blanco.

Utilizaremos un desplazamiento equivalente a dos meses (lag=9) y un nivel de significancia de 5 %; para esta prueba, se obtienen los resultados que se presentan en la tabla 6. Dado que el p-valor > nivel de significancia, se acepta H₀; es decir, existe evidencia estadística para asumir que los residuales del modelo Arima (3, 0, 0) aplicado a la provincia de Lima siguen un ruido blanco, con lo que el modelo propuesto es estadísticamente significativo.

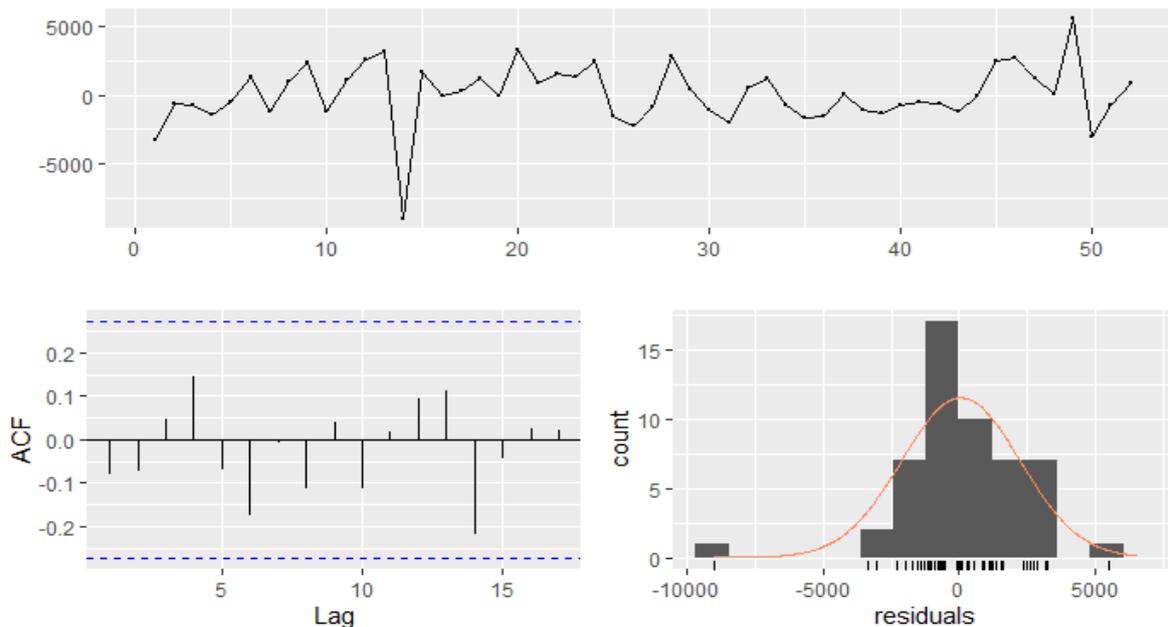


Figura 4. Análisis gráfico de residuales para Arima (3, 0, 0) de la provincia de Lima
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6
Test Ljung-Box para los residuales del modelo de Lima

Provincia de Lima
Box-Ljung test
X-squared = 5.1048, df = 9, p-value = 0.8251

Fuente: elaboración propia.

Habiendo sido validado el modelo, se procederá a hacer los pronósticos para las próximas tres semanas y se graficarán los casos previamente detectados. El resultado se presenta en la

figura 5, el azul oscuro representa el intervalo de confianza al 80 % y el claro al 95 %, mientras que los valores tabulados se presentan en la tabla 7.

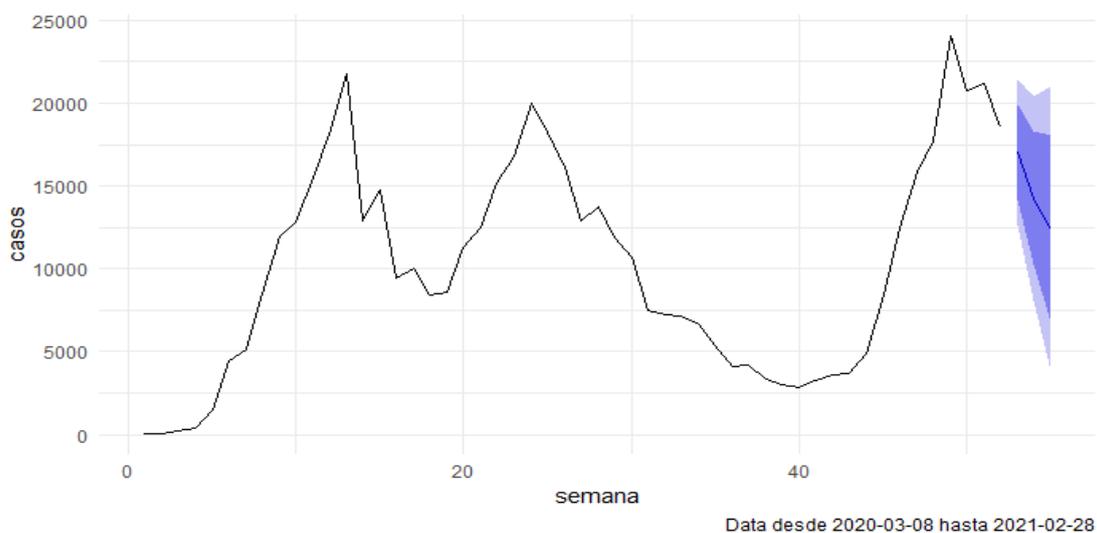


Figura 5. Pronóstico de casos COVID-19 para las próximas tres semanas en la provincia de Lima
Fuente: elaboración propia.

Tabla 7
Pronósticos de casos COVID-19 en la provincia de Lima

Semana	Point forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
53	17046.88	14172.7	19921.05	12651.203	21442.55
54	14278.89	10233.964	18323.82	8092.709	20465.07
55	12372.71	6726.981	18018.44	3738.311	21007.11

Fuente: elaboración propia.

Fase 6: desplegando el modelo

Dado que esta es una propuesta, los modelos no se encuentran en un ambiente de producción; empero, se sugiere contratar servicios en la nube para alojar la solución y explotarla por medio de *dashboards* o aplicaciones para distribuir la información respecto a los pronósticos, de modo que incluso los municipios y los ciudadanos puedan tomar acciones de prevención de la COVID-19 con base en los pronósticos de las próximas semanas.

RESULTADOS

El objetivo del estudio es proponer los modelos Arima para pronosticar los casos COVID-19 a nivel de provincias y si estos eran uniformes incluso a nivel de departamento para

proponer políticas de prevención de COVID-19, tales como la cuarentena. Debido a las limitaciones de espacio, se presentan cuadros resúmenes de los 197 modelos generados (uno por cada provincia) y seleccionaremos 3 departamentos, uno por región geográfica, para comprobar si tienen comportamiento heterogéneo.

Se alcanzó un 98.5 % de provincias con modelos significativos estadísticamente (194 de 197).

Se identificaron 27 tipos de modelos Arima para las 197 provincias, 9 explican el 80 % del total de provincias (ver tabla 8).

Se muestran 3 departamentos con sus provincias y se evidencia heterogeneidad (ver tabla 9).

Tabla 8
Modelos Arima para las provincias de Perú

Sec	Orden (p, d, q)	Provincias	% provincias	% acumulado
1	1, 0, 0	62	31 %	31 %
2	0, 0, 0	19	10 %	41 %
3	0, 1, 1	16	8 %	49 %
4	0, 1, 0	15	8 %	57 %
5	2, 0, 0	12	6 %	63 %
6	3, 0, 0	10	5 %	68 %
7	1, 1, 0	9	5 %	73 %
8	0, 0, 1	8	4 %	77 %
9	0, 0, 4	6	3 %	80 %
10	0, 0, 2	5	3 %	82 %
11	2, 1, 0	5	3 %	85 %
12	1, 0, 2	4	2 %	87 %
13	4, 0, 0	4	2 %	89 %
14	0, 0, 3	3	2 %	90 %
15	1, 0, 1	3	2 %	92 %
16	1, 0, 3	3	2 %	93 %
17	0, 1, 3	2	1 %	94 %
18	1, 1, 1	2	1 %	95 %
19	0, 1, 2	1	1 %	96 %
20	0, 1, 4	1	1 %	96 %
21	0, 1, 5	1	1 %	97 %
22	1, 0, 4	1	1 %	97 %
23	2, 0, 2	1	1 %	98 %
24	2, 1, 2	1	1 %	98 %
25	3, 1, 0	1	1 %	99 %
26	4, 1, 0	1	1 %	99 %
27	5, 1, 0	1	1 %	100 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9
Modelos de tres departamentos (costa, sierra y selva)

Lima				Ayacucho				Loreto			
Provincia	p	d	q	Provincia	p	d	q	Provincia	p	d	q
Barranca	1	0	0	Cangallo	1	0	0	Alto Amazonas	1	1	0
Cañete	0	1	0	Huamanga	3	0	0	Datem del Maraón	2	1	0
Cajatambo	1	1	0	Huancá Sancos	1	0	0	Loreto	3	0	0
Canta	0	0	4	Huanta	1	0	3	Mariscal Ramón Castilla	1	0	0
Huaral	2	0	0	La Mar	1	1	0	Maynas	4	0	0
Huachirí	1	0	0	Lucanas	1	0	0	Putumayo	0	1	1
Huaura	1	0	2	Paríacochas	1	0	0	Requena	1	0	0
Lima	3	0	0	Páucar del Sara Sara	0	0	1	Ucayali	0	1	1
Oyón	0	0	2	Sucre	1	0	0				
Yauyos	0	0	1	Víctor Fajardo	1	0	0				
				Vilcashuamán	0	1	1				

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- La metodología CRIPS-DM es flexible y sus fases permitieron abordar los casos COVID-19 de Perú con la iteración que se requiere y aproximarnos a los objetivos planteados al inicio del estudio.
- La fase de exploración de datos permitió que se detectaran y afinaran el tratamiento de los datos para realizar pronósticos más adecuados: semanas en lugar de días, proponer provincias en lugar de regiones o a nivel país e identificar que para el caso de Perú no existen diferencias sustanciales en la afectación de la COVID-19 por sexo y edad.
- El modelamiento de series de tiempo por medio de Arima proporcionó buenos resultados al ajustar modelos estadísticamente significativos en 194 de 197 provincias.
- Se lograron determinar 27 tipos de modelos; de los cuales, la tercera parte explica el 80 % de los casos y el modelo con 30 % de provincias es el Arima (1, 0, 0) o AR(1).
- No existe homogeneidad entre las provincias de un departamento, por lo que la recomendación, con base en las evidencias encontradas, es plantear medidas de prevención distintas a nivel de cada provincia, como las cuarentenas y su uso flexible.
- La utilización de datos abiertos gubernamentales genera valor social en la medida que permite que la comunidad académica aporte con modelos y planteamientos a la solución de problemas sociales y se mejoren las decisiones de políticas públicas.
- La aplicación de las series de tiempo permite hacer pronósticos estadísticamente significativos; sin embargo, el tratamiento de un problema complejo como la COVID-19 debe complementarse con otros modelos que incorporen datos epidemiológicos para determinar los perfiles (*clustering*), importancia de comorbilidades (clasificación), eventos y variables macroeconómicas (series de tiempo multivariadas), entre otros.

REFERENCIAS

- [1] Azevedo, A. y Santos, M. (2008). KDD, SEMMA and CRISP-DM: a parallel overview. *European Conference on Data Mining* (pp. 182-185). Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-the-correspondences-between-KDD-SEMMA-and-CRISP-DM_tbl1_220969845.
- [2] Our World in Data. *Coronavirus (COVID-19) deaths*. Recuperado de <https://ourworldindata.org/covid-deaths?country=~PER>.
- [3] Banco Central de Reserva del Perú. PBI desestacionalizado - promedio móvil 3 meses. Recuperado de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN38081AM/html/2019-1/2021-3>.
- [4] Plataforma Nacional de Datos Abiertos. *Casos positivos por COVID-19 - [Ministerio de Salud - MINSA]*. Recuperado de <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/casos-positivos-por-covid-19-ministerio-de-salud-minsa>.
- [5] Saltz, J. (30 de noviembre de 2020). *CRISP-DM is still the most popular framework for executing data science projects*. Data Science Process Alliance. Recuperado de <https://www.datascience-pm.com/crisp-dm-still-most-popular>.
- [6] Piatetsky, G. (2014). *CRISP-DM, still the top methodology for analytics, data mining, or data science projects*. KDnuggets. Recuperado de <https://www.kdnuggets.com/2014/10/crisp-dm-top-methodology-analytics-data-mining-data-science-projects.html>.
- [7] Chapman, P. (2000). *CRISP-DM 1.0*. Atlanta: SPSS.
- [8] Cirillo, A. (2017). *R Data Mining*. Birmingham-Mumbai: Packt.

- [9]** Enders, W. (2014). *Applied econometric time series*. Massachusetts: Wiley.
- [10]** Hydman, R. y Athanasopoulos, G. (2014). *Forecasting: principles and practice*. Melbourne: OTexts.
- [11]** Orosco Gavilán, J. (2019). *Uso de los modelos heterocedásticos con bootstrap en el análisis del índice general de la Bolsa de Valores de Lima* [tesis de maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- [12]** Porras Cerrón, J. (2017). *Pruebas no paramétricas usando R*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [13]** Shumway, R. y Stoffer, D. (2017). *Time series analysis and its applications*. Pittsburg: Springer.
- [14]** Tandon, H., Ranjan, P., Chakraborty, T. y Suhag, V. (2020). *Coronavirus (COVID-19): Arima based time-series analysis to forecast near future*. Recuperado el 18 de abril de 2021 de <https://arxiv.org/abs/2004.07859>.

ACERCA DE LOS AUTORES

Roberto León Leyva

Profesor de la carrera de Big Data de Tecsup, ingeniero de sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería y MBA por la Universidad del Pacífico. Cuenta con estudios concluidos en la maestría de Estadística Aplicada por la UNALM.

 rleonl@tecsup.edu.pe

 robertoleon10@gmail.com.

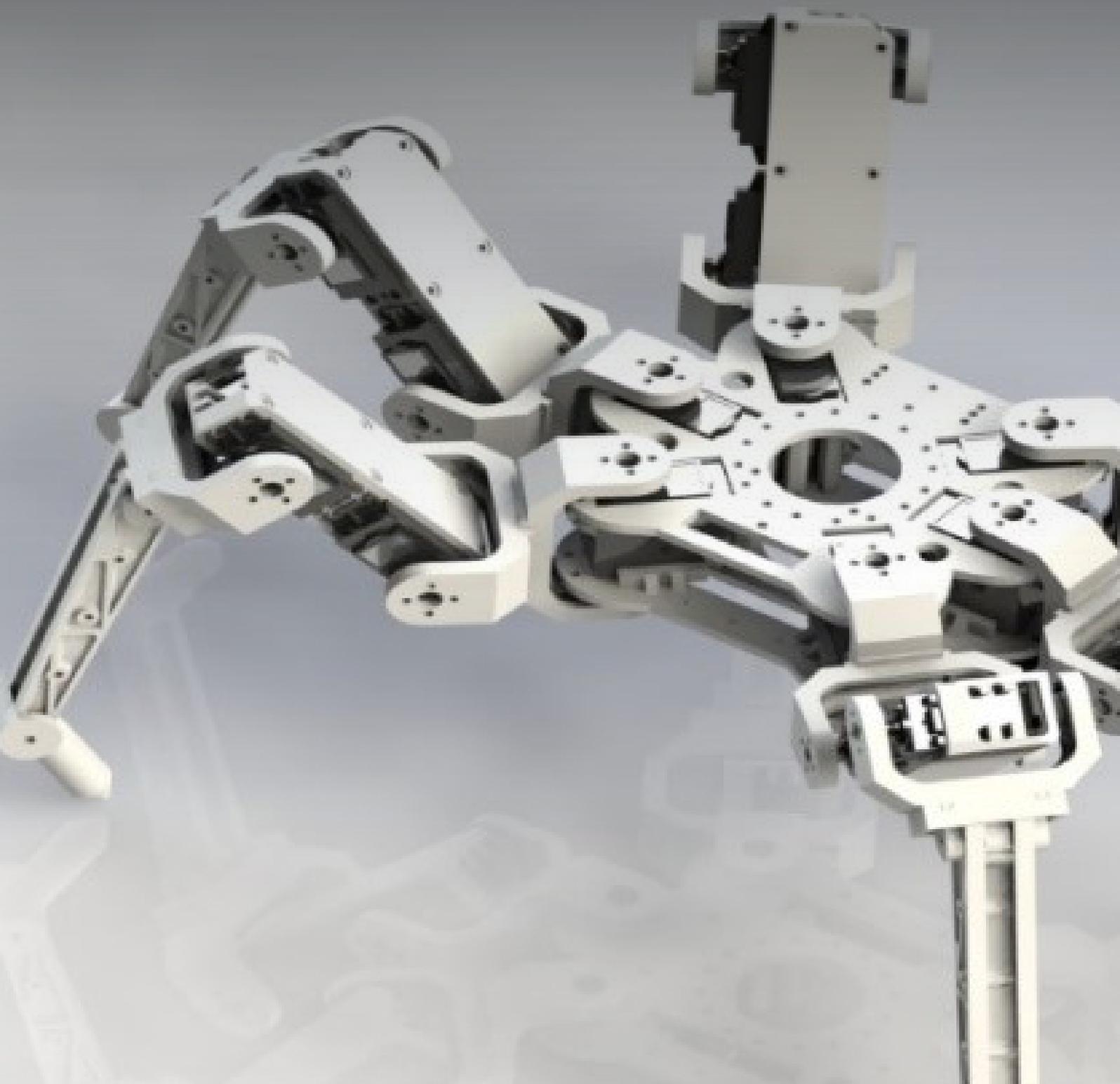
Recibido: 02-07-21
Revisado: 20-08-21
Aceptado: 01-09-21



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Captura de información visual en zonas agrícolas

a través de la aplicación de una cámara digital integrada a un robot explorador



Diseño e implementación de un robot explorador hexápodo para la toma de imágenes en zonas de cultivo

Design and Implementation of a Hexapod Explorer Robot for Taking Images in Growing Areas

RESUMEN

En este artículo, se muestra el desarrollo de un robot explorador hexápodo ideado para operar dentro de zonas de cultivo y con la capacidad de capturar información visual de la zona de operación por medio de una cámara digital integrada a este. El artículo comienza haciendo un breve análisis acerca de las características de las diversas clases de robots móviles a fin de explicar las razones que motivaron el desarrollo del robot hexápodo expuesto en el presente trabajo, tales como su mayor capacidad de desplazamiento sobre terreno irregular y la posibilidad de no arriesgar a un operador humano dentro de zonas de peligro. Posteriormente, se muestra el diseño del robot propuesto, el cual se basó en información extraída de varias investigaciones y fundamental para el establecimiento de las características mecánicas, electrónicas y de control de movimiento del robot. El diseño de la estructura mecánica se realizó con base en el uso de *software* asistido por computadora (CAD), mientras que su manufactura se realizó por medio de impresión 3D. El artículo continúa mostrando el ensamblaje del robot y las pruebas de operación de este. Estas pruebas, realizadas al comienzo dentro una habitación para luego ser realizadas en terrenos, descampado y de gras, permitieron corroborar el satisfactorio funcionamiento del robot. El artículo termina mostrando los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, haciendo las observaciones correspondientes a ellos y exhibiendo las conclusiones obtenidas de este trabajo.

ABSTRACT

In this paper it was shown the development of a hexapod explorer robot designed to operate within growing areas and with the capability to capture visual information from the operating area through a digital camera integrated into it. The article begins by making a brief analysis about the characteristics of the several classes of mobile robots to point out the reasons that motivated the development of the hexapod robot exposed in the present work, such as its greater ability to perform over irregular areas and the possibility of not to risking a human operator within danger zones. Subsequently, the design of the proposed robot had shown, which had based on information extracted from various researches, information that was essential for the establishment of the mechanical, electronic, and motion control characteristics of the robot. The design of the mechanical structure had carried out based on the use of computer-aided software (CAD), while its manufacture had made by 3D printing. The paper goes on to show the assembly of the robot and its operational tests. These tests had carried out at the beginning in a room and then carried out in open fields and grassland, allowing to corroborate the satisfactory performance of the robot. The article ends by showing the results obtained from the tests carried out, making the corresponding observations, and exhibiting the conclusions obtained from the entire work.



Palabras Claves

Robot móvil, robot explorador, hexápodo, vehículo no tripulado, impresión 3D.

Key words

Mobile robot, explorer robot, hexapod, unmanned vehicle, 3D printing.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen varias clases de robots móviles, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo al medio en el que se desplazan. Entre estas clases, se tienen los robots acuáticos [1], los robots terrestres [2] y los robots aéreos [3].

Entre los robots terrestres, se distinguen también subclases en las cuales se encuentran los robots que se desplazan empleando ruedas u orugas y, por otro lado, los que se desplazan utilizando extremidades. Entre estos robots, los que emplean ruedas pueden desplazarse más rápidamente; sin embargo, tienen como limitación la necesidad de un terreno plano y firme en donde operar, pues se dificulta su movimiento en terreno agreste. Por su parte, los robots que emplean orugas tienen mayor facilidad para operar en terreno agreste, pero aun así tienen dificultad para moverse en terreno irregular con presencia de plantas o rocas de tamaño importante respecto al robot. Por otro lado, los robots que emplean extremidades, sean bípedos [4], cuadrúpedos [5] o hexápodos [6], tienen como beneficio su gran capacidad de evadir tales irregularidades, gracias a la posibilidad de elevar y bajar sus extremidades cuando las irregularidades se presentan. Este beneficio motivó el desarrollo de un robot hexápodo orientado a la exploración de zonas de cultivo, que capture imágenes útiles para el estudio de dichas zonas y que en futuros trabajos extienda sus capacidades a la toma de muestras de tierra o plantas, además de información climática tal como temperatura y humedad del ambiente, composición química del aire, entre otra información útil para estudios de carácter agrícola. El robot expuesto en el presente trabajo fue diseñado para ser operado inalámbricamente con la finalidad de evitar arriesgar un operador humano durante la exploración de zonas de peligro. Asimismo, se eligió que el robot fuera de tipo hexápodo debido a la disponibilidad de información respecto a esta clase de robots, así como también debido a la mayor estabilidad de movimiento que le permiten sus seis extremidades respecto a robots con menos extremidades.

Se revisaron numerosos trabajos referentes a robots hexápodos capaces de desplazarse en ambientes de tierra, tales como los que se describen en [6], [8], [9], [10], [11] y [12]. En estos trabajos, se pueden encontrar características comunes referentes a estos robots, tales como el uso de extremidades de tres grados de libertad. Se pudo ver la existencia de robots de dimensiones muy variadas, en los cuales no se indica algún estándar que normalice tales dimensiones; de tal modo, es posible tener robots pequeños como el que se describe en [14] (de 7.5 kg) y otros grandes como el descrito en [11] (de 54 kg).

Respecto a la electrónica de control de movimiento de estos robots, el tema fue abordado en [18], [19], [20] y [21], del cual se extrajo información útil para el desarrollo del sistema electrónico de control de movimiento del robot hexápodo expuesto en el presente artículo. Cabe mencionar que dicho sistema tiene la capacidad de recibir señales inalámbricas provenientes de una estación en tierra para, sobre la base de ellas, operar los dieciocho actuadores requeridos para dar movimiento a las tres articulaciones que contiene cada una de las seis extremidades que componen al robot.

METODOLOGÍA

FISIONOMÍA DEL ROBOT HEXÁPODO

En [6], [8], [9], [14] y [15], se puede ver que la fisionomía de los robots hexápodos tiene en general las siguientes características:

- Cuerpo simétrico respecto al eje de dirección de movimiento.
- Todas las extremidades terminan en punta (superficie de poca área).
- Las dimensiones del robot guardan relación con las características de los actuadores utilizados.
- Cada extremidad cuenta con un total de tres grados de libertad de tipo articular, tal como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Extremidad del robot Oscare [13]

En la figura 2, se muestran otros casos de extremidades de robots no necesariamente hexápodos, pero que también hacen uso de tres articulaciones.



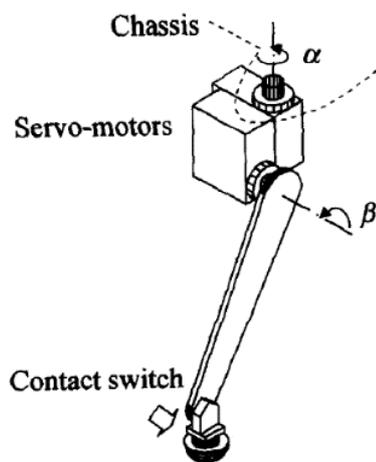
Figura 2. (a) Prototipo de extremidad [8], (b) robot Phantom X [6] y (c) robot Messor [9]

Es importante mencionar que también existen otras clases de extremidades que cuentan con menos de tres grados de libertad, tales como los descritos en [14] y [15]. Sin embargo, estas clases

de extremidades, como la que se presenta en la figura 3, son menos comunes.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Plataforma experimental RHex [14] y (b) esquema mecánico de extremidad [15]

Rango de valores para las posiciones angulares de los grados de libertad de un robot hexápodo

En [16] se muestra el desarrollo de un robot hexápodo basado en un insecto palo. En aquel trabajo, se explican los rangos

de movimiento de los grados de libertad que componen aquel robot, información que es mostrada en la tabla 1. Cabe resaltar que esta información es referencial, debido a que, para generar pasos más largos o más cortos, los grados de libertad adoptarán valores más grandes o más pequeños según sea el caso.

Tabla 1
Ángulos de grados de libertad

**TABLE II
JOINT ANGLES**

Section	Angle (deg)
Prothorax Legs	
α (measured from the sagittal plane)	75
β (measured from the horizontal plane)	-40
ThC RoM (measured from the sagittal plane)	+5 – +155
CTr RoM (measured from the horizontal plane)	-90 – +90
FTi RoM (measured from an extension of the femur)	-180 – 0
Mesothorax Legs	
α (measured from the sagittal plane)	85
β (measured from the horizontal plane)	-40
ThC RoM (measured from the sagittal plane)	+15 – +165
CTr RoM (measured from the horizontal plane)	-90 – +90
FTi RoM (measured from an extension of the femur)	-180 – 0
Metathorax Legs	
α (measured from the sagittal plane)	135
β (measured from the horizontal plane)	-40
ThC RoM (measured from the sagittal plane)	+65 – +215
CTr RoM (measured from the horizontal plane)	-80 – +100
FTi RoM (measured from an extension of the femur)	-180 – 0

Fuente: [16]

SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL DEL ROBOT

Antecedentes

En 2010, Addanki Purna y Ch Sessa Kiran [18] desarrollaron un robot hexápodo cuyo sistema electrónico de control se basó en tres microcontroladores Atmel AT89C52 [anexo 1] (el cual fue utilizado para la implementación del sistema de control de movimiento basado en lógica difusa para un robot hexápodo [21]). Este microcontrolador de 8 bits y 2K bytes de memoria flash es capaz de realizar operaciones a una frecuencia de reloj de 24 MHz. Durante su trabajo, los microcontroladores fueron denominados M1, M2 y M3; en el cual M1 se ocupó de la verificación de tiempos utilizando el reloj en tiempo real DS11307,

por su parte, M2 se encargó de la operación de los servomotores del robot, mientras que M3 realizó las tareas de comunicación inalámbrica con el exterior empleando el transmisor y receptor IR TSOP1738. En este trabajo, se puede ver que, si bien se utilizaron tres microcontroladores, el trabajo de M1 debería ser prescindible en un robot que no requiera realizar movimientos de muy alta precisión. Por su parte, también existen varios microcontroladores que implementan módulos de comunicación de datos en su interior, los cuales permiten la comunicación con otros dispositivos sin requerir mayor costo computacional para estos microcontroladores siempre que no se intercambien grandes cantidades de datos, en cuyo caso también se podría prescindir de M3.

En 2003, Sasa Andelkovic y compañía [19] desarrollaron un procedimiento para el control de movimiento de un robot hexápodo con base en información proveniente de un magnetómetro. El trabajo se desarrolló sobre la base del robot hexápodo de doce grados de libertad Sprawlette que cuenta con dos microcontroladores. Si bien no se especifican los modelos de microcontroladores utilizados, se indica que uno de los microcontroladores realizó las operaciones de control de movimiento, mientras que el otro microcontrolador se dedicó a monitorear los sensores. Se agrega también que las operaciones matemáticas implicadas en el trabajo pueden ser realizadas por un microcontrolador de ocho bits. Se puede suponer que, si el robot no requiriera monitorear muchos sensores a alta frecuencia, se podría omitir el uso de un segundo microcontrolador al delegar dicha tarea a un único microcontrolador, el cual se encargaría de realizar las operaciones matemáticas de control del robot, así como también la comunicación con algún dispositivo externo.

En 2014, Mahdi Agheli y compañía [20] desarrollaron un robot hexápodo enfocado a utilizar la mínima cantidad de grados de libertad utilizados. Si bien los autores indican que un robot hexápodo usualmente es de dieciocho grados de libertad, ellos consideran que esta cantidad no es apropiada para aplicaciones de enjambre debido al costo que implica dicha cantidad de actuadores. En ese sentido, los autores desarrollaron un robot hexápodo capaz de desplazarse utilizando únicamente dos actuadores y, en consecuencia, únicamente dos grados de libertad en total. En el trabajo, se indica que el robot fue operado por una tarjeta electrónica de control basada en el microcontrolador Atmel ATtiny 2313 [anexo 2], el cual es un microcontrolador de 8 bits, 2K bytes de memoria flash y que puede funcionar con una frecuencia de reloj de hasta 20 MHz. Se puede inferir que, si bien el uso de una cantidad mínima de actuadores permite reducir el costo de fabricación del robot hexápodo, esto también limitaría la versatilidad de movimiento del robot y no sería justificado si se tratara de un robot independiente, que no forme parte de un enjambre.

En la tabla 2, se muestra un cuadro comparativo de los microcontroladores mencionados en esta sección.

Tabla 2
Comparación de las características de algunos microcontroladores utilizados para el control de movimiento de robots hexápodos

Referencia	Microcontrolador	Arquitectura	Memoria flash	Frecuencia de reloj	*NM total	*NM para el control de movimiento	Grados de libertad de robot
[18]	AT89C52	CMOS 8 bits	2K bytes	24 MHz	3	1	12
[19]	NE	8 bits	NE	NE	2	1	12
[20]	ATtiny 2313	CMOS 8 bits	2K bytes	20 MHz	1	1	2

Nota. NM es cantidad de microcontroladores y NE es no especificado.
Fuente: elaboración propia.

Selección de la tarjeta electrónica de control

El robot hexápodo propuesto en el presente trabajo consta de seis extremidades y tres grados de libertad por cada extremidad; en consecuencia, el robot cuenta con un total de dieciocho grados de libertad. Cada grado de libertad es provisto de movimiento generado por un actuador, para lo cual utiliza servomotores modelo MG996R, debido a que tales cuentan con controladores de posición angular integrados a ellos y operarlos únicamente requiere del envío de referencias de posición angular en forma de señales de tipo PWM. Cabe resaltar que se eligió este modelo de servomotor también debido a su facilidad de acceso en el mercado local y su bajo costo; además, se tomó en cuenta que son servomotores de medidas estándar, de modo que, si se encontrara algún problema de funcionamiento en ellos, serían fácilmente reemplazables por algún otro modelo; empero, experimentalmente, se encontró que estos servomotores funcionan satisfactoriamente bien en el robot hexápodo desarrollado.

En ese sentido, la tarjeta electrónica de control debe ser capaz de generar dieciocho señales de tipo PWM, hecho que puede ser conseguido con base en el uso de un microcontrolador que cuente con módulos dedicados a dicha tarea o también mediante la implementación de un algoritmo de generación de señales PWM.

La tarjeta electrónica de control también debe ser capaz de comunicarse con algún dispositivo externo, para ello se ha considerado el empleo de comunicación mediante el estándar RS232, debido a que existen librerías aplicables a muchos microcontroladores que facultan el uso de aquel estándar, a esto se agrega la existencia de tarjetas de comunicación inalámbrica que implementan circuitos integrados orientados al uso de aquel estándar, como es el caso del módulo *bluetooth* HC-05.

En el caso particular del robot hexápodo propuesto en el presente trabajo, no se requiere la lectura de sensores, por lo que tampoco se requiere el uso de un microcontrolador dedicado a ello. Sin embargo, tal microcontrolador encargado de operar los servomotores también puede recibir las señales que envían los sensores.

Con base en lo descrito en esta sección, además de las características de otros trabajos mostradas en la tabla 2, se encontró recomendable que la tarjeta electrónica de control esté basada en, por lo menos, un microcontrolador de 8 bits que pueda operar a 24 MHz, con 2K *bytes* de memoria *flash*, que cuente con 18 pines digitales de salida (utilizables para la generación de señales de tipo PWM) y al menos un módulo de comunicación en serial con el que se pueda utilizar el estándar RS232.

Si bien es posible fabricar una tarjeta electrónica sobre la base de un microcontrolador, se encontró más oportuno adquirir una tarjeta electrónica comercial que pueda cumplir dicho trabajo por menor precio. En ese sentido, se evaluó la posibilidad de utilizar alguna de las dos tarjetas electrónicas comerciales descritas a continuación:

Arduino Mega [22]:

- Número de pines de entrada y salida digital de datos: 54.
- Número de puertos UART (serial): 4.
- Memoria *flash*: 256K *bytes*.

- Frecuencia de reloj: 16 MHz.
- Arquitectura: CMOS 8 bits.
- Precio base aproximado (sin incluir costos de importación aplicables al mercado local) [22]: 38.5 USD.

Arduino Due [23]

- Número de pines de entrada y salida digital de datos: 54.
- Número de puertos UART (serial): 4.
- Memoria *flash*: 512K *bytes*.
- Frecuencia de reloj: 84 MHz.
- Arquitectura: ARM 32 bits.
- Precio base aproximado (sin incluir costos de importación aplicables al mercado local) [23]: 38.5 USD.

Dado que ambas tarjetas cumplen con las características recomendadas (excepto por la frecuencia de reloj del Arduino Mega, que es de solamente 16 MHz) y considerando que se pueden adquirir por igual precio, se prefirió utilizar como tarjeta electrónica de control al Arduino Due, debido a que tiene características que la hacen más potente (mayores memoria *flash* y frecuencia de reloj).

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL ROBOT

Consideraciones para el diseño mecánico

Tal como se manifestó en la introducción, se eligió el desarrollo de un robot hexápodo debido a su gran capacidad para evadir irregularidades, además de su mayor estabilidad de movimiento respecto a otras clases de robots. Tal estabilidad, analizada desde un punto de vista de equilibrio estático, requiere que el centro de masa del robot siempre se encuentre dentro del área definida por los extremos de las extremidades que estén en contacto con el suelo. Cabe resaltar que las trayectorias de las extremidades durante el desplazamiento del robot deben definirse de modo que no colisionen entre ellas o con algún obstáculo presente en la zona de operación del robot.

Se eligió realizar el diseño mecánico con base en *software* asistido por computadora, debido a la facilidad de edición y transporte de los archivos de diseño. Asimismo, se optó por realizar el diseño orientando a su fabricación mediante impresión 3D, debido a que los equipos de fabricación 3D son de fácil acceso y no implican el uso de maquinaria altamente sofisticada o cara.

Extremidades y cuerpo central

Cada extremidad contiene dos servomotores MG996R, los cuales generan movimiento para dos de los tres grados de libertad de la extremidad, mientras que el movimiento para el tercer grado de libertad es generado por un servomotor MG996R contenido en el cuerpo central del robot. Cada extremidad tiene terminación en punta, puesto que dicha forma permite que la extremidad se sujete mejor en terreno de poca

firmeza, tales como el arenoso o el rocoso. El cuerpo central del robot es la estructura principal a la que se acoplan todas las extremidades y las tarjetas electrónicas; aunado a ello, alberga en su interior seis servomotores MG996R que generan, cada uno, movimiento para uno de los tres grados de libertad de cada extremidad.

En las figuras 4 y 5, se exhiben vistas renderizadas de una extremidad y el cuerpo central del robot, respectivamente.



Figura 4. Vista renderizada de una extremidad del robot hexápodo
Fuente: elaboración propia.

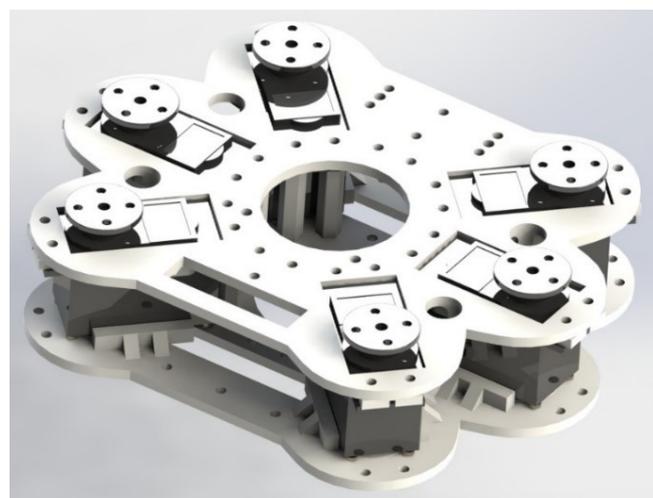


Figura 5. Vista renderizada del cuerpo central del robot hexápodo.
Fuente: elaboración propia.

izquierdo; adicionalmente, se denomina 1 a la extremidad ubicada adelante tanto en los lados izquierdo y derecho, 2 a la extremidad ubicada en la zona central de cada uno de los lados y 3 a la extremidad ubicada en la parte posterior del robot para cada lado. Con lo que las seis extremidades se denominan R1, R2, R3, L1, L2 y L3. En lo que refiere a las articulaciones, se ha elegido denominar A a la articulación cercana al cuerpo, B a la articulación media y C a la articulación lejana al cuerpo, con lo que de forma precisa se nombra a una articulación indicando a qué extremidad pertenece como R1A, R1B y R1C para la extremidad R1 y de forma similar se realiza para cada una de las seis extremidades.

La figura 6 muestra el ensamblaje del cuerpo central con las extremidades y en la figura 7 se presenta la distribución de extremidades y articulaciones de acuerdo a lo mencionado.



Figura 6. Ensamblaje del cuerpo central
Fuente: elaboración propia.

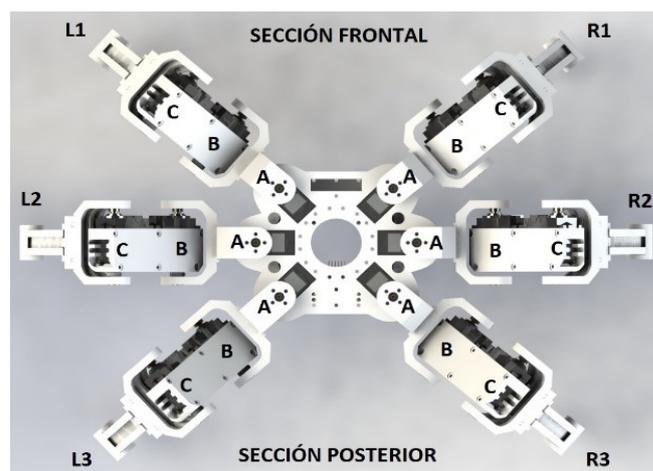


Figura 7. Vista superior: nomenclatura de extremidades y articulaciones
Fuente: elaboración propia.

ENSAMBLE DEL SISTEMA MECÁNICO

Nomenclatura propuesta para extremidades y articulaciones

Se ha decidido denominar cada extremidad, R si está del lado derecho del cuerpo del robot y L si pertenece al lado

Tabla 3
Nomenclatura de extremidades y articulaciones

Lado	Extremidad	Articulación cercana	Articulación media	Articulación lejana
Derecho	R1	R1A	R1B	R1C
	R2	R2A	R2B	R2C
	R3	R3A	R3B	R3C
Izquierdo	L1	L1A	L1B	L1C
	L2	L2A	L2B	L2C
	L3	L3A	L3B	L3C

Fuente: elaboración propia.

MOVIMIENTO DEL ROBOT

Para realizar el movimiento del robot hexápodo, se consideran dos grupos con las extremidades del robot. Cada grupo está formado por dos extremidades de un lado y la extremidad del lado opuesto. Estos grupos se denominan grupos de movimiento, el primero está formado por las extremidades R1, L2 y R3, y el segundo por L1, R2 y L3. Si deseamos realizar el movimiento hacia adelante, el primer grupo se eleva, mientras que el segundo grupo se mantiene en el suelo y se mueve hacia atrás, en seguida el primer grupo se mueve hacia adelante y baja, seguidamente el segundo grupo se eleva, mientras que el primer grupo se mantiene en el suelo y se mueve hacia atrás, posteriormente el segundo grupo se mueve hacia adelante y baja. Esta secuencia de movimiento se aborda en detalle en la sub-sección Movimiento del robot hacia adelante

La **posición de quietud** es aquella posición por defecto en la que el hexápodo está quieto y de pie. En la tabla 4 se exhibe la medida del ángulo para la posición de quietud de cada una de las articulaciones.

Tabla 4
Ángulos para la posición de quietud

Articulación	Posición de quietud (grados)
R1A	90
R1B	50
R1C	90
R2A	90
R2B	50
R2C	90
R3A	90
R3B	50
R3C	90
L1A	90
L1B	130
L1C	90
L2A	90
L2B	130
L2C	90
L3A	90
L3B	130
L3C	90

Fuente: elaboración propia

Los movimientos pueden ser hacia adelante, hacia atrás, hacia arriba, hacia abajo, de extensión y de flexión. A continuación, describiremos cada uno de estos movimientos.

El movimiento hacia adelante consiste en ubicar el extremo de la extremidad por delante de la posición de quietud, para lo cual es necesario cambiar las posiciones angulares a un valor que denominaremos A.

El movimiento hacia atrás consiste en ubicar el extremo de la extremidad por detrás de la posición de quietud, para lo cual es necesario cambiar las posiciones angulares a un valor que denominaremos A.

El movimiento hacia arriba consiste en ubicar el extremo de la extremidad por encima de la posición de quietud, para lo cual es necesario cambiar las posiciones angulares a un valor que denominaremos B.

El movimiento hacia abajo consiste en ubicar el extremo de la extremidad por debajo de la posición de quietud, para lo cual es necesario cambiar las posiciones angulares a un valor que denominaremos B.

El movimiento de flexión consiste en ubicar el extremo de la extremidad más cerca al cuerpo central que la posición de quietud, para lo cual es necesario cambiar las posiciones angulares a un valor que denominaremos C.

El movimiento de extensión consiste en ubicar el extremo de la extremidad más lejos al cuerpo central que la posición de quietud, para lo cual es necesario cambiar las posiciones angulares a un valor que denominaremos C.

Los movimientos hacia adelante, hacia arriba y de extensión se denominan movimientos positivos, mientras que los movimientos hacia atrás, hacia abajo y de flexión se denominan movimientos negativos. En la tabla 5, se presentan los valores numéricos de las posiciones angulares de cada una de las dieciocho articulaciones. Estas posiciones angulares se obtuvieron en forma experimental, considerando que el robot debe mantenerse de pie y desplazarse según los ángulos elegidos. Cada tipo de movimiento se produce mediante una secuencia de seis pasos, tal como se indica a continuación:

Movimiento del robot hacia adelante

- p1: Mover hacia arriba (articulaciones B) y extender (articulaciones C) el grupo 1 (extremidades R1, L2 y R3).

- p2: Mover hacia atrás (articulaciones A) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3). Mover hacia adelante (articulaciones A) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3).
- p3: Mover hacia abajo (articulaciones B) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3).
- p4: Mover hacia arriba (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).
- p5: Mover hacia atrás (articulaciones A) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3). Mover hacia adelante (articulaciones A) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).
- p6: Mover hacia abajo (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).

Movimiento del robot hacia atrás

- p1: Mover hacia arriba (articulaciones B) y extender (articulaciones C) el grupo 1 (extremidades R1, L2 y R3).
- p2: Mover hacia adelante (articulaciones A) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3). Mover hacia atrás (articulaciones A) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3).
- p3: Mover hacia abajo (articulaciones B) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3).
- p4: Mover hacia arriba (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).
- p5: Mover hacia adelante (articulaciones A) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3). Mover hacia atrás (articulaciones A) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).
- p6: Mover hacia abajo (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).

Tabla 5
Valores numéricos de las posiciones angulares de cada una de las dieciocho articulaciones en los movimientos positivos, negativos y de quietud

Articulación	Movimiento negativo (grados)	Posición de quietud (grados)	Movimiento positivo (grados)
R1A	70	90	110
R1B	30	50	110
R1C	70	90	110
R2A	70	90	110
R2B	30	50	110
R2C	70	90	110
R3A	70	90	110
R3B	30	50	110
R3C	70	90	110
L1A	110	90	70
L1B	150	130	70
L1C	110	90	70
L2A	110	90	70
L2B	150	130	70
L2C	110	90	70
L3A	110	90	70
L3B	150	130	70
L3C	110	90	70

Fuente: elaboración propia

Giro hacia la derecha

- p1: Mover hacia arriba (articulaciones B) y extender (articulaciones C) el grupo 1 (extremidades R1, L2 y R3).
- p2: Mover hacia adelante (articulaciones A) L1 y L3 y mover hacia atrás (articulaciones A) R2. Mover hacia

atrás (articulaciones A) R1 y R3 y mover hacia adelante (articulaciones A) L2.

- p3: Mover hacia abajo (articulaciones B) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3).
- p4: Mover hacia arriba (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).

- p5: Mover hacia atrás (articulaciones A) R1 y R3 y mover hacia adelante (articulaciones A) L2. Mover hacia adelante (articulaciones A) L1 y L3 y mover hacia atrás (articulaciones A) R2.
- p6: Mover hacia abajo (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).

Giro hacia la izquierda

- p1: Mover hacia arriba (articulaciones B) y extender (articulaciones C) el grupo 1 (extremidades R1, L2 y R3).
- p2: Mover hacia atrás (articulaciones A) L1 y L3 y mover hacia adelante (articulaciones A) R2. Mover hacia adelante (articulaciones A) R1 y R3 y mover hacia atrás (articulaciones A) L2.
- p3: Mover hacia abajo (articulaciones B) el primer grupo (extremidades R1, L2 y R3).
- p4: Mover hacia arriba (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).
- p5: Mover hacia adelante (articulaciones A) R1 y R3 y mover hacia atrás (articulaciones A) L2. Mover hacia atrás (articulaciones A) L1 y L3 y mover hacia adelante (articulaciones A) R2.
- p6: Mover hacia abajo (articulaciones B) el segundo grupo (extremidades L1, R2 y L3).

OPERACIÓN INALÁMBRICA

Se utilizaron comandos CMD para ordenar al robot en forma inalámbrica, vía *bluetooth*, a fin de que pueda realizar los movimientos antes descritos. En la tabla 6, se indica el valor decimal de estos comandos y la descripción del movimiento que realizará el robot. Se utilizó la herramienta GUIDE de Matlab R2018 para desarrollar una interfase gráfica de usuario, mediante la cual es posible enviar los comandos mencionados. En la figura 8, se muestra la descripción de esta interfase gráfica, en la cual se muestran las opciones para elegir el tipo de movimiento. En la tabla 7, se describe la tarea que se realiza al seleccionar las opciones de la interfase gráfica. La comunicación inalámbrica utilizada es para distancias menores a diez metros.

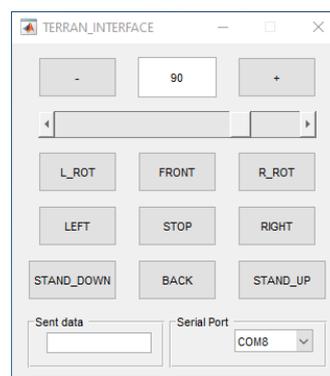


Figura 8. Interfase gráfica
Fuente: elaboración propia.

Tabla 6
Valores numéricos asignados a cada comando y descripción de estos

CMD	Valor	Descripción
48	Stop	Detener el movimiento y permanecer en posición inicial (de pie)
51	Stand up	Ponerse de pie
49	Stand down	Reposar el cuerpo central sobre el suelo
56	Front movement	Movimiento hacia adelante
50	Back movement	Movimiento hacia atrás
54	Right movement	Movimiento hacia la derecha
52	Left movement	Movimiento hacia la izquierda
57	Right rotation	Rotación hacia la derecha
55	Left rotation	Rotación hacia la izquierda
[100, 215]	Angle	Ángulo de posición de cámara = CMD - 100

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7
 Controles de la interface gráfica de usuario y comandos que representan

Control	Tipo	Función
-	Botón	Decrece en una unidad el ángulo de la cámara
+	Botón	Aumenta en una unidad el ángulo de la cámara
Ángulo	Cuadro de texto	Se indica el ángulo de la cámara
Barra ángulo	Barra deslizante	Se indica el ángulo de la cámara
Stop	Botón	Envía comando <i>stop</i>
Stand up	Botón	Envía comando <i>stand up</i>
Stand down	Botón	Envía comando <i>stand down</i>
Front	Botón	Envía comando <i>front movement</i>
Back	Botón	Envía comando <i>back movement</i>
Right	Botón	Envía comando <i>right movement</i>
Left	Botón	Envía comando <i>left movement</i>
L rot	Botón	Envía comando <i>left rotation</i>
R rot	Botón	Envía comando <i>right rotation</i>
Send data	Cuadro de texto	Muestra el comando enviado
Serial port	Lista	Permite seleccionar el puerto serial a utilizar para la comunicación

Fuente: elaboración propia.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Ubicación del módulo HC-05 en robot hexápodo:

- Se instaló un módulo de comunicación inalámbrica *bluetooth* HC-05 para permitir comunicación entre una estación en tierra con el robot.
- Ver figura 9.

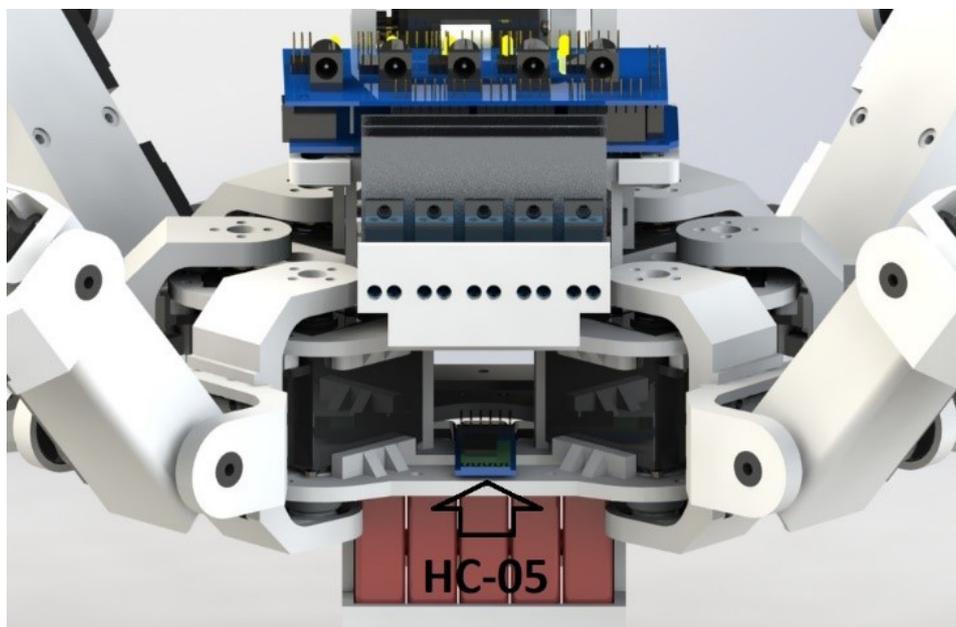


Figura 9. Ubicación de módulo HC-05 en robot hexápodo
 Fuente: elaboración propia.

Servomotor para movimiento de cámara digital:

vertical de la cámara, así como soportar las tarjetas electrónicas.

- Se instaló un soporte que permite la ubicación de un servomotor adicional MG996R para modificar el ángulo
- Ver figura 10.

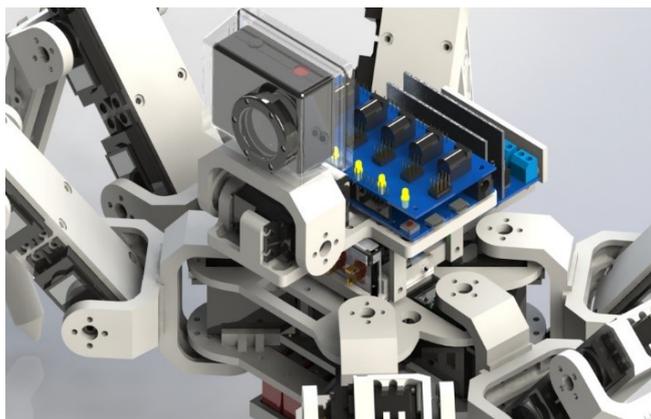


Figura 10. Servomotor para movimiento de cámara digital
Fuente: elaboración propia.

Vista general del hexápodo:

- Ver figura 11.

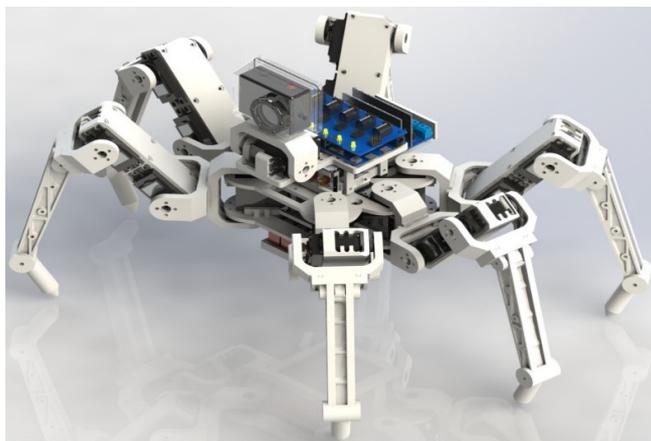
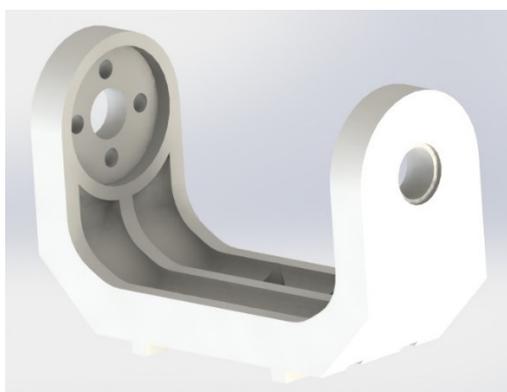


Figura 11. Vista general del robot hexápodo
Fuente: elaboración propia.

Diseño de una pieza de la estructura mecánica del robot hexápodo y la impresión 3D de tal pieza:

- Ver figura 12.



(a)



(b)

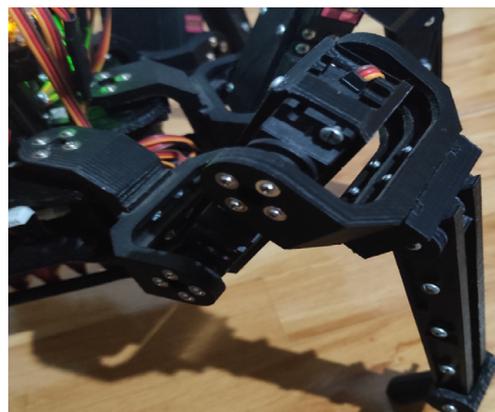
Figura 12. (a) Pieza diseñada con software CAD y (b) pieza fabricada con impresión 3D
Fuente: elaboración propia.

En la figura 13, se muestra el diseño de una de las patas ensambladas al cuerpo del robot, el movimiento de la pata

se debe a los tres servomotores MG996R incorporados en la pata.



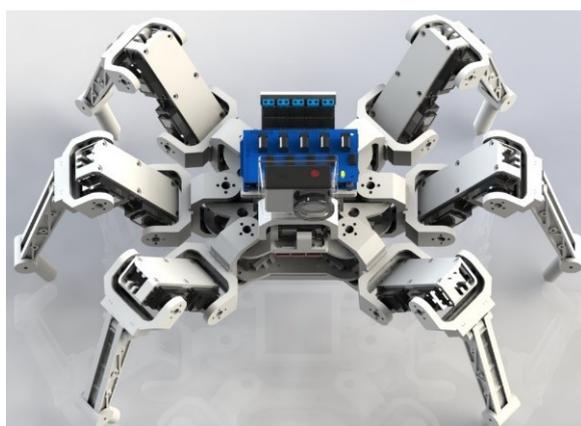
(a)



(b)

Figura 13. (a) Pata diseñada con software CAD y (b) pata fabricada con impresión 3D
Fuente: elaboración propia.

En la figura 14, se muestra el diseño del cuerpo, las seis patas acopladas al cuerpo del robot y la impresión 3D de este sistema mecánico.



(a)



(b)

Figura 14. (a) Robot hexápodo diseñado con software CAD y (b) robot hexápodo fabricado con impresión 3D
Fuente: elaboración propia.

DISEÑO DE LA INTERFACE DE POTENCIA

La plataforma electrónica de desarrollo Arduino Due (indicado en la sección respecto a antecedentes en electrónica de control) no está diseñada para proveer energía a los actuadores tales como los servomotores, por lo cual se ha diseñado una tarjeta electrónica (ver figura 15) que se acople a esta y reciba la energía de cinco baterías; cada batería de dos celdas y 1000

mA/h puede suministrar energía a cuatro servomotores. En este proyecto, se utilizarán dieciocho servomotores. Las señales de control PWM están disponibles en los pines 3, 4, 22, 24, 26, 28, 32, 34, 35, 29, 33, 30, 46, 48, 53, 51, 49, 47, 25 y 23. Esta tarjeta cuenta, además, con un puerto de comunicación en serie, que permite que el robot interactúe con un dispositivo externo por medio del uso del módulo de comunicación inalámbrica *bluetooth* HC-05.

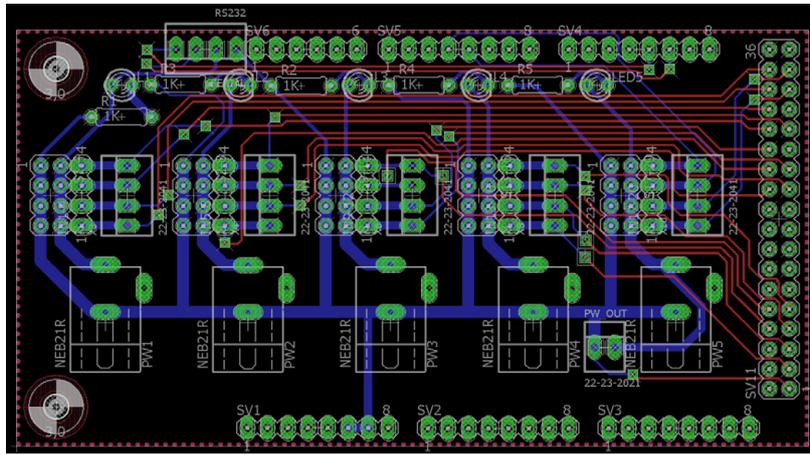


Figura 15. Tarjeta electrónica para interface de potencia
Fuente: elaboración propia.

En la figura 16, se presenta el diseño de una tarjeta reguladora de tensión de cinco líneas de seis VDC cada una, la que será

suministrada a los servomotores. Se diseñó una estructura adicional para instalar esta tarjeta.

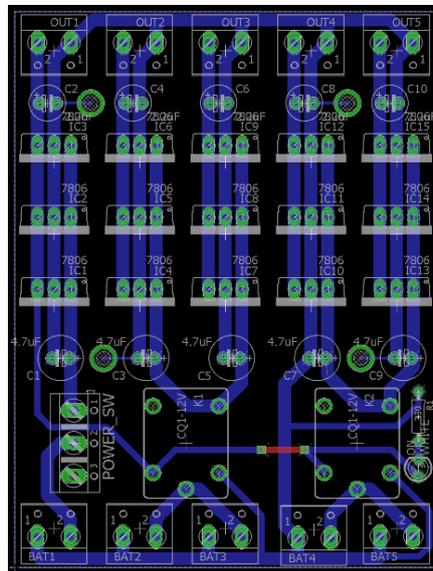
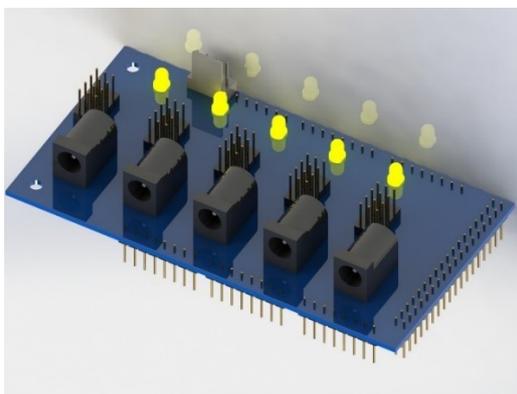
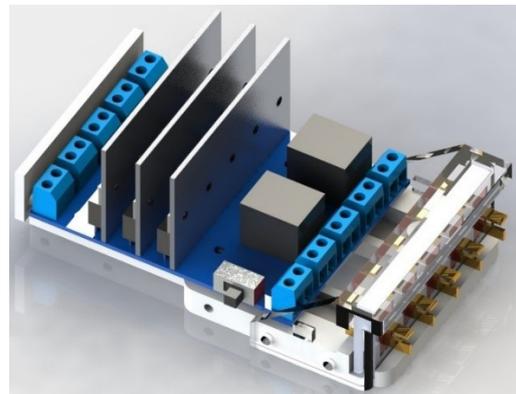


Figura 16. Diseño de tarjeta electrónica reguladora de tensión
Fuente: elaboración propia.

En la figura 17, se exhibe una representación en CAD de las tarjetas de interface de potencia y reguladora de tensión.



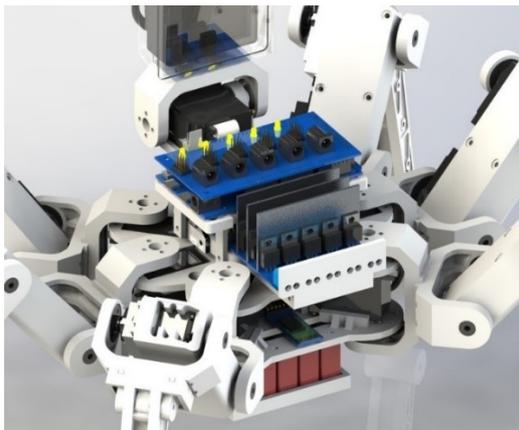
(a)



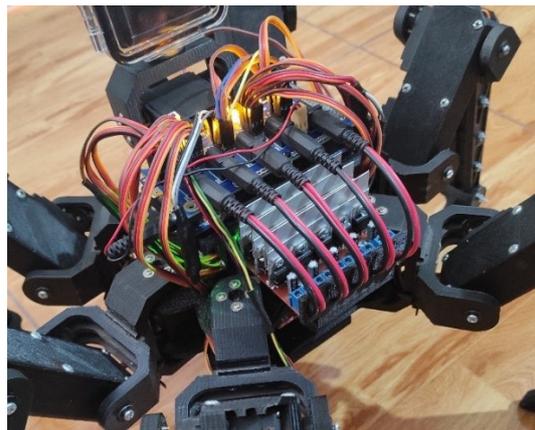
(b)

Figura 17. (a) Modelos en CAD de interface de potencia y (b) del regulador de tensión con estructura de soporte
Fuente: elaboración propia.

En la figura 18, se enseñan el modelo en CAD de las tarjetas electrónicas integradas al robot y el robot implementado con estas tarjetas, así como el cableado respectivo.



(a)



(b)

Figura 18. (a) Modelo en CAD de tarjetas electrónicas integradas y (b) implementación de las tarjetas electrónicas integradas
Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Tal como se muestra en la figura 19, se acopló la cámara digital Vivitar DVR786HD por medio de un tornillo. Esta cámara cuenta con una rosca para acople estándar, por lo que el robot

puede soportar otros modelos de cámaras digitales de varios fabricantes. Asimismo, se eligió para las pruebas utilizar una cámara (DVR786HD) que pueda ser operada inalámbricamente, aunque este modelo no transmite video, es posible utilizar otras cámaras con mayores prestaciones tales como GoPro Hero 7 [24].

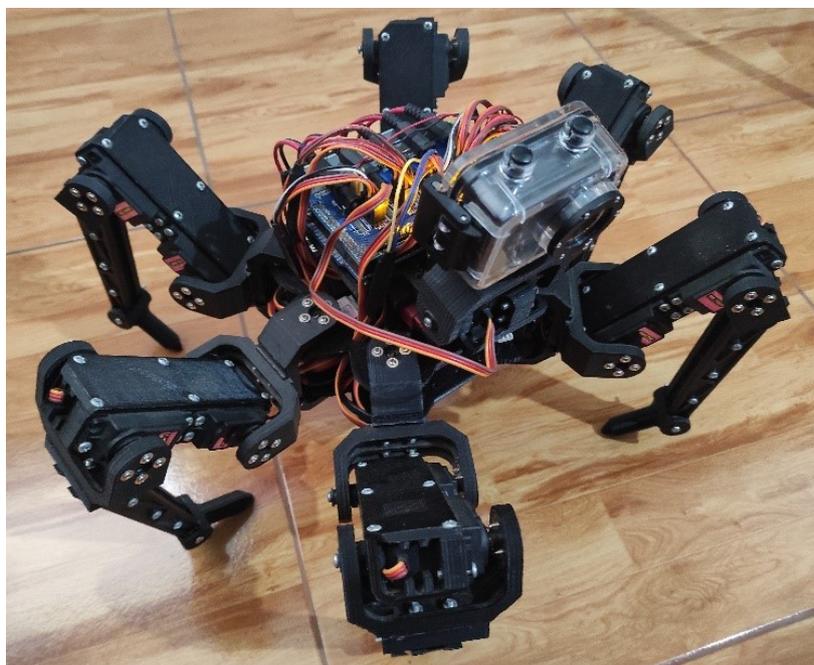
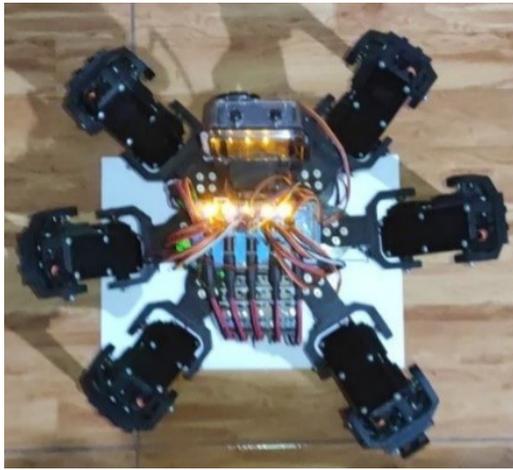


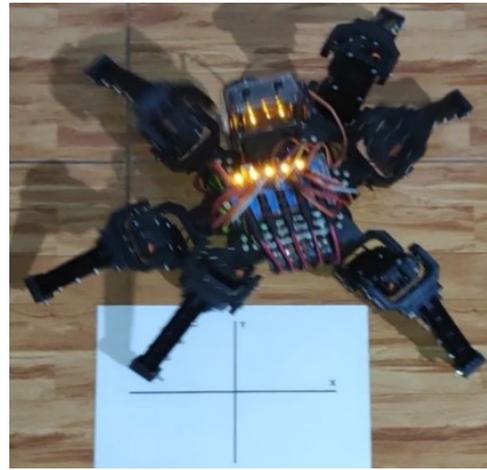
Figura 19. Robot hexápodo con cámara digital Vivitar DVR786HD
Fuente: elaboración propia.

Antes de probar el robot en un terreno irregular, se realizó el movimiento del robot sobre el piso liso, para lo cual se colocó en el piso un papel como referencia para ver de forma clara los

movimientos del robot. Las figuras 20, 21, 22 y 23 muestran el movimiento del robot en varias direcciones: hacia adelante, atrás, derecha e izquierda.

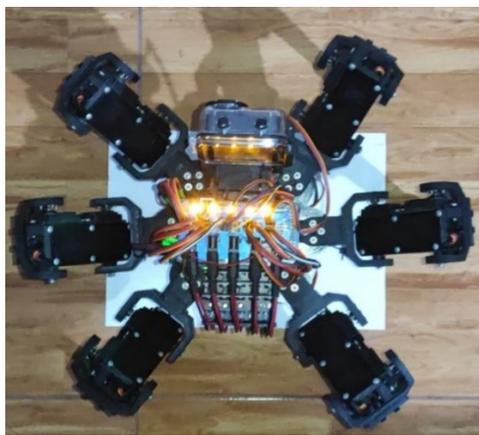


(a)

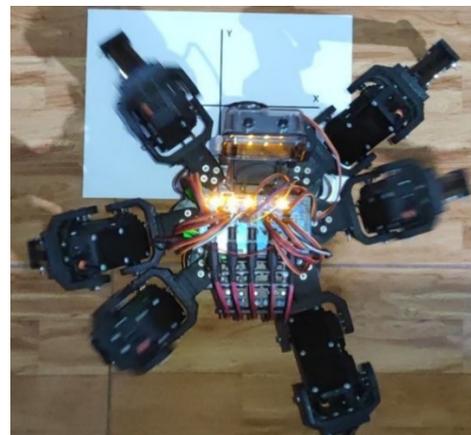


(b)

Figura 20. Movimiento del robot hacia adelante: (a) posición inicial y (b) posición final
Fuente: elaboración propia.

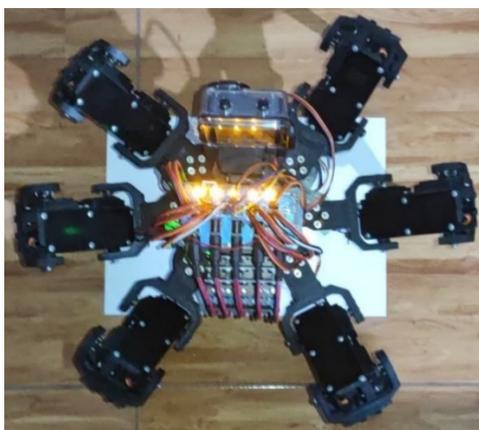


(a)

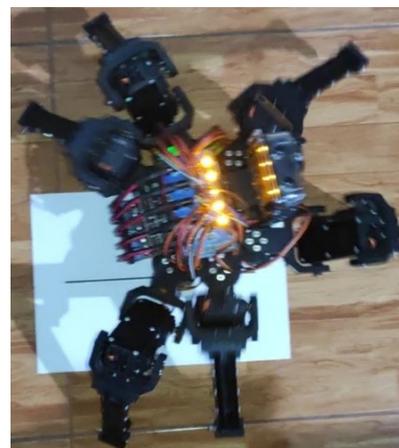


(b)

Figura 21. Movimiento del robot hacia atrás: (a) posición inicial y (b) posición final
Fuente: elaboración propia.

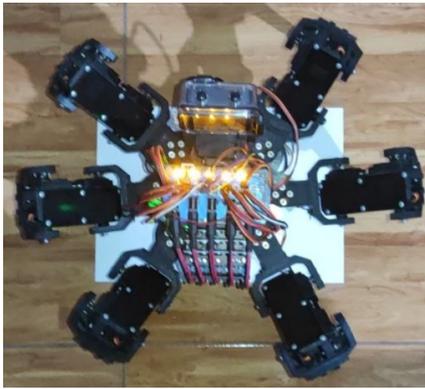


(a)



(b)

Figura 22. Giro hacia la derecha: (a) posición inicial y (b) posición final
Fuente: elaboración propia.



(a)



(b)

Figura 23. Giro hacia la izquierda: (a) posición inicial y (b) posición final

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se hicieron las pruebas en un terreno irregular, tal como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Movimiento del robot hexápodo sobre una superficie irregular

Fuente: elaboración propia.

El sistema de operación inalámbrica por comandos a través de un módulo *bluetooth* funcionó correctamente durante la operación y envió información para que el robot se mueva hacia adelante y

hacia atrás, y gire hacia la derecha y la izquierda. En la figura 25, se presenta la interface gráfica de usuario para enviar el comando de movimiento hacia adelante.

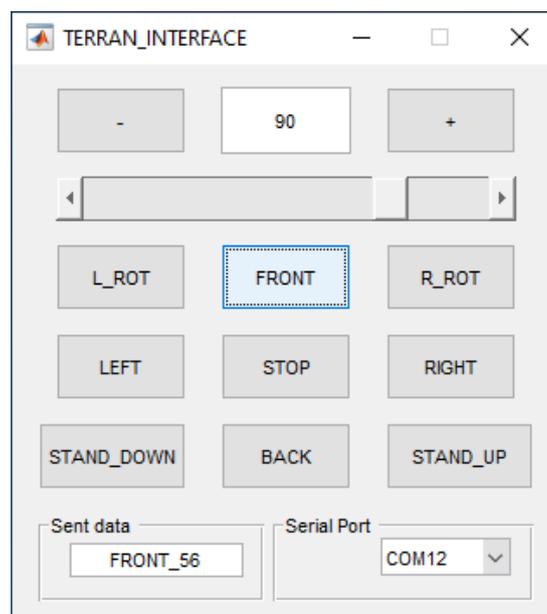


Figura 25. Interface gráfica de usuario enviando el comando Mover hacia adelante por el puerto COM12 de la PC

Fuente: elaboración propia.

El desplazamiento del robot fue más eficiente en un terreno irregular sin arbustos que en una superficie de concreto o con abundante gras. La cámara digital incorporada en el robot permitió

obtener las imágenes del terreno sobre el cual se desplazaba el robot, tal como se aprecia en la figura 26.



Figura 26. Imagen captada por la cámara incorporada en el robot en dos tipos de terrenos
Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se realizó el estudio del robot hexápodo, con seis patas, cada una de estas con tres grados de libertad, lo cual permitió realizar tareas de exploración sobre superficies irregulares.
- Se diseñó la estructura mecánica del robot hexápodo, la cual consiste de un cuerpo central y seis patas con tres articulaciones cada una. Se utilizó el diseño asistido por computadora CAD.
- Se utilizó la impresión 3D para construir la estructura mecánica del robot, esta impresión se realizó por partes, las cuales fueron ensambladas.
- Se consideraron tres servomotores por cada pata para la generación del movimiento y un servomotor para el giro de la cámara digital, los cuales son controlados por una plataforma electrónica basada en Arduino Due.
- Se realizó la comunicación inalámbrica por medio de los módulos *bluetooth* a una distancia máxima de diez metros y se utilizó una cámara digital básica para la captura de imágenes.
- Se utilizó una fuente formada por cinco baterías de litio y polímero, con dos celdas y 1 A para suministrar energía eléctrica, a través de un regulador de tensión, a los servomotores y los módulos de control.
- Se logró manipular en forma inalámbrica al robot hexápodo sobre un terreno irregular sin arbustos y en varias direcciones de movimiento (hacia adelante y atrás y giro hacia la derecha y la izquierda).
- Se logró obtener las imágenes del terreno, sobre el cual se desplazaba el robot, mediante una cámara incorporada en la estructura del robot. Luego, estas imágenes se analizaron en la computadora.
- Se verificó que el robot no se desliza adecuadamente en superficies lisas.
- Se verificó que el robot no se desliza adecuadamente en superficies blandas, debido a que los extremos del robot tienden a penetrar estas superficies.

REFERENCIAS

- [1] Pollard, B. y Tallapragada, P. (abril 2017). An aquatic robot propelled by an internal robot. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 22(2).
- [2] Kuppuswamy, N., Cho, S., Stomier, D., Choi, S. y Kim, J. *Design of an omnidirectional robot for FIRA Robosot*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/264841048_DESIGN_OF_AN_OMNIDIRECTIONAL_ROBOT_FOR_FIRA_ROBOSOT.
- [3] Wang, Q., Wu, L., Chen, S., Shu, D., Xu, Z., Li, F. y Wang, R. (mayo 2014). Evaluation of 3D geometry for low-attitude UAV images: a case study at Zijin mine. *The International Archives of the Photogrammetry - Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Technical Commission IV Symposium, XL-4*, 297-300.
- [4] Kajita, S., Kanehiro, F., Kaneko, K., Fujiwara, K., Harada, K., Yokoi, K. y Hirukawa, H. (septiembre 2003). *Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point*. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 1620-1626.
- [5] Hirose, S., Fukuda, Y., Yoneda, K., Nagakubo, A., Tsukagoshi, H., Arikawa, K., Endo, G., Doi, T. y Hodoshima, R. (junio 2009). Deking, analysis, and gait control methods. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 104-114.
- [6] Best, G., Moghadam, P., Kottege, N. y Kleeman, L. (diciembre 2013). *Terrain classification using a hexapod robot*. Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation. Universidad de Nueva Gales del Sur, Sidney, Australia.
- [7] Feng, S., Xinjilefu, X., Atkeson, C. y Kim, J. (julio 2015). *Optimization based controller design and implementation for the atlas robot in the DARPA robotics challenge finals*. International Conference on Humanoid Robots.
- [8] Vargas, J. (octubre 2016). *Diseño de un robot hexápodo tipo hormiga*. 8. ° Congreso Mexicano de Robótica, COMRob 2006. Torre de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 80-85.

- [9] Belter, D. y Skrzypczynsky, P. (septiembre 2011). *Integrated motion planning for a hexapod robot walking on rough terrain*. Preprints of the 18th IFAC World Congress, 6918-6923. Milán, Italia.
- [10] Mostafa, K., Tsai, C. y Her, I. (2010). Alternative gaits for multipled robots with leg failures to retain maneuverability. *International Journal of Advanced Robotics Systems*, 7(4), 33-40.
- [11] Gonzales, P., García, E., Ponticelli, R. y Armada, M. (diciembre 2008). Minimizing energy consumption in hexapod robots. *Advanced Robotics* 23, 681-704. <https://doi.org/10.1163/156855309X431677>.
- [12] Carbone, G., Yatsuna, A., Ceccarelli, M. y Yatsun, S. (julio 2009). *Design and simulation of Cassino Hexapod robot*. Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Systems, 301-307.
- [13] Jakinovsky, B. y Maehle, E. (marzo 2010). In situ self-reconfiguration of hexapod robot OSCAR using biologically inspired approaches. *Climbing and Walking Robots*, 311-332.
- [14] Saranli, U., Buehler, M. y Koditschek, D. (julio 2001). RHex: a simple and highly mobile hexapod robot. *The International Journal of Robotics Research*, 20(7), 616-631.
- [15] Preumont, A., Alexandre, P., Doroftei, I. y Goffin, F. (1997). A conceptual walking vehicle for planetary exploration. *Mechatronics*, 7(3), 287-296.
- [16] William, A., Lewinger, H., Reekie, M. y Webb, B. (2011). *A hexapod robot modeled on the stick insect, Carausius morosus*. 15th International Conference on Advanced Robotics (ICAR). <https://doi.org/10.1109/ICAR.2011.6088569>.
- [17] Ohnishi, T. y Asakura, T. (septiembre-octubre 2004). *On walking behavior strategy for spider-robot based on environmental information*. Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Sendai, Miyagi, Japón.
- [18] Ramesh, A. y Kumar, C. (2010). Autonomous home automated hexapod robot. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 2(9), 3016-3020.
- [19] Anđelković, S., Veličković, I., Rašić, M. y Đorđević, G. (2003). Digital compass as heading sensor for hexapod robot. *Journal of Automatic Control*, 13(2), 11-16.
- [20] Agheli, M., Faal, S., Chen, F., Gong, H. y Onal, C. (mayo-junio 2014). *Design and manufacturing of a foldable hexapod robot towards experimental swarm applications*. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). <https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6907287>.
- [21] Farooq, U., Asad, M., Amar, M., Hanif, A. y Saleh, S. (abril 2014). Fuzzy logic based real time obstacle avoidance controller for simplified model of hexapod walking robot. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 6(2), 127-131.
- [22] Arduino.cc. (abril 2019). *Arduino Mega 2560 REV3*. Recuperado de: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.
- [23] Arduino.cc. (abril 2019). *Arduino Due*. Recuperado de: <https://store.arduino.cc/usa/due>.
- [24] GoPro. (septiembre 2019). *Hero 7 Black*. Recuperado de: <https://gopro.com/en/pe/shop/cameras/hero7-black/CHDHX-701-master.html>.
- [25] Maker Pro. (septiembre 2019). *HC-05 Datasheet | Bluetooth Transceiver Module*. Recuperado de: <https://maker.pro/custom/tutorial/hc-05-bluetooth-transceiver-module-datasheet-highlights>.

Anexos

[Anexo 1] Atmel (abril de 2019), "8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash AT89C2051", disponible en: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0368.pdf>

[Anexo 2] Atmel (abril de 2019), "8-bit AVR Microcontroller with 2K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny 2313/V", disponible en: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2543-AVR-ATtiny2313_Datasheet.pdf

[Anexo 3] Digi (septiembre de 2019), "Zigbee RF Modules", disponible en: <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>

ACERCA DE LOS AUTORES

MSc. José Machuca Mines

Ingeniero electrónico, egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería, magíster en Automática e Instrumentación, egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería y docente universitario en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Profesor de antegradado y posgrado.

BSc. Juan Carlos Suárez Quispe

Bachiller en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería con amplia experiencia en participación en trabajos de investigación para INICTEL-UNI e IIFIEE-UNI en actividades relacionadas al diseño y la implementación de sistemas de control digital. Cuenta con participación en múltiples eventos de carácter científico-tecnológico nacionales e internacionales tales como talleres, conferencias, cursos y charlas, así como formación constante en temas relacionados a ingeniería de control e inteligencia artificial. Cuenta con un diplomado en Gestión de Proyectos según los lineamientos del PMI (Project Management Institute), además de estudios concluidos de maestría en Automática e Instrumentación en la Universidad Nacional de Ingeniería.

@ jsuarezq@uni.pe

Ing. Ernesto Juan Godinez de la Cruz

Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Ingeniería, estudios concluidos de maestría en Automática e Instrumentación en la Universidad Nacional de Ingeniería y diplomado en Mecatrónica de Tecsup. Con experiencia en diseño y ejecución de proyectos de electrificación, diseño y construcción de tableros eléctricos para centros de control de motores. Ha participado en trabajos de investigación para IIFIEE-UNI en actividades relacionadas al diseño y la implementación de sistemas de control digital. Es docente en la especialidad de Electrónica y Automatización industrial de Tecsup en los cursos de Instrumentación Industrial y Estrategias de Control Automático.

@ egodinez@tecsup.edu.pe

Ing. Wilson Marín Quevedo

Ingeniero eléctrico de la Universidad Nacional de Ingeniería y con estudios culminados de maestría en Automática e Instrumentación en dicha universidad. Ha participado en trabajos de investigación para IIFIEE-UNI en actividades relacionadas al diseño y la implementación de sistemas de control digital. Tiene experiencia en instalaciones eléctricas y automatización de embarcaciones pesqueras.

@ wilson-quevedo@hotmail.com

Recibido: 30-04-21
Revisado: 12-08-21
Aceptado: 11-09-21



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

**Evaluación de las soluciones
sólidas poliméricas con el
fin de conocer ventajas y
desventajas tecnológicas** y
determinar la relación costo-resistencias
mecánicas.



Caracterización mecánica de resinas acrílicas dentales polimerizables de origen y costos diferentes

Mechanical Characterization of Dental Acrylic Resins Polymerizable of Different Origin and Costs

RESUMEN

En la actualidad, los materiales dentales de restauración y rehabilitación deben cumplir numerosos requisitos, entre ellos presentar niveles mínimos en sus propiedades mecánicas, como resistencia al cizallamiento, dureza, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia al impacto.

En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue caracterizar mecánicamente y comparar dos (2) resinas dentales termopolimerizables, de diferentes fabricantes (uno colombiano y otro brasileño) y que son de amplio uso en el mercado local; sin embargo, con precios diferentes (a razón de 1:1,5), por eso se realizó un análisis económico de ambas resinas comercializadas ampliamente en Lima. Es decir, este trabajo procura comprobar si existen diferencias significativas entre ambas resinas empleadas en este estudio.

El análisis se realizó en el Laboratorio de Materiales de Tecsup Centro (Lima); se fabricaron y ensayaron todas las probetas para los diversos ensayos destructivos y no destructivos, según las siguientes normas técnicas internacionales: ISO 22674 -> Ensayo de tracción; ASTM D785 -> ensayo de dureza Rockwell; ISO 29022 -> ensayo de resistencia al cizallamiento; ISO 16402 -> ensayo de flexión y ASTM D6110 -> ensayo de impacto. Todos los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente.

Se concluyó que la resina brasileña presentó una mayor resistencia al cizallamiento e impacto, en promedio 10 % y 36 %; en cuanto a la resistencia a la flexión, casi es igual que la resina acrílica colombiana; finalmente, en cuanto a la resistencia a la tracción y dureza, la resina colombiana fue superior en torno a aproximadamente más de 28% y 55% respectivamente. Asimismo, la resina colombiana tiene un mejor posicionamiento en el mercado local, pero es 55 % más cara que el producto brasileño.

ABSTRACT

Nowadays, dental restoration and rehabilitation materials must meet numerous requirements, for example, minimum levels of mechanical properties, such as shear strength, hardness, tensile strength, flexural strength, and impact resistance.

In this sense, the objective of the present study was to mechanically characterize and compare two (2) heat-curing dental resins from different manufacturers (one Colombian and one Brazilian), and which are widely used in the local market, however with different prices (at a ratio of 1:1.5). Therefore, an economic analysis of both resins widely marketed in Lima had performed. In other words, this work seeks to verify whether there are significant differences between the two resins used in this study.

The analysis had carried out at the Materials Laboratory of Tecsup Centro (Lima); all specimens had manufactured and tested for the various destructive and non-destructive tests, according to the following international technical standards: ISO 22674 -> tensile test; ASTM D785 -> Rockwell hardness test; ISO 29022 -> shear strength test; ISO 16402 -> flexural test and ASTM D6110 -> impact test. All the results obtained had statistically analyzed.

It had concluded that the Brazilian resin presented higher resistance to shear and impact, on average 10% and 36%. In terms of flexural strength, it was almost the same as the Colombian acrylic resin. And in terms of tensile strength and hardness, the Colombian resin was superior by approximately more than 28% and 55%, respectively. Likewise, Colombian resin has a better positioning in the local market but is 55% more expensive than the Brazilian product.



Palabras Claves

Resina acrílica dental, caracterización mecánica, ensayos destructivos, ensayos no destructivos.

Key words

Dental acrylic resin, mechanical characterization, destructive tests, non-destructive tests.

INTRODUCCIÓN

Las resinas acrílicas son polímeros muy utilizados en odontología restaurativa, gracias a su fácil manipulación, bajo costo y excelente biocompatibilidad, a sus propiedades mecánicas y tiempo de vida útil (según las condiciones de uso). Se emplean en la fabricación de dientes artificiales, en bases de prótesis y como sellantes de puntos y fisuras [1]. Asimismo, el alginato dental es otro polímero ampliamente usado para elaborar moldes de impresiones de dentaduras de pacientes. Las resinas y los alginatos dentales pueden adquirirse a diferentes precios según tipo y marca del producto, siendo algunos bastantes conocidos en el mercado local mientras que otros son desapercibidos.

Las dos principales características de las resinas dentales son la alta resistencia mecánica y la alta resistencia a la corrosión. En ese sentido, para cuantificar apropiadamente las propiedades a través de pruebas de laboratorio, se deben fabricar las probetas y ejecutar los ensayos según indican las normas técnicas internacionales (NTI). En este trabajo, se emplearon las NTI desarrolladas por ISO y ASTM. Se realizaron ensayos destructivos para polímeros termorrígidos de uso odontológico, con el objetivo de determinar la resistencia a la tracción, al cizallamiento, a la flexión, al impacto y la dureza superficial.

En nuestra sociedad se observa que, culturalmente, según la capacidad de gasto familiar, se busca la reducción de costos en varios procesos relacionados con la salud de las personas, sobre todo cuando estas se encuentran ubicadas dentro de los grupos

socioeconómicos D y E; es por eso que, a veces, se reemplazan algunos productos de un costo específico por otros más baratos. En ese sentido, según la información recabada por los proveedores de materiales dentarios, alginatos en polvo de color rosado son usados en lugar de metacrilato de metilo en polvo en la fabricación de bases de prótesis dentales, manteniendo el monómero de metacrilato de metilo líquido para formar la solución sólida tipo acrílico.

La caracterización mecánica y una evaluación económica de las soluciones sólidas producidas a partir de estas combinaciones permitirán conocer sus ventajas y desventajas tecnológicas, y también, determinar la relación costo-resistencia mecánica de los materiales estudiados. El objetivo final es proveer al público, principalmente de bajos recursos económicos, un conocimiento de la calidad y garantía (desde el punto de vista mecánico) que puedan tener sus prótesis dentales producidas con materiales «alternativos» o «genéricos», tal como lo denominan y/o emplean en la actualidad algunas personas del sector odontológico.

FUNDAMENTOS

Los polímeros usados en odontología son variados y de diferentes características tecnológicas, se usan en la elaboración de las bases de las prótesis (mucosoportadas, dentomucosoportadas e implantoportadas) y en la producción de moldes de impresión, entre otros. Los polímeros base de dentadura se clasifican en cinco tipos tal como se observan en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación de los polímeros para bases de dentadura

TIPO	CLASE	DESCRIPCIÓN
1	1	Polímeros termocurables, polvo y líquido
1	2	Polímeros termocurables, preforma
2	1	Polímeros autocurables, polvo y líquido
2	1	Polímeros autocurables, polvo y líquido vertibles
3	-	Termoplásticos
4	-	Materiales fotopolimerizables
5	-	Materiales polimerizables por microondas

Las resinas acrílicas dentales son usadas en la fabricación de prótesis dentales humanas. Este material puede amoldarse a la encía y tener una adaptación a la forma de la boca de la persona. Las resinas acrílicas son polímeros cristalinos, frágiles y duros; son incoloros pero fácilmente coloreables. Actualmente, son elaboradas con polímeros sintéticos porque aportan mejoras en la estabilidad dimensional, fácil coloreado de prótesis para conseguir una óptima mimetización con la encía y una menor absorción saliva, factor que hacía poco higiénicas las prótesis de polímeros de naturales como el caucho. Son materiales termoestables, ya que tras su polimerización no se pueden transformar ni modelar [3, 4, 5, 6].

La evaluación previa de las propiedades mecánicas, físicas, químicas y la biocompatibilidad de los materiales poliméricos empleados en los tratamientos odontológicos permite un mejor ejercicio profesional en estas últimas décadas [7]. Entre las propiedades mecánicas consideradas importantes en los materiales odontológicos se encuentra la resistencia a la tracción de las resinas, las cuales son medidas bajo diferentes condiciones de sollicitación mecánica y química [8]; la dureza superficial es la propiedad que evidencia mejor las cualidades mecánicas en cuanto a la resistencia al desgaste, para esto se pueden emplear diferentes escalas de medición como Knoop, Vicker o Rockwell [9, 10, 11, 12]; la resistencia al cizallamiento es otra propiedad

que indica la magnitud de la carga necesaria para producir una fractura en un pieza (fabricado de un solo material o de varios materiales unidos por adhesivos), dichas cargas aplicadas generan fuerzas tipo cupla, es decir, fuerzas paralelas, excéntricas y de sentido contrario [13, 14] similares a las que surgen durante el proceso de masticado. La resistencia flexural sirve para determinar qué tanto un material puede deformarse y cuál es el esfuerzo máximo que puede desarrollar un material antes de que se agriete o se rompa y en el caso de las resinas para prótesis se realizan ensayos de resistencia transversal, aplicando cargas a una lámina de resina apoyada en sus dos extremos hasta su fractura [16, 17, 18, 19].

Además de las características biofísicoquímicas de las resinas, otra variable a considerar para su selección es el costo de las mismas, es decir, la existencia de productos similares, pero costos diferentes inducen al usuario a decidirse por alguna que se encuentre al alcance de su economía; en sociedades como la peruana, donde el 88 % de su población se encuentra en niveles socioeconómicos C, D y E [20], muchas veces los pacientes deciden por el tipo de consumo indiferente, es decir, el consumidor aquí no suele fijarse ni en la marca ni en los anuncios de la misma; solo le interesa que cumpla la función que necesita y, generalmente, que esté a su alcance económico [21].

Por lo expuesto, la presente investigación es de tipo experimental, prospectivo y transversal [22], mide (según normas técnicas internacionales) y luego compara las resistencias mecánicas de dos soluciones sólidas poliméricas que usa un solvente tipo monómero líquido autopolimerizable y solutos distintos, polímeros metacrilato, que es el más utilizado en la elaboración de bases en prótesis, y ampliamente empleados en las prótesis para la población local.

La resina y el alginato estudiados son de origen, marcas y precios diferentes, de ahí su importancia de conocer sus ventajas y desventajas en cuanto a calidad y costos. La resina de marca Vitacron (Colombia) tiene un mejor posicionamiento comercial y mayor precio que el alginato tipo II de marca Dencrigel (Brasil).



Figura 1. Monómero líquido autopolimerizante Vitacryl
Fuente: [23, 24].



Figura 2. Polímero en polvo autopolimerizante Vitacron
Fuente: [23, 24].



Figura 3. Alginato en polvo Dencrigel
Fuente: [25].

METODOLOGÍA

Las soluciones sólidas de resinas se prepararon por adición lenta del componente sólido en polvo (metacrilato de metil {tipo II} o alginato {tipo II}) sobre el monómero líquido autopolimerizable (metacrilato de metil). Se homogeniza la solución preparada según las instrucciones del fabricante y luego se usa en la fabricación de los diferentes tipo probetas de acuerdo con lo especificado en las normas técnicas de los diferentes ensayos mecánico que se realizarán.

El desarrollo del ensayo de tracción se realizó según la Norma Técnica ISO 22674; se utilizó una máquina de ensayo universal marca ZwickRoell (modelo Z050) y la fabricación metálica de las probetas, de acero SAE 1020, se realizaron en el torno CNC y fresadora convencional; según los planos técnicos, las probetas tienen medidas de 100 mm de largo, 12 mm de diámetro en cabezas y en el área de corte presenta 6 mm de diámetro y escalón de 3 mm de profundidad. Los ensayos se realizaron después de 7 días de preparar las probetas que estuvieron unidas con las resinas.



Figura 4. Probetas de tracción – uniones adhesivas con las resinas elaboradas
Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Máquina de ensayo universal ZwickRoell Z050 – Ensayo de tracción
Fuente: elaboración propia.

Los ensayos de impacto se desarrollaron según la Norma Técnica ASTM D6110. Se utilizó una máquina de impacto tipo Charpy, marca Zwick Roell, modelo HIT50P, las medidas de las probetas

son 75 mm x 10 mm x 10 mm. Los ensayos se realizaron después de cinco días de fabricadas las probetas.

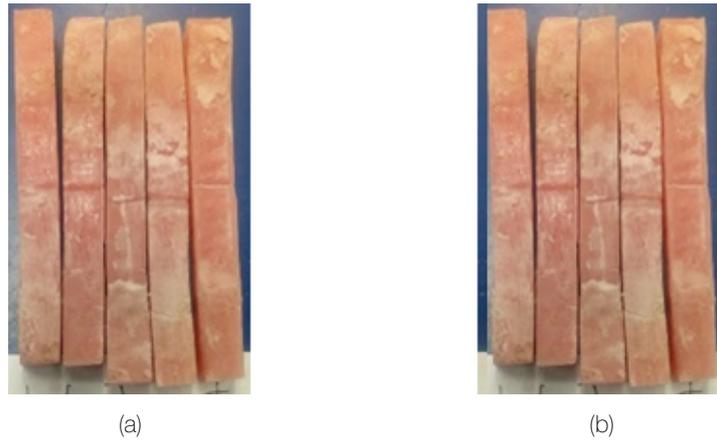


Figura 6. Probetas de impacto tipo Charpy – Resinas: Vitacryl + Vitacron y Vitacryl + Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

Los ensayos de cizallamiento se realizaron según la Norma Técnica ISO 29022, las probetas, que tienen forma de cilindros escalonados, se fabricaron cinco unidades por resina estudiada, con diámetros escalonados de 20 mm y 5 mm (en una misma

probeta). Los ensayos se realizaron después de cinco días de fabricadas las probetas. Se utilizó la máquina de ensayo universal marca ZwickRoell, modelo Z050 y un punzón de corte fabricado de acero HSS.

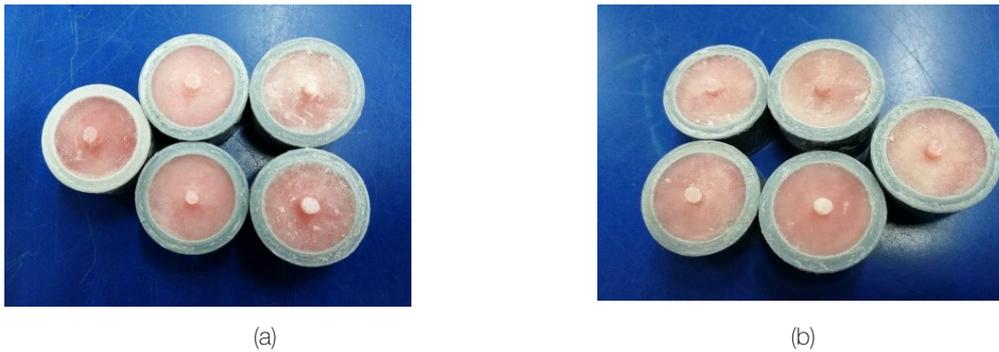


Figura 7. Probetas de cizallamiento – Resinas: (a) Vitacryl + Vitacron y (b) Vitacryl + Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

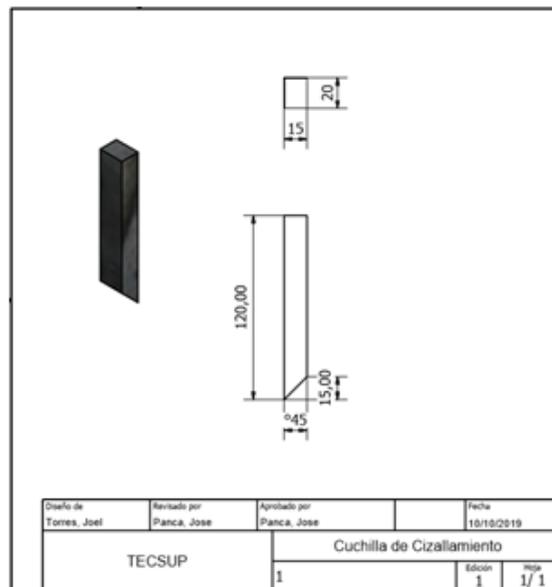


Figura 8. Punzón de cizallamiento de acero HSS
Fuente: elaboración propia.

Los ensayos de flexión se realizaron según la Norma Técnica ISO 16402, se fabricaron cinco probetas por tipo de resina estudiada, con medidas 25 mm x 4 mm x 1 mm. El ensayo se realizó después de 6 días de fabricadas las probetas. Se utilizó

la máquina de ensayo universal marca ZwickRoell, modelo Z050, un punzón de flexión fabricado de acero HSS y un dispositivo de flexión fabricado en acero ASTM A36.

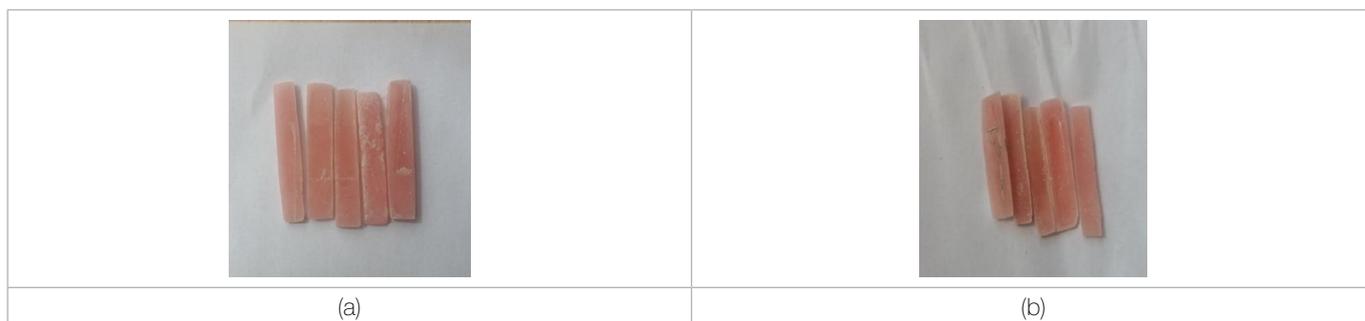


Figura 9. Probetas de flexion – Resinas: (a) Vitacryl + Vitacron y (b) Vitacryl + Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

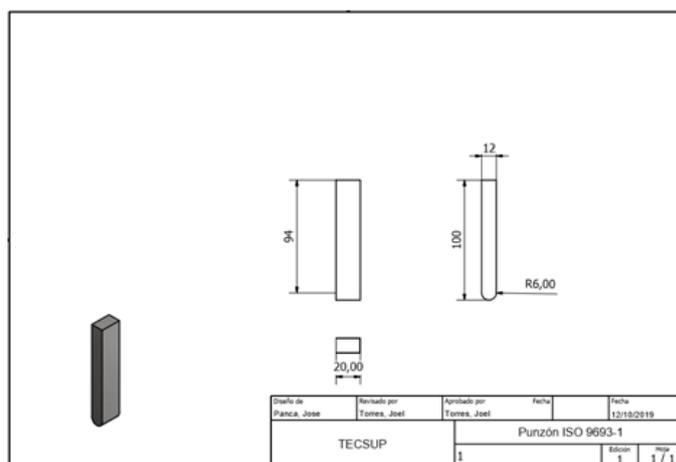


Figura 10. Punzón de flexión de acero HSS (según ISO 9693)
Fuente: elaboración propia.

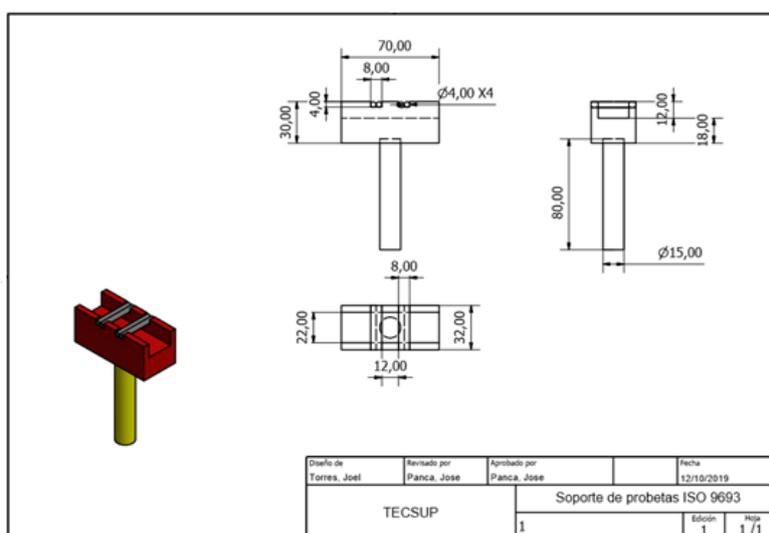


Figura 11. Dispositivo de flexión de acero ASTM A36 (según ISO 9693)
Fuente: elaboración propia.

Se realizó el ensayo de dureza Rockwell según la norma ASTM D 785, se utilizó un durómetro de pedestal, marca ZwickRoell, modelo ZHU2; un penetrador de punta esférica de carburo de

tungsteno de diámetro 1/16"; las probetas se fabricaron en forma de cilindro recto con diámetro 3" y espesor 1,5". Los ensayos se realizaron después de quince días de fabricadas las probetas.

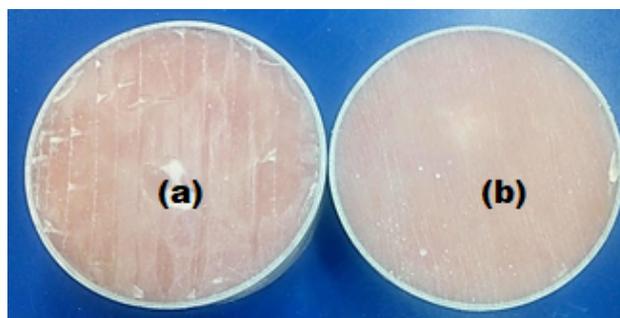


Figura 12. Probetas de flexión – Resinas: (a) Vitacryl + Vitacron y (b) Vitacryl + Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Ensayo de tracción [26]

Variable dependiente: esfuerzo máximo (Rm) [MPa]

Factor: solución sólida de resina dental

Número de observaciones: 10

Número de niveles: 2

Tabla 2

Resumen estadístico del ensayo de tracción

Parámetros	Resina dental	
	Vitacryl + Vitacron	Vitacryl + Dencrigel
Recuento	10	10
Promedio (Rm → MPa)	5.25	4.08

Fuente: elaboración propia.

La tabla n.º 2 muestra que se realizaron diez de ensayos por tipo de resina, y también los promedios de las mediciones de la resistencia máxima a la tracción (Rm). Se puede observar que

la resina 1 (Vitacryl + Vitacron) tiene una resistencia máxima a la tracción, aproximadamente de un 28 % más que la resina 2 (Vitacryl + Dencrigel).

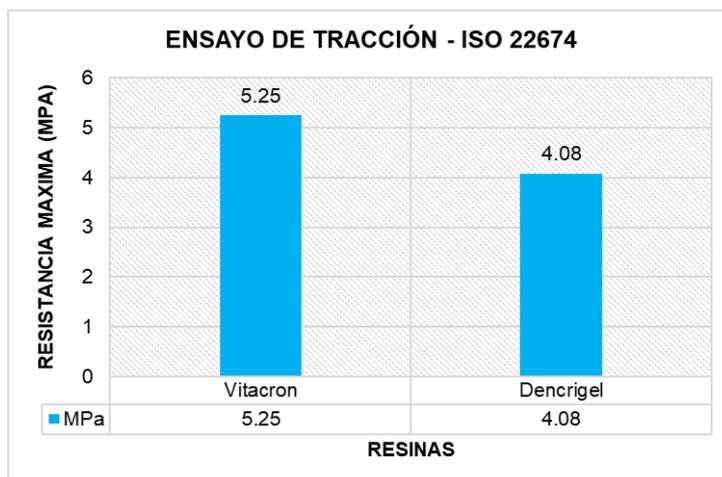


Figura 13. Gráfico comparativo de la resistencia máxima a la tracción de las resinas con Vitacron y Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

Ensayo de resistencia al cizallamiento [27]

Variable dependiente: esfuerzo cortante (τ) [MPa]

Factor: solución sólida de resina dental

Número de observaciones: 5

Número de niveles: 2

Tabla 3

Resumen estadístico del ensayo de cizallamiento

Parámetros	Resina Dental	
	Vitacryl + Vitacron	Vitacryl + Dencrigel
Recuento	5	5
Promedio ($\tau \rightarrow$ MPa)	11.70	12.97

Fuente: elaboración propia.

La tabla n.º 3 muestra que se realizaron 5 de ensayos por tipo de resina, y también los promedios de las mediciones de la resistencia al cizallamiento (τ). Se puede observar que la resina

2 (Vitacryl + Dencrigel) tiene una resistencia al cizallamiento, aproximadamente 10 % más que la resina 1 (Vitacryl + Vitacron).

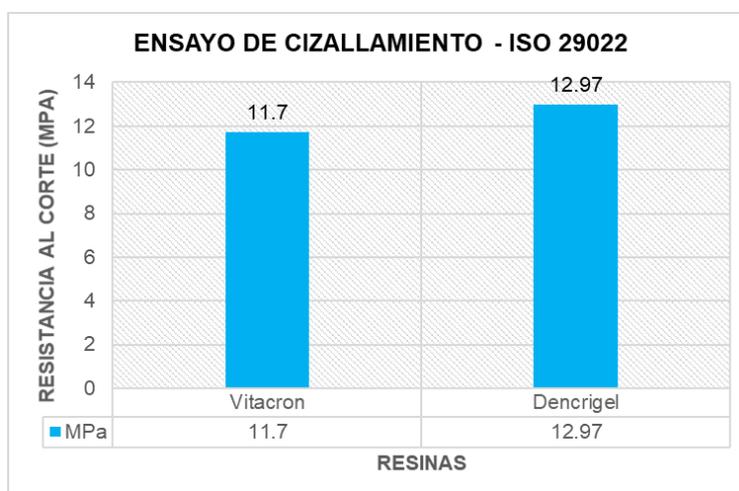


Figura 14. Gráfico comparativo de la resistencia al cizallamiento de las resinas con Vitacron y Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

Ensayo al impacto [28]

Variable dependiente: energía absorbida (E) [J]

Factor: solución sólida de resina dental

Número de observaciones: 10

Número de niveles: 2

Tabla 4
Resumen estadístico del ensayo de impacto

Parámetros	Resina dental	
	Vitacryl + Vitacron	Vitacryl + Dencrigel
Recuento	10	10
Promedio (E → J)	0.184	0.253

Fuente: elaboración propia.

La tabla n.º 4 muestra que se realizaron 10 de ensayos por tipo de resina, y también los promedios de las mediciones de la energía absorbida (E) por la probetas durante en el desarrollo del

ensayo destructivo. Se puede observar que la resina 2 (Vitacryl + Dencrigel) tiene una resistencia al impacto, aproximadamente 37.5 % más que la resina 1 (Vitacryl + Vitacron).

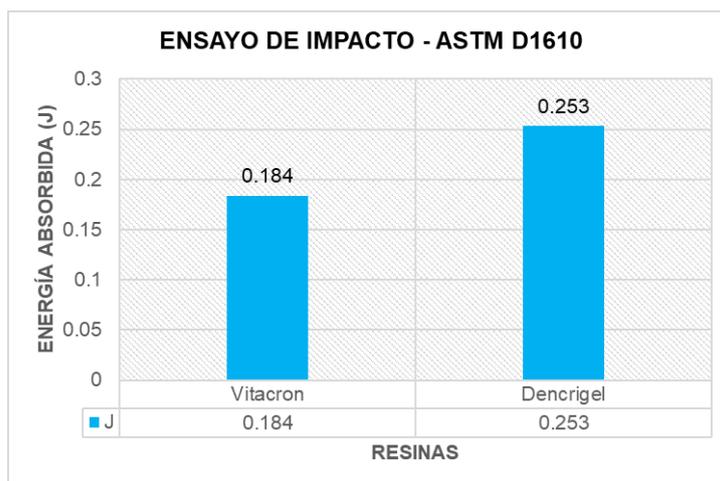


Figura 15. Gráfico comparativo de la resistencia al impacto de las resinas con Vitacron y Dencrigel.
Fuente: elaboración propia.

Ensayo de flexión [29]

Variable dependiente: energía absorbida (Rm) [MPa]

Factor: solución sólida de resina dental

Número de observaciones: 5

Número de niveles: 2

Tabla 5
Resumen estadístico del ensayo de flexión

Parámetros	Resina dental	
	Vitacryl + Vitacron	Vitacryl + Dencrigel
Recuento	05	05
Promedio (Rm MPa)	43.25	42.82

Fuente: elaboración propia.

La tabla n.º 5 muestra que se realizaron 5 de ensayos por tipo de resina, y también los promedios de las mediciones de las resistencia máximas cuando sometidas a flexión (tipo 3 puntos) por la probetas, en megapascales (MPa), durante en el desarrollo del ensayo destructivo. Se puede observar que la

resina 1 (Vitacryl + Vitacron) tiene una resistencia a la flexión, aproximadamente 1 % más que la resina 2 (Vitacryl + Dencrigel), es decir, se puede indicar que en esta variable las 2 resinas presentan igual valor de resistencia.

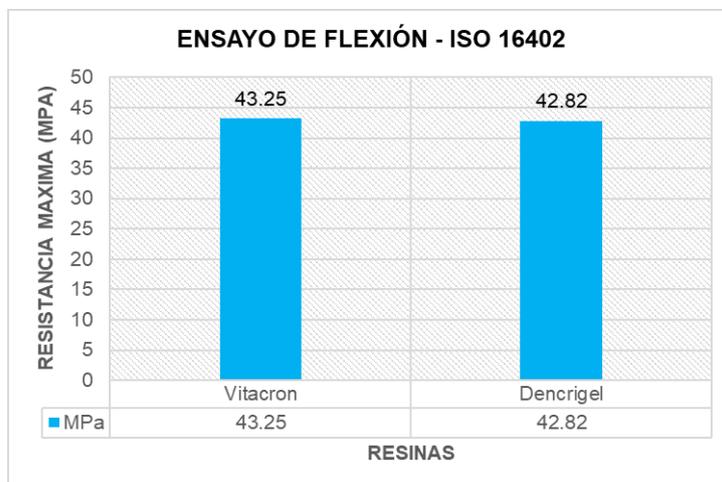


Figura 16. Gráfico comparativo de la resistencia a la flexión de las resinas con Vitacron y Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

Ensayo a la dureza Rockwell [30]

Variable dependiente: dureza [HR T15]

Factor: solución sólida de resina dental

Número de observaciones: 14

Número de niveles: 2

Tabla 6
Resumen estadístico del ensayo de dureza

Parámetros	Resina Dental	
	Vitacryl + Vitacron	Vitacryl + Dencrigel
Recuento	14	14
Promedio (HR 15T)	55.2	35.6

Fuente: elaboración propia.

La tabla n.º 6 muestra que se realizaron 14 de ensayos por tipo de resina, y también los promedios de las mediciones de la dureza, en la escala Rockwell T15 (HR T15), durante en el desarrollo del

ensayo mecánico. Se puede observar que la resina 1 (Vitacryl + Vitacron) tiene una dureza aproximadamente 55 % más que la resina 2 (Vitacryl + Dencrigel).

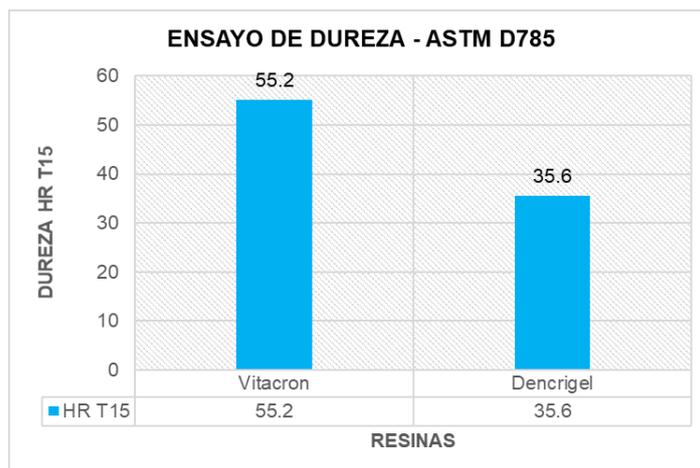


Figura 17. Gráfico comparativo de la dureza Rockwell T15 de las resinas con Vitacron y Dencrigel
Fuente: elaboración propia.

Evaluación económica

Variable dependiente: precio [S/]

Factor: solución sólida de resina dental

Número de observaciones: 5

Número de niveles: 2

Tabla 7

Resumen estadístico del precio de la resina

Parámetros	Resina dental	
	Vitacryl + Vitacron	Vitacryl + Dencrigel
Recuento	5	5
Promedio (S/.)	117	75

Fuente: elaboración propia.

La tabla n.º 7 muestra que se realizaron 5 cotizaciones de los materiales empleados para cada tipo de resina a producir, y los promedios de sus precios de venta al por menor (en moneda nacional). Esto se realizó durante la etapa de adquisición de los materiales a usar en la fabricación de las probetas de los distintos ensayos mecánicos. Tomando como referencia la resina 2, se puede observar que la resina 1 (Vitacryl + Vitacron) es 56 % más caro que la resina 2 (Vitacryl + Dencrigel).

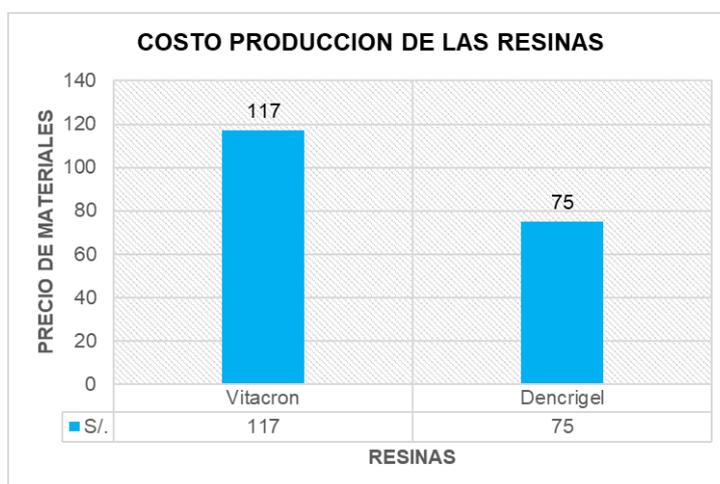


Figura 18. Gráfico comparativo de los precios de los materiales usados en la producción de las resinas con (Vitacryl + Vitacron y Vitacryl + Dencrigel)
Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- La resina 1 (Vitacryl + Vitacron) presentó una mayor resistencia máxima a la tracción que la resina 2 (Vitacryl + Dencrigel), aproximadamente 28 % más.
- En los ensayos de cizallamiento e impacto la resina 2 se mostró más resistente que la resina 1, aproximadamente en 10.85 % y 35.75 % superior que la resina 1.
- En el ensayo de flexión, la resina 1 y la resina 2, prácticamente, no mostraron mayores diferencias, ya que solo fue 1 % la diferencia de sus valores promedio.
- En los ensayos de dureza la resina 1 se mostró superior a la resina 2, aproximadamente en 55 % más dura que la resina 2.
- La resina 1 es más cara que la resina 2, aproximadamente 56 % superior que la resina 2.
- Mecánicamente, la resina 2 presenta mayor tenacidad y es más barata producirla que la resina 1, la cual es más dura, consecuentemente presentará mayor resistencia al desgaste.

REFERENCIAS

- [1] Kurzer, M. (2006). Estudio comparativo de dureza en dientes artificiales fabricados con diferentes tipos de resinas acrílicas. *Revista EIA*, 6, 121-128.
- [2] UNE-EN ISO 1567:2000. (2000). Odontología. Polímeros para base de prótesis dentales.
- [3] New Stetic. (2018) Productos: Resinas Odontológicas. Recuperado de <https://www.newstetic.com/productos/resinas-acrilicas/>
- [4] Castro, Y. M. (2013). *Estudio in vitro de la microdureza superficial en resinas compuestas de metacrilato Z350 XT y Silorano P90*. Lima: San Marcos.
- [5] Ospina, M.P: (1991). Comparación del ajuste marginal del acrílico Jet y el Novacril in vitro. *Revista CES Odontología* 4(2), 123-129.
- [6] García Pellicer, A. (2016). *Comportamiento mecánico y caracterización de resinas autopolimerizables aditivadas con nanofibras de grafeno para el refuerzo implantoprotético de prótesis híbridas* [Tesis]. Universidad Católica San Antonio de Murcia, España.
- [7] Málaga Rivera, J. (2006). Comportamiento in vitro de la dureza de dos resinas compuestas expuestas en peróxido de carbamida al 10% con carbopol. *Kíru*, 3(2), 38-47.
- [8] Vanderlei, A., Souza, R., & Passos, S. (2006). Resistencia a la tracción entre una resina acrílica y un material de rebase resiliente. *Revista Odontologica Herediana*, 98-102.
- [9] Salas Castro, Y., & Lozano Castro, F. (2014). Estudio in vitro de la microdureza superficial en resinas compuestas de metacrilato y silorano. *Kíru*, 11(1), 69-73.
- [10] Laura Remigio, M. (2016). *Estudio in vitro de la dureza superficial de resinas acrílicas usadas en provisorios* [Tesis]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- [11] Castilla Minaya, O. (2021). *Comparación in vitro de la microdureza superficial de dos resinas compuestas (Tetric® N- Ceram y Filtek™ Z 350XT) sumergidas en una bebida isotónica (Gatorade®) y una bebida energizante (Red Bull®)* [Tesis]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- [12] Herrera, J., & Morales Aburto R. (2017). *Comparación del grado de Resistencia Compresiva y Dureza Superficial de resinas compuestas monoincrementales y resinas compuestas incrementales* [Tesis]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- [13] Bocanegra Alarcón, C. (2018). *Resistencia al cizallamiento de resina compuesta con dos tipos de tratamiento de superficie cementada en dentina*. [Tesis]. Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú.
- [14] Farías Villaseca, P. (2007). *Estudio Comparativo in vitro de la resistencia al cizallamiento de restauraciones indirectas de resina compuesta cementadas con resina fluida (flow) y con cemento de resina dual fotopolimerizadas con lámpara L.E.D.* [Tesis de pregrado]. Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile.
- [15] Leite Cavalcanti, A. (2008). Resistencia al cizallamiento de dos sistemas adhesivos autocondicionantes en dientes deciduos - Estudio in vitro. *Acta Odontológica Venezolana*, 46(2). Recuperado de <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2008/2/art-13/>
- [16] Huacho, N. M. (2016). Resistencia a la flexión de resinas acrílicas termopolimerizables usadas en la fabricación de prótesis totales. *Revista Científica Odontológica*, 279 - 286.
- [17] Ramírez Puentes, Á. P., Guillen Burgos, L.F. & Giraldo Fuentes, H. (2012). Comparación de la resistencia flexural de dos resinas acrílicas termopolimerizables (convencionales y de alto impacto). *Revista Colombiana de Investigación en Odontología*, 3(8): 106-113.
- [18] Villavicencio Ramos, M. I. (2015). *Comparación de la resistencia mecánica de resinas acrílicas para base de prótesis dentales totales termopolimerizables* [Tesis]. Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú.
- [19] Butignon, L., Pereira, R., Lucas, M., Mollo Junior, F., & Arioli Filho, J. (2011). *Resistencia a la flexión de reparaciones de resina acrílica procesadas por diferentes métodos: baño de agua, energía de microondas y polimerización química* [Tesis]. Universidad Nacional de Córdoba.

- [20]** Ipsos. (20 de febrero de 2020). Características de los niveles socioeconómicos en el Perú (Artículo web). Recuperado de <https://www.ipsos.com/es-pe/caracteristicas-de-los-niveles-socioeconomicos-en-el-peru>
- [21]** VivaCaixa (27 de febrero de 2020). Tipos de consumo y cómo ahorrar teniéndolos en cuenta [Artículo web]. Recuperado de <https://www.tuprojectodevida.es/tipos-consumo-y-ahorro/>
- [22]** Loyola Monterroso, G. (2012). *Evaluación in vitro de la microdureza superficial de una resina de nanorelleno y una resina compuesta posterior* [Tesis]. Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Lima, Peru.
- [23]** Villavicencio Ramos, M. (2015). *Comparación de la resistencia mecánica de resinas acrílicas para base de prótesis dentales totales termopolimerizables* [Tesis]. Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú.
- [24]** Dental Milcar (2018). Productos: Acrílicos. Recuperado de <https://milacar.wixsite.com/dentalmilacar/acrilicos>
- [25]** Surya Dental. (2020) Alginato Dencrigel 410g – Dencril. Recuperado de <https://www.suryadental.com.br/alginate-dencrigel-410g-dencril.html>.
- [26]** ISO 22674, I. (enero de 2016). Odontología: materiales metálicos para restauraciones y aparatos fijos y removibles.
- [27]** ISO 29022, I. (junio de 2013). Odontología - Adhesión - Ensayo de resistencia al cizallamiento de bordes con muescas.
- [28]** ASTM D6110-17. (2017). Métodos de prueba estándar para determinar la resistencia al impacto Charpy de muestras de plástico con muescas. ASTM, USA.
- [29]** ISO 16402, I. (mayo de 2008). Implantes para cirugía - Cemento de resina acrílica - Ensayos de fatiga por flexión de cementos de resina acrílica utilizados en ortopedia.
- [30]** ASTM D 785 – 03. (2003). Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials ASTM, USA.

ACERCA DE LOS AUTORES

Carlos Eddy, Valdez Salazar

Ingeniero mecánico electricista de la U. N. San Luis Gonzaga (Perú), máster en Ingeniería Mecatrónica en la Universidade de São Paulo (Brasil) y doctor en Ingeniería Mecánica en la Universidade de São Paulo (Brasil). Con especializaciones en gestión y gerencia de proyectos (PMI), en proyectos de inversión pública.

Cuenta con más de 20 años de experiencia en la industria nacional e internacional, en los sectores privado y público. Actuación en áreas de diseño y fabricación de equipos mineros e industriales, mantenimiento industrial, gestión pública (municipalidad y universidad nacional), consultoría industrial y docencia universitaria. Autor de *papers* presentados en congresos internacionales y en revistas indexadas del área de Manufactura. Docente del Departamento de Mecánica de Tecsup Lima, responsable del Laboratorio de Materiales.

 cvaldez@tecsup.edu.pe

José Raúl, Panca Boza

Egresado de la carrera técnica en Mantenimiento industrial en Tecsup (Perú).

Cuenta con dos años de experiencia en proyectos industriales en los sectores de plásticos y de alimentos.

 raulpanca.1999@gmail.com

Recibido: 03-05-21
Revisado: 15-08-21
Aceptado: 21-09-21



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Herramienta metodológica con el aporte de las áreas de ingeniería, marketing y diseño industrial.



Modelo para análisis de innovación tecnológica de productos en el sector metalmecánico

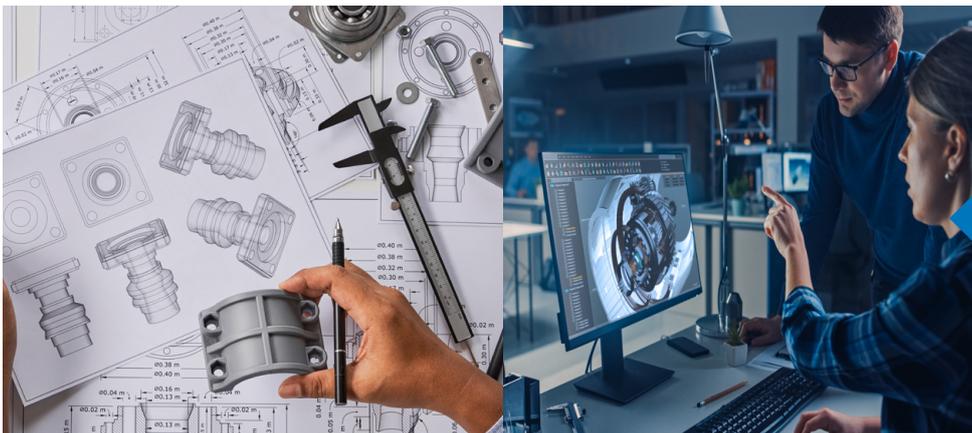
Model for the Analysis of Technological Innovation Products in the Metal-Mechanic

RESUMEN

Este trabajo presenta un contexto de la producción agroindustrial argentina y el rol de la innovación tecnológica que deben asumir las pequeñas y medianas industrias. Se establece el marco teórico tomando como base la innovación en general y la innovación tecnológica en particular, que permite arribar en una segunda fase a la construcción de un modelo para el análisis de productos. El modelo propuesto, estructurado en los enfoques disciplinares del marketing, la ingeniería, el diseño industrial y el impacto ambiental, permitió comparar dos casos de productos seleccionados de un mismo segmento del mercado nacional, y obtener resultados relacionados con sus características de innovación.

ABSTRACT

This work presents a context of Argentine agro-industrial production and the role of technological innovation for small and medium industries. The theoretical framework is established based on innovation and technological innovation; this allowed to build a product analysis model on a second phase. The proposed model, structured in the disciplinary approaches of marketing, engineering, industrial design, and environmental impact, allowed comparing two cases of selected products from the same segment of the Argentinean market, obtaining results related to their innovation characteristics.



Palabras Claves

Innovación tecnológica, diseño y desarrollo de productos, diseño industrial, sector metalmecánico.

Key words

Technological innovation, Design and product development, industrial design, metal-mechanic sector.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, el sector de agroindustria constituye el 25 % de la industria manufacturera y representa el 40 % de las exportaciones; el valor de su producción se aproxima a los 177 000 millones de pesos y da trabajo a 600.000 personas. Desde 2012, mediante planes de alcance nacional como el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, se busca desde las políticas gubernamentales que la ciencia y la tecnología se incorporen a distintas esferas de la actividad agropecuaria para la generación de esquemas productivos más diversificados y sustentables, buscando como fin último un incremento en los puestos de trabajo; y el fortalecimiento del país como productor de alimentos y otros productos derivados de la agricultura con un mayor valor de origen [1].

Para alcanzar estos objetivos, las políticas en materia de ciencia, tecnología e innovación para el sector Agroindustria se focalizan en un conjunto de Núcleos Socio Productivos Estratégicos (NSPE), entre ellos el núcleo de maquinaria agrícola y procesadora de alimentos. Dicho núcleo apunta al mejoramiento en el desempeño de estos equipos, con el fin de resolver necesidades del mercado local y conquistar nuevos nichos de mercados locales e internacionales [1].

Contemplando que estas temáticas son de interés estratégico para la agenda nacional, y en completo acuerdo de que la incorporación de innovación tecnológica es vital para el desarrollo económico del país, mediante el agregado de valor a la producción agroindustrial, en este trabajo se propone el análisis de tres casos de estudio, de emprendimientos de pequeña y mediana escala donde se ha puesto en práctica la implementación de tecnologías para el mejoramiento de procesos inherentes a la producción agrícola. En dichos casos, a partir del análisis efectuado, se ponen en evidencia aspectos positivos y negativos de los procesos implementados. Estos aspectos permiten extraer propuestas de operatividad para la implementación de experiencias futuras semejantes.

Para el caso particular de las micro y pequeñas empresas manufactureras, resulta necesario comprender cómo surgen, se aplican y efectivizan las innovaciones tecnológicas orientadas al desarrollo de nuevos productos.

En particular, identificar las variables y articulaciones claves en la innovación de productos puede resultar en un aprendizaje para proyectar innovaciones más coherentes, con un mayor impacto en el mercado y factibles de ser aplicadas a otros productos.

A través del análisis de casos, se intentará esbozar una propuesta de ordenamiento de estas variables, a fin de establecer comparaciones que permitan extraer conclusiones diversas, que sirvan de insumo para el diseño de un modelo más elaborado de análisis de innovación en productos.

En la producción, las combinaciones de tecnologías y materiales, sintetizadas en un diseño, también pueden constituir innovaciones significativas que requieran ciertas protecciones técnicas, económicas y/o legales [2] [3]. En esta lógica, la utilización de matricería específica para la producción de ciertas partes del producto, puede ser un recurso para la protección de la innovación, ya que incrementa los requerimientos técnicos implicados.

Este estudio propone analizar dos casos de estudio, que comparten características comunes: son pequeñas empresas, con una antigüedad de entre 38 y 49 años, localizadas en el interior del país, y abocadas al desarrollo de maquinaria agrícola.

Los mencionados casos, serán analizados con el objeto de identificar los modos en que estas PyMEs consideran, aplican y/o incorporan la innovación en su quehacer productivo, y si ésta ha significado diferencias en su posicionamiento en el mercado. Dichos análisis se efectivizarán mediante la recopilación de datos y el análisis de los productos.

FUNDAMENTOS

Marco teórico

Como ya se ha mencionado, los casos seleccionados serán analizados bajo distintas clasificaciones en referencia a la innovación.

A continuación, se presenta el marco teórico sobre el que se enmarca este estudio. En los diferentes sectores productivos se incorporan pequeñas y grandes innovaciones al momento de producir bienes; muchas de ellas parten de nuevas combinaciones entre materiales y tecnologías. Esto constituye un aspecto básico de la innovación tecnológica.

Innovación

Porter [4] definió a la innovación como la inclusión, tanto de mejoras en la tecnología como de mejores métodos o maneras de realizar las cosas. Puede manifestarse en cambios de productos, en cambios de procesos, en nuevos enfoques de *marketing*, en nuevas formas de distribución y en nuevos conceptos de alcance. La innovación resulta tanto del aprendizaje organizacional como de la investigación y desarrollo (I+D).

Rogers [5] demostró que la innovación es una idea, práctica u objeto que el individuo u otra unidad de adopción perciben como nuevo. Entonces, la percepción de novedad es tan importante como la originalidad. Esta definición ayuda a las empresas a recordar que las ideas para la innovación no son necesariamente nuevas.

Pavón y Goodman [6] indican a la innovación como un conjunto de actividades inscriptas en un periodo de tiempo y lugar, que por primera vez conducen a la introducción con éxito en el mercado de una idea en forma de nuevos o mejores productos, servicios o técnicas de gestión y organización. La innovación es una fuente de avance y desarrollo. Las empresas y naciones que innovan contiguamente logran conservar la fortaleza económica. Por lo tanto, no es una coincidencia que los países donde se observa la actividad más alta en patentes o hay elevada inversión en I+D, sean líderes en el rubro de desarrollo económico. Al ver la multiplicidad de significados que se han dado a la innovación, es posible resaltar algunas de sus características más destacadas:

- 1) La innovación como creación: el foco se pone en el uso de los recursos (gente, tiempo, dinero) para inventar o desarrollar un producto o servicio nuevos, o una nueva forma de hacer las cosas, o una nueva forma de pensar sobre ellas.

- 2) La innovación como difusión y aprendizaje: el foco de atención está en la adquisición, el apoyo o el uso de un producto, un servicio o ciertas ideas.
- 3) La innovación como una trayectoria (corriente de innovaciones): es el reconocimiento de que un solo acto de innovación facilitaría que se derive una familia de innovaciones, a partir de una fuente original.
- 4) La innovación como un proceso o estrategia (a nivel de empresa): en esta perspectiva, la innovación no se trata de un solo acto, sino de una serie de actividades que realiza una organización para llegar a la obtención de un resultado (la innovación).

La definición de innovación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) [7] hace referencia a la implementación de un producto (bien o servicio) o proceso nuevo o significativamente mejorado, un nuevo método de *marketing*, o un nuevo método organizativo en las prácticas empresariales de negocios, organización del lugar de trabajo o de las relaciones externas. Al igual que Porter [4], la definición de la OECD indica diferentes tipos de innovación e identifica el papel de los procesos comerciales y los socios externos.

En el sector de servicios, el término innovación puede referirse al servicio de un producto o cómo es entregado. La innovación en el sector de servicios comprende nuevos servicios y nuevas formas de producir o entregar servicios, así como cambios significativos en los servicios o su producción o entrega [8] [9].

Innovación tecnológica

La innovación tecnológica es el acto de introducir un nuevo dispositivo, método o material para su aplicación a objetivos comerciales o prácticos. En muchas industrias la innovación tecnológica en la actualidad es el motor más importante del éxito competitivo. Empresas de una amplia gama de industrias dependen casi en un tercio (o más) de sus ventas y ganancias, de aquellos productos desarrollados en los últimos cinco años [10].

La innovación será tecnológica cuando tenga que ver con la ciencia y la tecnología. De una manera simple se puede decir que la innovación tecnológica supone para la empresa la introducción de un cambio técnico en los productos o en los procesos.

En el Manual de Oslo de la OECD/Eurostat [11] se afirma que las innovaciones tecnológicas hacen referencia tanto a los productos como a los procesos, y a las modificaciones tecnológicas que se llevan a término en ellas. No se considera innovación hasta que el producto es introducido en el mercado, o hasta que se implementa, ya sea, el proceso, la nueva manera de hacerlo o la nueva idea. La diferencia permite separar las innovaciones en innovaciones de producto e innovaciones de proceso.

En el Manual de Oslo [11], se menciona que no solo las tecnologías intervienen en el proceso de innovación, sino también: 1) actividades científicas; 2) cuestiones de tipo organizativo; 3) consideraciones financieras y 4) consideraciones comerciales. Asimismo, en el Manual de Oslo se definen cuatro tipos de innovaciones que incluyen cambios en las actividades de las empresas, entre los cuales se encuentran: 1) innovaciones de producto; 2) innovaciones de proceso; 3) innovaciones organizativas y 4) innovaciones de mercadotecnia.

Las actividades de innovación tecnológica comprenden, por un lado, la investigación y el desarrollo, en donde se enmarcan la adquisición y la generación de conocimientos nuevos para la empresa; por ejemplo: la adquisición de tecnología externa en forma de patentes, las invenciones no patentadas, las licencias, las marcas registradas, los diseños, los modelos, y otros servicios científicos y técnicos relacionados con la implementación de la innovación tecnológica; y la adquisición de software, maquinaria y equipos con rendimiento tecnológicamente mejorado.

Por otro lado, abarcan las actividades relacionadas con la preparación de la producción, como es la revisión de las herramientas, la ingeniería de procesos, el diseño industrial, las herramientas y equipos, el entrenamiento de personal (siempre con la implementación de los productos o procesos tecnológicamente nuevos o la mejora tecnológica de los existentes).

METODOLOGÍA

Se propone una metodología cualitativa basada en un estudio de casos múltiple, considerando varias unidades de análisis [12]. Por un lado, esta metodología propone las unidades de análisis principales (UAPX) vinculadas a cada compañía, y por el otro, sugiere varias unidades de análisis relacionadas con las especificaciones / presentaciones (UAn) (ver figura 1).

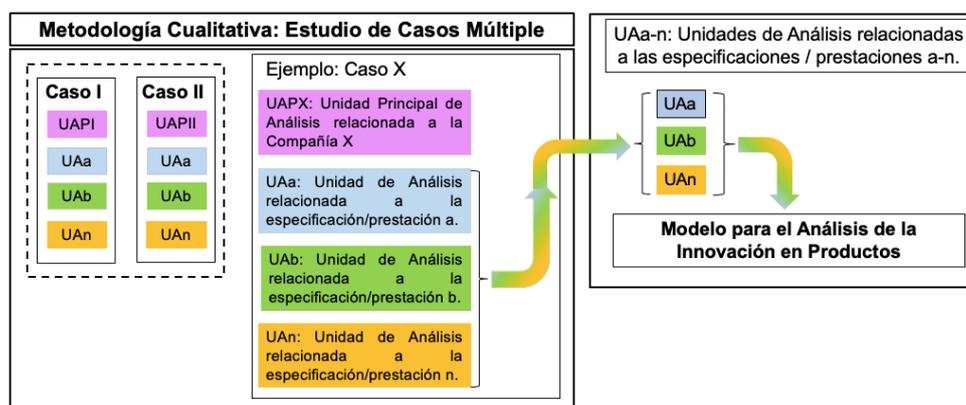


Figura 1. Metodología cualitativa: Estudio de caso múltiple.
 Fuente: elaboración propia.

Presentado el marco teórico, la metodología cualitativa a utilizar y establecidas las bases conceptuales, acerca de la innovación tecnológica (de proceso y de producto) se define un modelo para el análisis de la innovación en productos. En la fase siguiente, se seleccionarán casos de productos nacionales del sector metalmeccánico, dirigidos a la producción agrícola ganadera. Seleccionados y presentados los casos, se realizará un análisis comparativo de acuerdo con el modelo propuesto para arribar a conclusiones.

Modelo para el análisis de la innovación en productos

El modelo que se propone para el análisis de la innovación en productos se basa en la elaboración de un listado con las unidades de análisis relacionadas a las especificaciones/ presentaciones (UAN) que pueden observarse en la figura 1, las cuales son ordenadas por ejes de análisis, de acuerdo con criterios enfocados desde distintos campos disciplinares: desde el *marketing* [13],[14], la ingeniería [15],[16], el diseño industrial [17],[18],[19],[20] y el impacto ambiental [18],[21].

Desde el punto de vista del *marketing*, se pueden contemplar los descriptores que involucran: el ciclo de vida del producto, distribución, competencia en el mercado, la relación con el usuario, entre otros [22]. En el plano de la ingeniería y el diseño industrial se incluyen los parámetros que tienen que ver con la organización estructural del producto, la conformación de piezas, los procesos y materiales involucrados, y las características funcionales. En cuanto al impacto ambiental, se considera la utilización de la energía, el aprovechamiento de materiales, los niveles de contaminación y las posibilidades de reciclar o reutilizar partes [23].

Este modelo permite ordenar y visualizar de manera sintética la información clave para analizar comparativamente la innovación en los productos. En la tabla 1, puede verse su aplicación con base en los casos seleccionados.

RESULTADOS

Casos seleccionados

El criterio aplicado en la selección de casos, se basa en la factibilidad de comparar productos de un mismo segmento del mercado y detectar si existen diferenciales que puedan traducirse en innovaciones [24]. A su vez, estos diferenciales permitirán discriminar entre distintos tipos y grados de innovación.

Los productos seleccionados se componen de dos desarraigadoras (arrancadoras) de cebollas para pequeños y medianos productores hortícolas. Estas máquinas son fabricadas por pequeñas empresas metalmeccánicas ubicadas en el interior

de las provincias de Buenos Aires y Córdoba.

Se trata de la empresa Nievas, fábrica de máquinas agrícolas, ubicada en Ruta 226 y La Rioja, Olavarría, provincia de Buenos Aires, una empresa familiar fundada en 1982 y con menos de 40 empleados; (Caso I, ver figura 2).



Figura 2. Desarraigadora de cebolla y ajo, marca Nievas. Fuente: Brindado por Nievas Argentina.

La segunda empresa es Implementos Agrícolas Escañuela Escagro SRL, ubicada en Av. Ciudad de Valparaíso km 9, Córdoba, una empresa también familiar con más de 40 años de trayectoria y menos de 40 empleados (Caso II, ver figura 3).



Figura 3. Arrancadora de cebollas AC160, marca Escañuela. Fuente: Brindado por Escagro SRL.

Análisis comparativo

En las tablas 1 y 2, se presentan los atributos de análisis y se comparan los casos mencionados.

Tabla 1
Comparación de productos para la identificación de atributos de innovación

	Análisis	Caso I	Caso II
Empresarial	Empresa	Nievas	Escagro SRL
	Localización	Olavarría, Buenos Aires.	Córdoba, Córdoba.
	Antigüedad	39 años (1982)	50 años (1971)
Comercial	Marca	Nievas	Escañuela
	Producto	Arrancadora de Ajo y Cebolla	Arrancadora de cebolla
	Modelo	SCA Desarraigadora de Ajo y Cebolla	Arrancadora de cebollas AC160
	Año / década	2011	2013
	Prestaciones básicas	Desarraigar cebollas y exponerlas para su recolección.	Desarraigar cebollas y exponerlas para su recolección.
	Prestaciones adicionales	Desarraigar ajos; detener el crecimiento de los bulbos en el momento deseado.	Detener el crecimiento de los bulbos en el momento deseado.
	Morfológico	Morfología / Imagen	Menor robustez; marca aplicada.
Diferencial	Ventajas	Permite cosechar ajos.	Versatilidad, posibilidad de ajuste de altura, doble cadena de transmisión.
	Desventajas	Única cadena de transmisión, menor refuerzo en el tercer punto de apoyo.	Mayor peso, no permite cosechar ajos.
Relacional	Inteligibilidad	Alta	Alta
Estructural	n.º de piezas	76	191
	n.º de piezas estándar	21	60
	n.º de piezas manufacturadas	52	128
	n.º de piezas producidas con matriz*	3	3
Tecnológico	n.º de procesos productivos	10	9
	n.º de piezas plásticas	1 (4 unidades)	4
	n.º de piezas metálicas	72	187
	n.º de piezas cerámicas	0	0
	n.º de telas/ tapizados	0	0
	n.º de materiales	8	8
	n.º de tratamientos superficiales	3	3
Aprovechamiento de materia prima	Alto	Alto	

* Por ejemplo: matricería para embutido y/o estampado de chapa, inyección de plásticos, fundición, etc.
Fuente: elaboración propia, datos estimativos.

Tabla 2
Comparación de productos para la identificación de atributos de innovación

	Análisis	Caso I	Caso II	
Funcional	Ergonomía	Baja	Media	
	Capacitación del operador	Baja	Baja	
	Posibilidad de recambio de piezas	Medio	Medio	
	Complejidad de mantenimiento y/o recambio de partes	Baja	Baja	
	Limpieza	Baja	Baja	
	Autonomía	Baja	Baja	
	Capacidad de trabajo	Baja	Baja	
Económico	Volumen mínimo de traslado	Bueno	Regular	
	Cantidad por m ³	n/a	n/a	
	Cantidad por container	n/a	n/a	
	Servicio de postventa	Sí (repuestos)	Sí (repuestos)	
	Garantía	1 año	1 año	
	Consumo energético	Producción	Alto	Alto
		Uso del producto	Medio	Medio
	Insumos para su funcionamiento	Bajo (lubricantes)	Bajo (lubricantes)	
	Disponibilidad de insumos	Alta	Alta	
	Precio relativo/ comparativo	Medio	Alto	
Logística	Buena	Buena		
Impacto ambiental	Contaminación sonora	Baja*	Baja*	
	Contaminación ambiental	Baja*	Baja*	
	n.º de piezas no reciclables (100 %)	4 (5 %)	4 (2,1 %)	
	n.º de piezas reciclables (100 %)	72 (95 %)	87 (97,9 %)	
	n.º de piezas reutilizables (100 %)	42 (55 %)	83 (43,5 %)	
	Ciclo de vida estimado	3-4 años	3-5 años	
	Embalajes/ envoltorios/ <i>packaging</i>	Nulo	Nulo	
Desmontaje	Bajo	Bajo		
Impacto social	Alto / Medio / Bajo	Alto (Agricultura familiar)	Alto (Agricultura familiar)	

* Dependiendo del sistema de tracción utilizado.
Fuente: elaboración propia, datos estimativos.

CONCLUSIONES

- Para el análisis de innovación en productos metalmeccánicos, se definió un modelo a partir de la metodología cualitativa explicitada y la consideración en todo el proceso de las bases conceptuales de la innovación tecnológica.
- El estudio comparativo de los casos, a través del modelo propuesto, permitió la realización de un análisis de los productos, donde se evidenciaron los atributos clave que constituyen el diferencial de innovación.
- En la lectura de las tablas 1 y 2, se observan diferencias en diversos ejes, que se corresponden con prestaciones y características particulares de cada producto. Si bien ambos productos han sido diseñados para responder a la misma necesidad general, cada uno ofrece una respuesta particular, proveniente de enfoques distintos.
- En el caso I, se trata de un producto ágil, liviano, austero, que con una vida útil menor y una cantidad de partes también menor, responde a los requerimientos básicos, ofreciendo a su vez una prestación adicional (la posibilidad de cosechar ajo).
- Por otro lado, el caso II presenta un producto robusto, de mayor durabilidad y calidad de uso (ruedas que garantizan la labor a profundidad constante), pero que adhiere a una única prestación. Si bien se percibe una calidad estructural y constitutiva mayor en el producto del caso II, los campos de acción de esta maquinaria son más restringidos.
- A los fines que interesan a este ejercicio, la lectura de la comparación entre productos permite inferir que las innovaciones incorporadas a estos casos se basan en la intención de abastecer un segmento específico de mercado (nicho), caracterizado por pequeños productores hortícolas (usualmente familiares), que presentan requerimientos particulares. Tales requerimientos incluyen anchos de labor menores, y maquinaria que pueda ser accionada con vehículos de tracción ya disponibles.
- Adicional a esto, si bien ambos productos satisfacen estos requerimientos, el profundo conocimiento del mercado al que apuntan y sus necesidades específicas han permitido a estas empresas metalmeccánicas capitalizar la incorporación de innovaciones en lo siguiente: el cumplimiento de las funciones necesarias con una estructura de menor coste (caso I) para competir por precio; la incorporación de una adaptación para permitir al productor familiar resolver la cosecha de dos cultivos invirtiendo en una única maquinaria multifuncional (caso II); el incremento en la calidad estructural del producto para satisfacer a un usuario que hace un uso intensivo de la maquinaria y prioriza una inversión a largo plazo (caso II).
- Contar con una herramienta metodológica para analizar la innovación tecnológica permite una mejor comprensión de las posibilidades de diferenciación que la misma contiene desde los aportes de la ingeniería, el *marketing* y el diseño industrial.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2013). *Argentina innovadora 2020. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación. Lineamientos estratégicos 2012-2015*. Buenos Aires: Mincip.
- [2] Galindo-Rueda, F., y Millot, V. (2015). Measuring Design and its Role in Innovation. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, (1). Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1787/5js7p6lj6zq6-en>
- [3] Hernandez, R. J., Cooper, R., Tether, B., y Murphy, E. (2017). The Value of Design in Innovation: results from a survey within the UK Industry. *The Design Journal*, 20(1), 691-704. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353015>
- [4] Porter, M. (1990). The Competitive Advantage of Nations. *Harvard Business Review*, March-April.
- [5] Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovations*. Nueva York: Free Press.
- [6] Pavón, J., y Goodman, R. (1981). *Proyecto Modeltec. La planificación del desarrollo tecnológico*. Madrid: CDTI-CSIC.
- [7] OECD (2010). *The OECD Innovation Strategy: Getting a Head Start on Tomorrow*. París: OECD.
- [8] Goffin, K., y Mitchell, R. (2017). *Innovation Management. Effective Strategy and Implementation*. Londres: Palgrave Macmillan.
- [9] Nataya, A., y Sutanto, J. E. (2018). The Effect of Product Innovation and Service Innovation Towards Marketing Performance. *International Journal of Business and Management Invention*, 7(8), 61-66.
- [10] Schilling, M. (2020). *Strategic Management of Technological Innovation*. New York: McGraw Hill,
- [11] OECD/Eurostat (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. Luxemburgo: Paris/Eurostat.
- [12] Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6.ª ed.). Los Ángeles: SAGE.
- [13] Schnarch Kirberg, A. (2001). Nuevo producto. Creatividad, innovación y marketing. Bogotá: McGraw-Hill.
- [14] Trejo, J. M., Gutierrez, J. S., y Uribe, G. G. (2013). Determinantes en el Proceso del Despliegue del Valor para la Innovación. *Mercados y Negocios*, 14(1), 5-25.
- [15] Buch, T. (1997). *El Tecnoscopio*. Buenos Aires: Aique.

- [16] Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2004). *Diseño y Desarrollo de Productos. Enfoque Multidisciplinario*. México D. F.: McGraw-Hill.
- [17] Löbach, B. (1981). *Diseño Industrial. Bases para la configuración de los productos industriales*. Barcelona: G. Gili.
- [18] Manzini, E., y Vezzoli, C. (1998). *Lo Sviluppo di Prodotti Sostenibili. I Requisiti Ambientali dei Prodotti Industriali*. San Marino: Maggioli.
- [19] Del Giorgio Solfa, F. (2012). *Benchmarking Design: Multiplying the Impact of Technical Assistance to MSMEs in Design and Product Development. 2012 International Design Management Research Conference*. Boston: DMI.
- [20] Ramirez, R. y Ariza, R. (2012). *Diseño de Productos: Una Oportunidad para Innovar*. San Martín: INTI.
- [21] Del Giorgio Solfa, F., Lagunas, F. E., y Lasala, A. I. (2011). *Diseño sustentable: la industria, los consumidores y los profesionales del diseño industrial en el desarrollo de productos y en la preservación del medio ambiente*. Islas Baleares: Universitat de le Illes Balears.
- [22] Berman, S. J., y Hagan, J. (2006). How technology-driven business strategy can spur innovation and growth. *Strategy & Leadership*, 34(2), 28-34. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/10878570610700848>
- [23] Ceschin, F., y Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118-163. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002>
- [24] Cruickshank, L. (2010). The Innovation Dimension: Designing in a Broader Context. *Design Issues*, 26(2), 17-26. Recuperado de doi: https://doi.org/10.1162/DESI_a_00002

ACERCA DE LOS AUTORES

Federico Del Giorgio Solfa

Diseñador industrial, profesor en Diseño Industrial, magíster en Marketing Internacional, profesor titular ordinario de la Universidad Nacional de La Plata. Máster in Diritto, Economia e Política dell'Unione Europea, Università degli Studi di Padova. Profesor titular en la maestría en Gestión Empresarial de Negocios Internacionales de la Universidad de Buenos Aires. Investigador adjunto sin director, director de becas doctorales y miembro de la Comisión Asesora Honoraria en Ingeniería, Arquitectura y Tecnología, de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Miembro del Comité de Pares en Ciencias Aplicadas de la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria.

@ federico.delgiorgio@cyt.cic.gba.gob.ar

María Sol Sierra

Diseñadora industrial, profesora en Diseño Industrial y doctora en Artes (Diseño Industrial) de la Universidad Nacional de La Plata. Becaria de Perfeccionamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

@ ssierra@fba.unlp.edu.ar

Oscar Daniel Quiroga

Ingeniero eléctrico-electrónico de la Universidad Católica de Córdoba. Doctor en Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor titular ordinario de la Universidad Nacional del Litoral. Director del Programa para la Consolidación de la Investigación y Transferencia de la Maestría en Administración de Empresas (MBA-FCE) de la Universidad Nacional del Litoral. Profesor de posgrado en la Universidade Federal de São Carlos (Brasil), Universidad Nacional de La Plata, Universidad Nacional del Litoral.

@ oquiroga@fiq.unl.edu.ar

Recibido: 20-04-21

Revisado: 02-06-21

Aceptado: 22-06-21



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

¿Por qué capacitarse en **Tecsup?**



Las empresas
Top confían en
Tecsup

Las empresas Top 500
del Perú capacitan a sus
colaboradores en Tecsup.



Talleres y
laboratorios
especializados

+80 modernos laboratorios
con equipos de alta
tecnología a nivel nacional.



Oferta educativa
de alta demanda
laboral

Plan de estudios
innovador, alineado a
las necesidades del
profesional actual.



Docentes
de alto nivel

Experiencia adquirida
a nivel nacional e
internacional.

Nuestras áreas de especialización

Electricidad y Electrónica

Minería, Procesos Químicos y Metalúrgicos

Seguridad y Salud en el Trabajo

Tecnología Digital

Mecatrónica

Gestión y Producción

Mecánica y Aviación

Se optimiza el desempeño productivo de los activos garantizando la continuidad del proceso productivo bajo estándares de seguridad, calidad y cuidado del medioambiente.



Modelo de criticidad de repuestos de activos físicos enfocado al logro de la excelencia operacional

Criticality Model for Spare Parts of Physical Assets Focused on Achieving Operational Excellence

RESUMEN

El artículo tiene como objetivo presentar el diseño de un modelo de criticidad de repuestos utilizados en el mantenimiento de los activos físicos. Con esta herramienta, se optimizará el desempeño productivo de los activos, dado que el enfoque de este modelo garantizará la continuidad del proceso productivo bajo estándares de seguridad, calidad y cuidado del medioambiente.

Se ha analizado el uso de modelos de criticidad de repuestos, tales como el ABC, el XYZ y el lucro cesante, los cuales no garantizan resultados óptimos al ser utilizados de manera aislada. Asimismo, se ha identificado la necesidad de generar un modelo que integre los aspectos más resaltantes ligados a la gestión de repuestos, entre ellos se mencionan los siguientes: la importancia para el mantenimiento de los activos, el impacto sobre la producción, la seguridad y el medioambiente, y la optimización de costos por inventarios innecesarios. El modelo enfocado a la excelencia operacional en las organizaciones reúne todas estas condiciones, además de cruzar información con las metodologías existentes, y, con ello, faculta el alcance de resultados más fiables.

Se ha diseñado un modelo en el cual se debe evaluar cada categoría de repuestos para el mantenimiento de los activos físicos a través de siete factores con impactos diferenciados sobre los procesos principales que se desempeñan en los diversos sectores industriales. Esta herramienta diferencia a los repuestos en tres niveles de criticidad de acuerdo a la valoración total obtenida.

Es importante destacar que el uso de este modelo permitirá que las empresas cataloguen de manera más eficiente los repuestos que utilizan para el mantenimiento de sus activos físicos y, gracias a ello, generarán las acciones de optimización pertinentes que asegurarán la mayor confiabilidad y disponibilidad de sus procesos productivos.

ABSTRACT

The article aims to present a criticality model design for spare parts used in the assets of maintenance. With this tool, the productive performance of the assets will be optimized, since the approach of this model will guarantee the continuity of the production process under safety, quality, and environment care standards.

The use of criticality models for spare parts, such as ABC, XYZ, and lost profits, has been analyzed, which do not guarantee optimal results if they are used in isolation form. Likewise, it has been identified the need to generate a model that integrates the most outstanding aspects related to spare parts management, among them: the importance for the assets maintenance, the impact on production, safety, and the environment, and the optimization of costs due to unnecessary inventories. The model focused on operational excellence in organizations meets all these conditions, in addition to crossing information with existing methodologies, and, with it, empowers the achievement of more reliable results.

A model has been designed in which each category of spare parts for the maintenance of the assets has to be evaluated through seven factors with differentiated impacts on the main processes carried out in the several industrial sectors. This tool differentiates spare parts into three levels of criticality according to the total evaluation obtained.

It is important to note that the use of this model will allow companies to catalog more efficiently the spare parts they use for assets maintenance. And, thanks to this, they will generate the appropriate optimization actions that will ensure the best reliability and availability of their production processes.



Palabras Claves

Gestión de repuestos, criticidad de repuestos, clasificación ABC, clasificación XYZ, demanda de repuestos, impacto de repuestos, repuestos en el mantenimiento, priorización de repuestos.

Key words

Spare parts management, spare parts criticality, ABC classification, XYZ classification, spare parts demand, spare parts impact, spare parts on maintenance, spare parts prioritization.

INTRODUCCIÓN

La gestión de repuestos para el mantenimiento es uno de los focos de atención de las empresas, debido a que permanentemente afrontan el dilema de que la indisponibilidad de materiales para el mantenimiento de sus activos físicos genera pérdidas económicas por la interrupción del proceso productivo. Por otro lado, mantener gran cantidad de repuestos y materiales para su posterior uso en las tareas que ejecuta el área de mantenimiento produce un elevado costo de almacenamiento. Verdugo [1] indicó que cuando se adquiere una nueva máquina normalmente se solicita al fabricante la lista de repuestos recomendados. La relación de materiales que se presenta es estándar, es decir, igual para cada cliente que la solicita, y es habitual que se proporcione de manera sobredimensionada para que no se diga, en caso de necesidad, que no se recomendó su adquisición. Lo cierto es que, en muchas ocasiones, el repuesto recomendado genera la idea de que se posee el despiece completo de la máquina en el almacén, probablemente expuesto al deterioro por el paso de los años: nada más lejos de lo conveniente (p. 25).

Se requiere de un balance preciso entre la disponibilidad de los activos físicos y las existencias de repuestos para su mantenimiento. Para esto, existen diversas metodologías de categorización de repuestos que se enfocan en su nivel de uso, la generación de costos de inventarios y las pérdidas económicas generadas por su inexistencia. En 2018, Meetlogistics comentó que la gestión de repuestos ha sido poco entendida y mal conducida, dado que, en su gran mayoría, las empresas han carecido de las herramientas de análisis y los conocimientos técnicos necesarios para medir y controlar el comportamiento del inventario [2].

Las diversas metodologías de clasificación de repuestos se enfocan, de manera individual, en aspectos tales como: priorizar el 80 % de los repuestos de mayor valor de consumo o dar prioridad al 80 % de las existencias que representan el mayor valor del inventario. Es muy importante enfocar de manera completa el análisis de qué es lo que realmente se debe tener en los almacenes de repuestos para el mantenimiento. En ese sentido, el presente artículo, que expone una metodología integral desarrollada para cubrir de manera más eficaz los aspectos relevantes de la gestión de repuestos, ha considerado los siguientes objetivos:

- Determinar un conjunto de factores que condiciona la cadena de suministro de los repuestos para el mantenimiento de los activos físicos.
- Delimitar el nivel de importancia que tienen los factores determinantes sobre la gestión de la cadena de suministro de repuestos para el mantenimiento.
- Definir una escala de valorización que muestre el nivel de respuesta de los repuestos sobre los factores condicionantes de su cadena de suministro.
- Exponer un formato para la evaluación del nivel de criticidad de los repuestos utilizados en el mantenimiento de los activos físicos.
- Estructurar un esquema de priorización para los repuestos requeridos para el mantenimiento de los activos físicos.

FUNDAMENTOS

Toro [3] mencionó que el objetivo central de todo departamento de gestión de mantenimiento es garantizar la disponibilidad y la confiabilidad de los activos físicos, además de disminuir los tiempos de interrupción por falla e, incluso, por mantenimiento planificado. Es así cómo se minimizan las pérdidas asociadas al tiempo muerto de producción, al tiempo laborable perdido, a la pérdida de materia prima y a la producción defectuosa por mal funcionamiento de los equipos. Esto implica altos niveles de planificación no solo de tareas de mantenimiento, sino también de disponibilidad y accesibilidad a todos los repuestos necesarios para su ejecución efectiva y oportuna.

Muchas veces se toman tiempos extendidos entre el requerimiento de los repuestos y la llegada hasta los almacenes de las empresas, por ello es importante asegurar un menor *lead time* para los componentes de activos físicos, que garantice el menor impacto en el tiempo de reparación por la ocurrencia de una falla. Por ello, lo ideal sería que el *lead time* de un repuesto (componente de un activo físico) sea menor al tiempo promedio entre fallas que presenta dicho elemento. La Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad (SMRP, por sus siglas en inglés) (2020) indicó que el tiempo promedio entre fallas representa el tiempo promedio de operación entre fallas para un activo o componente. Definido con las siglas MTBF y MTTF, se utiliza como medida de confiabilidad de los activos y también como vida media (p. 77). Por otro lado, Mora [5] definió el *lead time* como el tiempo de espera entre la solicitud de un producto y la llegada de este para el proceso requerido (p. 30).

La Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE, por sus siglas en inglés) (2002) estableció como daño secundario a todo efecto generado por la falla de un elemento sobre el desperfecto significativo de otros componentes o sistemas del propio activo físico (p. 22). Asimismo, identificó que los intervalos P-F tienen una variación en un amplio rango de valores, dependiendo de si los elementos presentan modos de falla aleatorios o por longevidad, lo que requiere generar acciones que aseguren un grado razonable para detectar la falla potencial antes de que se convierta en una falla funcional (pp. 36-38). Indudablemente, es importante tomar en consideración las repercusiones que puede generar un componente que sufre una avería sobre otros elementos de dicha máquina. Adicionalmente, es sustancial considerar la variabilidad existente para la ocurrencia de las fallas en los diversos componentes de un activo físico.

Los activos físicos están integrados por varios componentes que, al sufrir una falla, deben ser reparados o reemplazados. Para ejecutar dichas actividades, se origina la necesidad de adquirir elementos, ya sea mediante una compra local o por importación, lo cual requiere ejecutar un proceso que demanda un tiempo hasta contar con la disponibilidad de los repuestos. En 2020, la SMRP definió al tiempo promedio para reparar o reemplazar como el tiempo promedio necesario para restaurar un activo a sus capacidades operativas completas después de su pérdida de función. Siendo identificado como MTTR, está condicionado por el plazo que toma conseguir los repuestos necesarios para realizar el trabajo de reparación o sustitución (pp. 80-83).

La SAE (1999) explicó que un modo de falla provoca efectos sobre la seguridad, el medioambiente, la capacidad operacional y los costos de reparación directos e indirectos. Si la falla de un componente daña o mata a un ser humano, se considera que

tiene consecuencias sobre la seguridad; si puede violar cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración, tiene consecuencias ambientales. Adicionalmente, una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema genera afectación sobre la producción, la calidad del producto o el servicio al consumidor (p. 4). Complementando, Amendola [13] manifestó que la excelencia operacional se enfoca en buscar y realizar modelos de negocio con miras a mejorar continuamente la calidad de los bienes y los servicios; lo que implica reducir pérdidas, optimizar costos y mejorar la calidad y la productividad (p. 1). Es imperativo que las organizaciones desarrollen nuevos modelos de planificación y control de la producción, y se enfoquen en los factores que generan impacto sobre las variables clave para alcanzar o mantener su ventaja competitiva.

Se considera la necesidad de desarrollar un nuevo modelo de gestión de repuestos enfocado a factores que condicionan el cumplimiento de adecuados estándares productivos, con procesos seguros y de bajo impacto ambiental, a fin de maximizar la eficiencia en la ejecución de las tareas de mantenimiento de los activos físicos. Esto amerita trabajar bajo una metodología matricial orientada a evaluar factores condicionantes sobre los objetivos esperados. D'Alessio (2008) desarrolló las matrices de evaluación de factores externos e internos para procesos de planeamiento estratégico. Ambas se construyen listando factores críticos o determinantes a los cuales se les asigna un peso relativo entre 0 % (no importante) y 100 % (muy importante). Luego, se le asigna un valor de respuesta hacia cada factor, el cual varía de 1 a 4 y será multiplicado por el peso establecido para obtener, de esa manera, un ponderado. Finalmente, se suman los ponderados de cada variable, con lo que se obtiene un peso ponderado total (pp. 125-184)[11]. Se aplicará este proceso en el diseño del modelo de gestión de repuestos planteado.

METODOLOGÍA

Para este estudio, se evaluaron técnicas de clasificación de repuestos utilizadas para identificar niveles de rotación, reconocer categorías que ocupan el mayor nivel de exigencias y comprobar el nivel de criticidad para el proceso productivo. Los principales modelos de control y manejo de inventarios son el ABC y el XYZ, de los cuales se analizarán sus respectivas ventajas y desventajas.

En 2016, Mora [5] explicó el modelo ABC estándar mediante la multiplicación de la demanda media y el valor o costo de los productos que forman parte del grupo primario de inventarios. Además, manifestó que dicha herramienta se fundamenta en el principio de Pareto, denominado también 80-20 (pp. 88-89). Ramírez [8] reconoció como ventaja del modelo ABC que las organizaciones con múltiples productos observan un ordenamiento totalmente distinto de los costos de sus productos. Asimismo, precisó que este nuevo orden refleja una corrección de las ventajas previamente atribuidas a los productos con menor volumen de venta (p. 26).

Contreras y Parra [9] expusieron que el modelo XYZ consiste en determinar tres categorías de materiales en función de su valor financiero. Afirmaron, además, que el porcentaje del valor total del inventario establecido para definir cada categoría puede ser seleccionado dependiendo del perfil del inventario de la industria que se está analizando. Finalmente, indicaron que, en la gran mayoría de los inventarios para mantenimiento en cualquier tipo de industria, un pequeño grupo de materiales representa un elevado valor de la inversión total (p. 3).

Al tener metodologías que están enfocadas en aspectos diferentes de la gestión de inventarios de repuestos, se presenta la opción de combinar métodos para lograr mejores resultados. De esa manera, «[e]l análisis ABC/XYZ es una extensión de la clasificación ABC que crea una matriz de 3x3 en la que las filas son la clasificación ABC y las columnas son una clasificación XYZ, lo que permite disponer de una categorización más eficiente» [10]. Asimismo, en 2020, Contreras y Parra propusieron el método de priorización de repuestos por criticidad y valor económico, para lo cual relacionaron el costo total por la indisponibilidad del material en el almacén con la inversión total en inventario (XYZ). Dicho método prioriza que en mantenimiento generalmente prevalece el costo por indisponibilidad sobre el costo de almacenamiento (pp. 4-6) [9].

RESULTADOS

Se desarrolla un método para el análisis de criticidad que pueda englobar todos los aspectos que son condicionados por los repuestos de los activos físicos, teniendo como objetivo la excelencia operativa que es base fundamental para alcanzar la excelencia operacional en las organizaciones. Según Tosta [12], las empresas contratan normalmente al 80 % de su personal para que gestionen sus activos industriales, quienes aplican una serie de metodologías, como la gestión de repuestos (MRO), para alcanzar el mayor valor del indicador de eficiencia de productividad de las plantas industriales. Este conjunto de personas se complementa con el resto de áreas para gestionar de manera eficiente el negocio, enfocarse en alcanzar la excelencia de los procesos y contribuir con la política verde de sostenibilidad del planeta, con miras a conseguir el mayor valor para sus clientes.

El método a exponer se basa en un proceso de evaluación matricial en el cual se seguirán los siguientes pasos: organización de factores determinantes, asignación de pesos a los factores, evaluación del valor de respuesta de los repuestos hacia cada factor, cálculo del ponderado total y determinación de la escala de referencia. A continuación, se detallan cada una de estas fases:

1. Lista de factores determinantes

- **Relación entre el MTBF y el lead time:** permitirá verificar cuán garantizada está la disponibilidad del repuesto en los almacenes de la empresa antes de que se produzca una falla en la que se requiera dicho elemento.
- **Efecto sobre otros consumibles para mantenimiento:** se verificará cuán probable es que la falla de un elemento genere daños o averías en otros elementos del activo físico, tales como los siguientes: desgaste y ruptura de otros repuestos, contaminación de aceites y lubricantes, y necesidad de uso de materiales adicionales para el proceso de reparación.
- **Previsibilidad de la falla del repuesto:** se debe evaluar el modelo probable de curva P-F que puede tener cada elemento; lo cual permitirá reconocer síntomas que se anticipan a la ocurrencia de fallas de los activos físicos, las que deshabilitan su capacidad de cumplimiento de su función.

- **Impacto en el incremento del MTTR:** Los repuestos pueden generar la extensión del MTTR (como promedio de los tiempos de reparación) no solo debido a su demora en la adquisición y el aprovisionamiento, sino también por la dificultad en la detección y el diagnóstico del elemento exacto que es causante de la falla.
- **Efecto sobre la calidad del producto final:** Los clientes de las empresas de productos o servicios dan conformidad de estos cuando tienen la capacidad de satisfacer sus necesidades. Se deben analizar los rechazos de productos o servicios luego de que los activos físicos se hayan vuelto a poner en operación o vengan desempeñándose a plena producción.
- **Efecto sobre el volumen de producción:** Se contemplan las interrupciones por averías o fallas, los requerimientos que se tengan de ajustes, configuración y calibración, y la reducción en la capacidad y la velocidad de

producción. Cada elemento origina sus propias necesidades e interrumpe los procesos productivos a mayor o menor escala.

- **Efecto sobre la seguridad y el medioambiente:** Partes de activos físicos o sus repuestos al ser de mala calidad o presentar averías podrían causar accidentes en el entorno de operación, así como daños medioambientales. Se requiere establecer la probabilidad de repercusiones que provoque cada una de las categorías de los elementos utilizados en el mantenimiento de los activos físicos.

Amendola (2016) identificó como pilares de la excelencia operacional a los procesos de fabricación, la planificación y el control de la producción, y la efectividad operativa de personas, procesos y gestión de activos físicos (p. 3) [13]. La figura 1 nos muestra cómo los factores listados encajan en estos pilares.



Figura 1. Relación de los factores con los pilares de la excelencia operacional
Fuente: elaboración propia

2. Asignación de pesos

Siguiendo el proceso propuesto para las matrices interna y externa en un planeamiento estratégico, se determinará el nivel de importancia de cada uno de los factores listados en el punto anterior. Dado que la suma total de los pesos debe ser 100 %, si cada uno de los siete factores tuviera el mismo nivel de importancia para la evaluación de criticidad de los repuestos, el peso promedio debería ser 14.29 %. Bajo esta premisa, se considera que, si un factor es más importante, deberá tener un peso mayor al promedio; y, si un factor es menos importante, deberá tener un valor inferior a 14.29 %.

En 2021, Tosta afirmó que la eficiencia global de los equipos (OEE, por sus siglas en inglés) es el indicador que recoge el

modelo de excelencia operacional dentro de la empresa y mide el desempeño de la compañía como una empresa excelente. La SMRP (2020) indicó que la OEE es una medida del rendimiento del sistema de activos o equipos en función a la disponibilidad real, el rendimiento, la eficiencia y la calidad del producto cuando el activo físico está programado para operar. El *benchmarking* considerado es 85 % para una disponibilidad, una calidad y un rendimiento mayores a 90 %, 99 % y 95 %, respectivamente (pp. 21-28) [12]. La disminución de los tres indicadores que forman parte del OEE genera un impacto sobre este. La disponibilidad es la que afecta de mayor manera, seguida del rendimiento y, finalmente, con una menor repercusión, el indicador de calidad. Es tomando esta información que en la tabla 1 se asignan los pesos relativos a los factores antes listados.

Tabla 1
Asignación de pesos relativos de los siete factores determinantes

Factor	Impacto	Importancia	Factores relacionados	Peso
1. Relación entre el MTBF y el <i>lead time</i>	Disponibilidad	Mayor	4, 6 y 7	16.13 %
2. Efecto sobre otros consumibles para mantenimiento	Rendimiento	Media	4 y 6	14.29 %
3. Previsibilidad de la falla del repuesto	Rendimiento	Media	1	14.29 %
4. Impacto en el incremento del MTTR	Disponibilidad	Mayor	6	15 %
5. Efecto sobre la calidad del producto final	Calidad	Menor	6 y 7	13 %
6. Efecto sobre el volumen de producción	Rendimiento	Media	-	14.29 %
7. Efecto sobre la seguridad y el medioambiente	Calidad	Menor	5 y 6	13 %

En la tabla 1, se establece la variación de los pesos relativos considerando con mayor valor a los factores que guardan relación con más factores dentro de las siete variables seleccionadas para determinar la criticidad de los repuestos. Cabe resaltar que la suma total de los pesos da 100 %.

3. Valores de respuesta

En 2008, D'Alessio estipuló las siguientes calificaciones para la evaluación de los factores externos: 1 (respuesta pobre), 2 (respuesta promedio), 3 (respuesta por encima del promedio) y 4 (respuesta superior). Asimismo, da los siguientes valores para la asignación de los factores internos: 1 (mayor debilidad), 2 (menor debilidad), 3 (menor fortaleza) y 4 (mayor fortaleza) (pp. 125-184) [11]. Ambas valoraciones se realizan considerando que el mayor valor responde a mejores ventajas de la condición a evaluar. En el caso de los repuestos, se espera tener mayores puntuaciones

en aquellos que generan el mayor impacto sobre los factores en conjunto. Debido a ello, se considera que, si un repuesto presenta una respuesta pobre a cualquier factor, manifiesta una debilidad; y, si la respuesta es superior, indica una fortaleza. En ese sentido, se propone el siguiente conjunto de valoraciones:

- 1: respuesta favorable (bajo impacto sobre el factor).
- 2: respuesta media (impacto promedio sobre el factor).
- 3: respuesta desfavorable (alto impacto sobre el factor).

4. Ponderado total y escala de referencia

En la tabla 2, se presenta el ponderado total (PT), calculado por la suma de las multiplicaciones del peso y el valor asignado a cada repuesto. Asimismo, se exhibe el formato del modelo desarrollado.

Tabla 2
Formato del modelo de criticidad de repuestos

Factor	Peso	Repuesto 1		Repuesto 2		...	Repuesto n	
		Valor	Ponderado	Valor	Ponderado		Valor	Ponderado
Relación entre el MTBF y el <i>lead time</i>	16.13 %							
Efecto sobre otros consumibles	14.29 %							
Previsibilidad de la falla del repuesto	14.29 %							
Impacto en el incremento del MTTR	15 %							
Efecto sobre la calidad del producto final	13 %							
Efecto sobre el volumen de producción	14.29 %							
Efecto sobre la seguridad y el medioambiente	13 %							
Total	100 %		PT1		PT2	...		PTn

Una vez calculados los ponderados totales para cada repuesto evaluado, se le asigna su nivel de criticidad de acuerdo a la escala de referencia dada en la tabla 3.

Tabla 3
Nivel de criticidad

Nivel de criticidad	Ponderado total
N-1	2.33 – 3
N-2	1.67 – 2.33
N-3	1 – 1.67

Los intervalos del ponderado total mostrados en la Tabla 3 se determinan tomando en cuenta que, si un repuesto presentara respuesta favorable a todos los factores, el ponderado total sería 1; y, si mostrara respuesta desfavorable, el ponderado total sería 3. En las tres metodologías de gestión de repuestos revisadas, se aprecia que en todos los casos trabajan con tres niveles de clasificación, es por ello que se debería dividir la diferencia entre los límites del ponderado total entre dicha cantidad de niveles; lo

cual resulta en un valor de 0.667, que se convierte en la variación del ponderado de cada nivel de criticidad.

Una vez definido el nivel de criticidad de los repuestos, es sustancial cruzar dicho resultado con el de alguna otra metodología. Esto tiene como objetivo enfocarse de manera integral en la cadena de suministro de los repuestos, mostrada en la figura 2, lo cual demuestra su impacto en la gestión del mantenimiento de activos físicos.

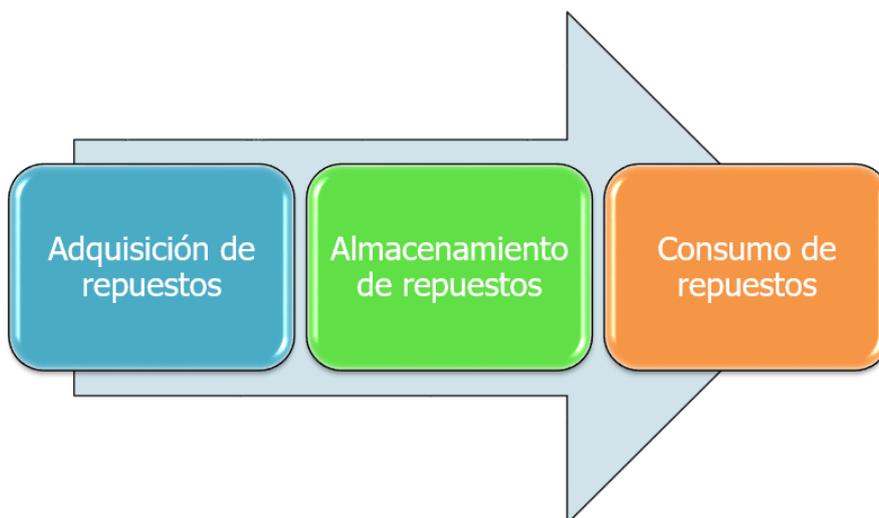


Figura 2. Cadena de suministro de los repuestos
Fuente: elaboración propia.

Lo primordial es el uso que se le da a los repuestos; en este caso, el consumo sustentado por los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos. Es de acuerdo a la necesidad del mantenimiento que se optimizan los procesos de adquisición y almacenamiento de los repuestos y los consumibles. Por ello,

se decide trabajar de manera integrada con la clasificación ABC, debido a que esta revisa la demanda de los repuestos generada en un determinado periodo de tiempo. La figura 3 nos muestra que en el eje horizontal se coloca la clasificación ABC y en el eje vertical la criticidad enfocada a la excelencia operacional.

N-1	C-1	B-1	A-1
N-2	C-2	B-2	A-2
N-3	C-3	B-3	A-3
	C	B	A

Figura 3. Matriz integral de categorización de repuestos
Fuente: elaboración propia.

Este modelo nos da como resultado nueve niveles de categorización de los repuestos. Se considera que los repuestos de mayor prioridad son los de criticidad nivel 1, que tienen alta o media demanda, así como también los de criticidad nivel 2

de alta demanda. En la figura 4, se muestra la estructura de las prioridades de acuerdo a los códigos combinados identificados para los repuestos.

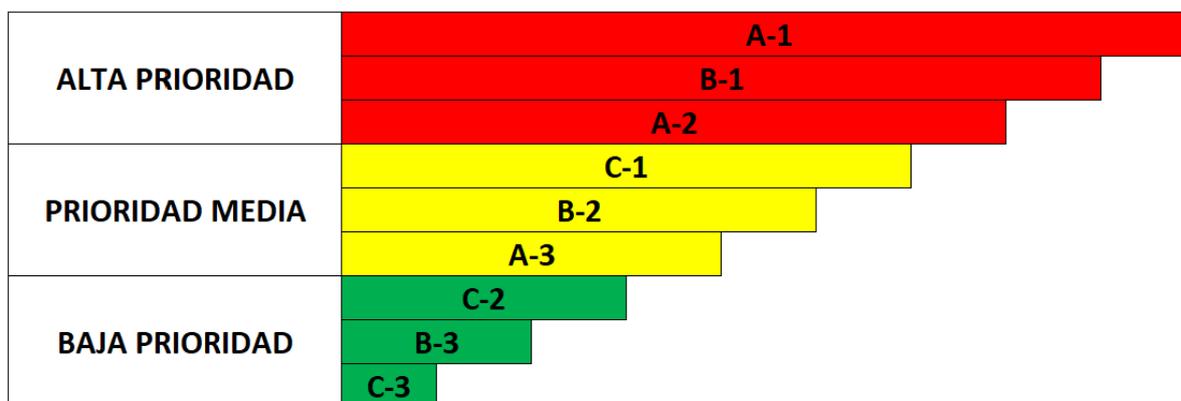


Figura 4. Estructura de priorización de repuestos
Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se determinaron siete factores que condicionan la cadena de suministro de los repuestos para el mantenimiento de los activos físicos, respecto a los cuales se han definido los aspectos clave a tomar en cuenta a la hora de desarrollar el análisis de criticidad de las existencias a nivel de repuestos.
- Se delimitó el nivel de importancia que tienen los factores determinantes sobre la gestión de la cadena de suministro de repuestos para el mantenimiento considerando el impacto sobre la eficiencia global de los equipos, condicionando el peso relativo que tendría cada uno de estos en función de la cantidad de factores con los que guardan relación directa.
- Se definió la escala de valorización para evidenciar si el nivel de respuesta que tienen los repuestos sobre los factores condicionantes de su cadena de suministro es favorable, media o desfavorable; a fin de relacionarlo con las posibilidades de bajo, promedio o alto impacto, respectivamente.
- Se expuso un formato para la evaluación del nivel de criticidad de los repuestos utilizados en el mantenimiento de los activos físicos y se relacionó cada existencia evaluada con los factores determinantes a través del valor asignado y el ponderado calculado; cuyo objetivo central fue la obtención del ponderado total por medio de la suma de los siete ponderados obtenidos.
- Se estructuró un esquema de priorización para los repuestos requeridos para el mantenimiento de los activos físicos relacionando las metodologías de criticidad ABC y la enfocada en la excelencia operacional para tomar decisiones más acertadas que permitan añadir un mayor valor agregado a las técnicas de cálculo de lotes óptimos y existencias de respaldo.

REFERENCIAS

- [1] Verdugo, F. (2014). Determinación de la criticidad de componentes de una máquina o proceso tras un análisis RCM. *Técnica Industrial*, 308: 24-28.
- [2] Meetlogistics. (20 de noviembre de 2018). *La optimización de los inventarios de mantenimiento (MRO)*. Recuperado de <https://meetlogistics.com/inventario-almacen/la-optimizacion-de-los-inventarios-de-mantenimiento-mro>.
- [3] Toro, R. (27 de septiembre de 2018). *Factores clave de éxito en la gestión de repuestos para mantenimiento*. Fractal Blogs. Recuperado de [_](#)
- [4] Society for Maintenance & Reliability Professionals. (2020). *Best practices*. Atlanta: SMRP.
- [6] Mora, A. (2016). *Inventario cero*. Bogotá: Alfaomega.
- [6] The Engineering Society for Advancing Mobility Land, Sea, Air and Space (2002). *Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie (SAE JA1012)*. Warrendale: SAE International.
- [7] The Engineering Society for Advancing Mobility Land, Sea, Air and Space (1999). *Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie (SAE JA1011)*. Warrendale: SAE International.
- [8] Ramírez, S. (2016). *Planificación y control de inventarios aplicando el método ABC en la empresa Auto Repuestos del Sur durante el año 2015* [tesis de maestría]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

- [9]** Contreras, J. y Parra, C. (2020). *Priorización de repuestos por criticidad y valor económico. Método de análisis de criticidad de inventarios en mantenimiento*. ResearchGate. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/344057375>.
- [10]** ATOX Noticias. (2 de octubre de 2017). *Análisis ABC/XYZ*. Recuperado de <http://www.atoxgrupo.com/website/noticias/analisis-abc-xyz>.
- [11]** D'Alessio, F. (2008). *El proceso estratégico*. Lima: Centrum de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [12]** Tosta, V. (27 de mayo de 2021). *Excelencia operativa (OEE)*. PMM Take a Break for your Brain. Recuperado de
- [13]** Amendola, L. (2016). *Excelencia operacional, ¿qué significa?* Valencia: PMM Innovation Group.

ACERCA DEL AUTOR

Juan Carlos Latorre Boza

Magíster en Administración Estratégica de Empresas, ingeniero mecánico especialista en proyectos de inversión, Profesional Certificado en Mantenimiento y Confiabilidad (CMRP) especialista en gestión de activos aplicada a maquinaria pesada, vehículos pesados y vehículos ligeros, especialista en logística en la planificación y la programación de la cadena de suministro. Miembro activo de la Red Confiabilidad de Reliabilityweb. Coordinador académico de la carrera profesional de Gestión y Mantenimiento de Maquinaria Pesada y docente en el área de gestión del equipo pesado de Tecsup Lima.

 jlatorre@tecsup.edu.pe

Recibido: 22-04-21
Revisado: 25-08-21
Aceptado: 08-09-21



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

OBTÉN A DISTANCIA

HABILIDADES DE ALTA DEMANDA **LABORAL**

**CURSOS Y PROGRAMAS
100 % VIRTUALES**



Electricidad y Electrónica



Mecánica y Aviación



Tecnología Agrícola



Gestión y Producción



Mecatrónica



Tecnología Digital



Seguridad y Salud
en el Trabajo



Minería, Procesos
Químicos y Metalúrgicos

Capacítate donde y cuando quieras

- Cursos *e-learning*
- Programas integrales virtuales
- MOOC's



958 684 753

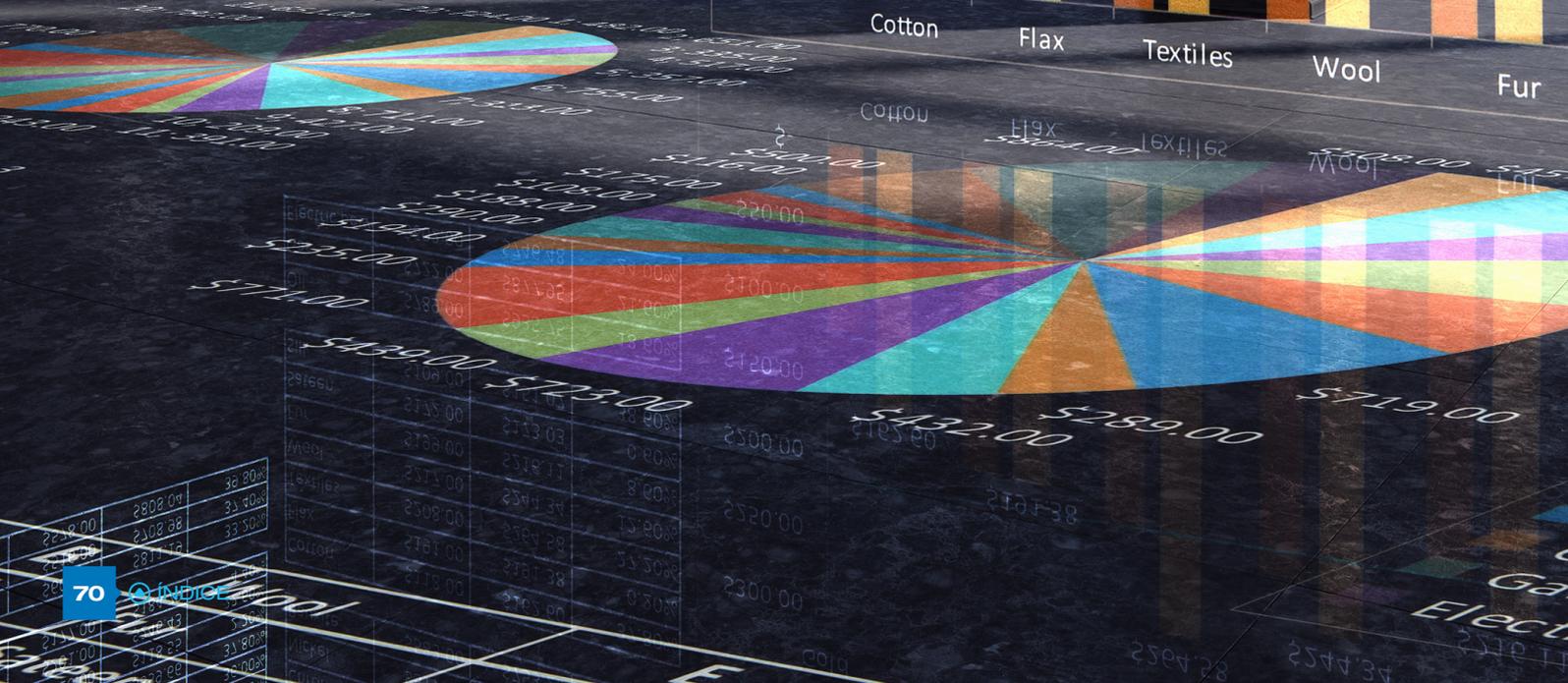


Tecsup **Virtual**

El análisis observacional multivariante mediante gráficos

permite identificar similitudes entre las unidades de estudio y determinar los valores atípicos.

Commodity	Buy	Sale	Change
Platinum	\$314.07	\$314.07	10.20%
Copper	\$424.00	\$424.00	6.20%
Steel	\$424.00	\$424.00	21.80%
Manganese	\$400.00	\$400.00	123.60%
Aluminum	\$205.88	\$2726.77	26.00%
Chrome	\$351.00	\$442.26	11.80%
Nickel	\$517.00	\$578.01	29.20%
Bauxite	\$583.00	\$753.24	21.60%
Cotton	\$361.18	\$5162.60	37.80%
Flax	\$191.00	\$191.38	0.20%
Textiles	\$208.00	\$264.58	27.20%
Wool	\$217.00	\$244.34	12.60%
Fur	\$199.00	\$1216.11	98.60%
Sateen	\$172.00	\$173.03	0.60%
Silk	\$109.00	\$351.07	38.60%
Oil	\$18789.00	\$1995575	18.60%
Gas	\$18722.00	\$187315	21.60%
Electric pow	\$602.00	\$746.49	24.00%



Representación gráfica multivariante del seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021

Multivariate Graphic Representation of the Monitoring of the Execution of Investment Projects in Peru, 2021

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es mostrar las diferentes propuestas de gráficos multivariantes en seguimiento de proyectos de inversión tales como diagramas de caja y bigotes, gráficos de tallo y cajas, diagramas de dispersión, dendrograma, caras de Chernoff, curvas de Andrews, gráficos de estrella y gráficos de radar. Este estudio se justifica debido a que no existe mucha difusión de este tipo de gráficos y además no todos los softwares estadísticos permiten implementar estos, siendo una excepción a esto RStudio.

Se trata de un estudio de alcance exploratorio y diseño no experimental, transversal y descriptivo. La población está formada por 23 departamentos del Perú junto con la provincia constitucional del Callao. Debido a que la información para el departamento de Tumbes resultó estar incompleta, se optó por eliminar esta. Por tanto, la muestra final estuvo conformada por 23 observaciones y 7 variables con información sobre al seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú en el año 2021. Se hizo uso de técnicas gráficas de análisis multivariado utilizando el entorno de desarrollo integrado RStudio para su procesamiento.

Los resultados exponen diversas tendencias, conglomerados y análisis descriptivo de las 23 observaciones de la muestra respecto al seguimiento de ejecución en proyectos de inversión a través de los diversos gráficos multivariantes.

Podemos concluir que, mediante estos gráficos, se pudieron identificar similitudes entre las unidades de estudio, así como agrupamientos y valores atípicos (*outliers*). Además, se puede describir cómo fue la ejecución de proyectos de inversión en cada uno de los departamentos y la provincia del Callao que forman parte de la muestra.

ABSTRACT

The main objective of this work is to show the different proposals of multivariate graphs in the monitoring of investment projects such as box and whisker plots, stem and box plots, scatter plots, dendrogram, Chernoff faces, Andrews curves, graphs of star and radar charts. This study is justified because there is not much dissemination of this type of graphics, and neither all statistical software allows to implement them RStudio is an exception.

It is an exploratory study with a non-experimental, cross-sectional, and descriptive design. The population was made up of 23 departments of Peru together with the Constitutional Province of Callao. Since the information for the department of Tumbes turned out to be incomplete, it had decided to eliminate it. Therefore, the final sample consisted of 23 observations and 07 variables with information on monitoring the execution of investment projects in Peru in the year 2021. Multivariate analysis graphical techniques had used using the RStudio integrated development environment for their prosecution.

The results show various trends, clusters, and descriptive analysis of the 23 observations of the sample regarding the monitoring of execution in investment projects through the different multivariate graphs.

We can conclude that through these graphs it was possible to identify similarities between the study units as well as groupings and atypical values (*outliers*). In addition, it is possible to describe how was the execution of investment projects in each of the departments and the province of Callao that are part of the sample.



Palabras Claves

Gráficos multivariantes, Proyectos de inversión, análisis descriptivo, RStudio, conglomerados.

Key words

Multivariate charts, Investment projects, descriptive analysis, Rstudio, clustering.

INTRODUCCIÓN

La consecución de mayores niveles de productividad en el uso de recursos públicos tiene relevancia tanto en un sentido microeconómico y macroeconómico [13]. En las instituciones gubernamentales es de vital importancia conocer la forma cómo se están ejecutando los presupuestos de inversión a través de su ejecución en años anteriores, presupuesto de apertura, presupuesto modificado, devengado, avance y ejecución total [12]. Es por ello que casi siempre estamos enfrentando situaciones de estudio multidimensionales, referidas a información naturalmente compleja. Familiarizarnos con tal información requiere un análisis exploratorio de datos exhaustivo, no solamente de la forma unidimensional y bidimensional, sino también multidimensional [18]. Si bien desde hace un tiempo atrás se han desarrollado diversos procedimientos gráficos para representar datos multivariantes, actualmente, con la disponibilidad de *softwares* estadísticos, lo cual nos permite implementarlos de manera más sencilla, se sugiere aplicar estos para complementar las estrategias básicas de análisis exploratorio de la información. Las representaciones gráficas novedosas pueden ayudarnos a alcanzar una mejor comprensión del problema de interés [18]. El objetivo de este trabajo es, por tanto, presentar una aplicación de algunas de las propuestas de gráficos estadísticos multivariantes, tales como: diagrama de caja y bigotes, gráfico de tallo y hojas, diagramas de dispersión, dendrograma, caras de Chernoff, curvas de Andrews, gráficos de estrella y gráficos de radar, mediante el entorno de desarrollo integrado RStudio. A través de estos gráficos, se puede buscar similitudes entre las unidades de estudio, buscar agrupamientos, las variables que predominan en las observaciones, existencia de datos atípicos, entre otros.

FUNDAMENTOS

Si bien en diversos textos académicos se muestra la forma en cómo se elaboran dichos gráficos multivariantes, lo mejor sería emplear los *softwares* disponibles para realizar ello, aunque no en todos podemos es posible hacerlos, al menos de los que se proponen en este trabajo, siendo la excepción a todo el *software* R.

En el trabajo de Schiattino & Silva [18], referido a gráficos multivariantes aplicados al sistema de salud de Chile, se hace uso de varios tipos de estos gráficos que fueron implementados en los *softwares* R, Stata y SAS. El análisis gráfico puede sugerir algunas hipótesis, refutar otras y ayudar a la interpretación de resultados complejos [18].

Ocampo y Ospina [14] destacan también la importancia que tienen los gráficos pictóricos cuando se requiere hacer un análisis comparativo gráfico. Además, mencionan que «existen diferentes artículos que argumentan sobre la importancia de añadir profundidad a un gráfico en esencia 2D, ya que este es el estilo preferido por la mayoría de los periódicos y empresas» (p.14). También, de acuerdo con Sánchez [17], afirman que las herramientas gráficas se pueden utilizar de dos maneras: para hacer análisis de datos y para transmitir información a otras personas. A pesar de que, en dicho trabajo, «se presentan las principales herramientas gráficas para analizar datos de investigación clínica» (p.110), esto fácilmente se puede extender a otros campos de estudio, como por ejemplo economía, finanzas, contabilidad, etc.

En el trabajo de Correa & González [4], ellos destacan la importancia de hacer una buena comunicación de los datos a través de los gráficos estadísticos y afirman que «a pesar de la reconocida importancia este proceso no siempre se realiza de la menor manera» (p.5).

El análisis multivariado busca cómo se comportan un grupo de variables, pero de manera conjunta, pudiendo encontrarse así datos atípicos. Rubio [16] afirma que «una de las formas de realizar el análisis es mediante gráficos que representen dicha información» (p. 5).

Por todo lo descrito anteriormente, con este trabajo se quiere contribuir de alguna manera a una mayor difusión de estas herramientas gráficas estadísticas, así como su interpretabilidad y utilidad, no solo en el campo de la economía, sino también en otros en donde se requiera hacer un análisis exploratorio multivariado.

No se encontraron mayores limitaciones puesto que la información se encuentra disponible en el portal de Transparencia Económica del Ministerio de Economía y Finanzas, siendo esta de acceso público. Sin embargo, podríamos mencionar que dicha información se actualiza todos los días, razón por la cual los resultados que se mostrarán aquí son referentes al instante en el cual fueron tomados. Dentro de esta base de datos clasificada por departamentos, la información correspondiente al departamento de Tumbes resultó estar incompleta y es por ello que se descartó.

METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación

Tam *et al.* (2008, p.145) afirman que «existen una multiplicidad de clasificaciones de tipos y métodos de investigación, e incluso ambigüedad y confusión de términos y conceptos» [19]. Para este trabajo, nos basaremos en la clasificación dada por Hernández *et al.* [8], puesto que se trata de una investigación cuantitativa.

Así, este estudio es de tipo o alcance descriptivo, ya que busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población [8]. Para nuestro caso, se describirá las características para cada departamento con relación a las variables del proyecto de inversión. Además, según Hernández, Fernández y Baptista [8] el diseño es no experimental (no hay manipulación de variables), transversal (se toman los datos en un solo instante de tiempo) y descriptivo (indaga la incidencia de los niveles de una o más variables en la población).

Población y muestra

La población está formada por los 24 departamentos del Perú junto la provincia constitucional del Callao, de la cual se tiene información sobre su ejecución en años anteriores (2018 y 2019), presupuesto institucional de apertura (PIA), presupuesto institucional modificado (PIM), devengado, avance y ejecución total. En toda investigación, no siempre se tiene una muestra ya que en algunos casos queremos efectuar un censo que incluya a todos los casos [8]. En este trabajo se tomará a toda la población siendo su unidad de estudio un departamento o la provincia del Callao. Con respecto a la información del departamento de Tumbes, la cual no está completa, Dagnino [6] dice que «no hay

ninguna forma totalmente satisfactoria para el manejo de los datos faltantes», ya que estos pueden generar sesgo en la información. Si bien es cierto que existen técnicas para lidiar con esto, como es el caso de la imputación basada en la media de los otros valores, se optó por eliminar dicha observación ya que los presupuestos asignados pueden diferir mucho entre sí.

Técnicas de recolección de datos

Para este trabajo se recurrió a una fuente de datos secundaria. Tal como lo define Malhotra [11] «las fuentes de datos secundarios externos publicados incluyen agencias gubernamentales federales, estatales y locales». La información utilizada se tomó de la página de Transparencia Económica Perú del Ministerio de Economía y Finanzas. Esta contiene información sobre el seguimiento de la ejecución de proyectos de inversión por departamentos del año 2021. Esta información se actualiza diariamente por lo que esta difiere de la actual. Los datos con los cuales se trabajaron fueron del 8 de abril de 2021.

Análisis de los datos

El análisis de información se hizo a través de gráficos univariados y multivariados para cada una de las variables. De acuerdo con Peña [15] «el primer paso de cualquier análisis multivariante es representar gráficamente las variables individuales» (p.15), además continúa afirmando que «estas representaciones son útiles para detectar asimetrías, heterogeneidad, datos atípicos, etc.»(p.107).

Así, podemos dividir el análisis gráfico en dos grupos: univariados (gráficos de tallos y hojas, diagramas de cajas y diagramas de dispersión) y multivariados (dendrograma, gráficos de estrella, curvas de Andrews, caras de Chernoff y gráficos de radar).

Para realizar todo lo anteriormente mencionado se hizo uso del entorno de desarrollo integrado RStudio versión 4.1.0 el cual resulta ser muy versátil y de un manejo relativamente sencillo.

RESULTADOS

Como se hizo mención en el apartado sobre la población y muestra, se optó por eliminar la observación correspondiente al departamento de Tumbes, puesto que esta se encontraba incompleta, ya que, de haber seguido con el análisis, nos produciría sesgo en la información [6]. Además, debido a que todas las variables están expresadas en el orden de los millones a excepción de la variable avance que se expresa en porcentajes, se llevó a cabo un escalamiento para cada variable en el rango de 1 a 10 ya que en algunos de los gráficos se requiere que las observaciones sean positivas. Si se hubiera aplicado una estandarización normal, esta podría generar observaciones negativas. «De hecho, la tipificación genera valores con signo negativo y positivo respecto a la diferencia con el promedio» (p. 173) [1].

Tabla 1
Valores transformados mediante escalamiento para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021

Departamento	Ejecución 2019	Ejecución 2020	PIA	PIM	Devengado	Avance	Ejecución total
Amazonas	1.98	4.51	3.54	3.11	3.29	5.45	2.39
Áncash	1.47	2.60	3.25	3.34	2.59	3.64	1.56
Apurímac	2.77	3.41	2.43	2.21	2.84	6.38	2.87
Arequipa	10.00	6.75	10.00	10.00	6.64	3.43	10.00
Ayacucho	5.16	4.83	4.94	6.18	4.87	4.21	5.31
Cajamarca	4.10	2.21	4.89	6.10	2.18	1.00	3.80
Callao	3.71	1.00	1.00	1.00	1.00	3.33	3.20
Cusco	7.87	5.70	8.97	7.77	10.00	8.09	8.04
Huancavelica	1.43	2.81	3.65	3.97	1.54	1.10	1.53
Huánuco	2.90	3.98	3.02	2.89	3.22	5.76	3.10
Ica	1.18	1.74	3.64	3.51	2.28	2.86	1.14
Junín	3.47	3.86	4.13	5.05	4.52	4.83	3.63
La Libertad	5.16	2.68	5.78	3.65	2.59	3.28	4.84
Lambayeque	4.65	4.20	3.46	3.57	2.96	4.10	4.68
Lima	2.23	4.04	2.04	2.26	3.69	8.55	2.53
Loreto	2.44	6.05	8.73	7.84	7.01	5.09	3.19
Madre de Dios	1.00	2.02	1.36	1.21	1.36	4.31	1.00
Moquegua	3.52	2.71	1.48	1.18	1.87	6.53	3.37
Pasco	3.56	2.51	2.66	2.51	1.11	1.26	3.35
Piura	6.39	10.00	7.01	9.37	8.15	4.98	7.44
Puno	2.40	4.44	5.10	4.34	3.31	3.79	2.74
San Martín	5.12	3.70	2.54	2.25	4.19	10.00	5.04
Tacna	2.84	4.25	3.04	2.57	3.88	8.09	3.12

Fuente: Transparencia Económica, [12], 2021

Diagrama de tallo y hojas

Lo primero que se hizo fue el análisis gráfico univariado, empezando por representar a cada una de las variables por medio de un diagrama de tallo y hojas. Tal como afirma Curts *et al.* (1988), «Tukey (1977) ideó el diagrama de tallo-y-hoja como un híbrido donde se combinan los aspectos visuales de un histograma con la información numérica que proporciona una tabla de distribución de frecuencias» (p.32) [5].

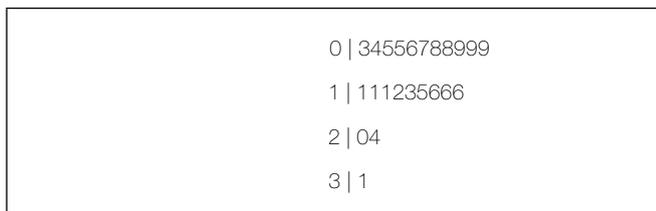


Figura 1. Diagrama de tallo y hojas de ejecución en 2019
Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Diagrama de tallo y hojas de ejecución en 2020
Fuente: elaboración propia.

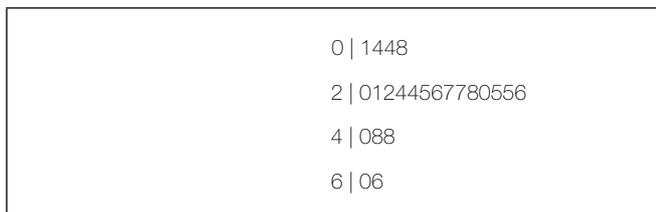


Figura 3. Diagrama de tallo y hojas de PIA
Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Diagrama de tallo y hojas de PIM
Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Diagrama de tallo y hojas de devengado
Fuente: elaboración propia.



Figura 6. Diagrama de tallo y hojas de avance
Fuente: elaboración propia.



Figura 7. Diagrama de tallo y hojas de ejecución total
Fuente: elaboración propia.

En la figura 1 sobre la ejecución presupuestal del año 2019, se observa la mayor tendencia en el tallo cero seguido de los tallos uno hasta tres que muestra solamente un valor; además, se puede señalar que la variabilidad o dispersión en relación con cada uno de los datos se orienta hacia la derecha de manera decreciente; en el caso de la figura 2 sobre la ejecución para el año 2020, la tendencia de los tallos cero como dos (que tienen una presencia de pares) cuentan con valores similares en cantidades desde 0 hasta 8 en el primer caso y nueve para el segundo tallo; en el caso del tercer tallo (4), solamente se cuenta con un valor de 9, siendo una situación atípica para esta variable. Con referencia a la figura 3 sobre el presupuesto institucional de apertura (PIA), los tallos se presentan desde cero hasta seis (presentados en pares) en la que se observa la forma de distribución apuntalada (platicúrtica) frente a la presencia de cuatro valores para cero, seguido de puntuaciones desde 0 hasta 8 y para el caso de los tallos cuatro y seis con tres y dos datos partiendo de cero hasta ocho con saltos directos en cada uno de los casos. En cuanto a la figura 4, la tendencia que se observa es de manera apuntalada desde el tallo cero con la presencia de tres datos y el caso de los tallos cuatro y seis que muestran de tres a cuatro apariciones y la diferencia es para el tallo dos con valores desde 2 hasta 8 como puntuación máxima. Para la figura 5 sobre devengado, la dispersión cuenta con un sesgo marcado hacia la derecha con puntuaciones presentadas para el tallo cero en dos partes que cuenta con 16 datos en la primera parte y seis para la segunda mitad, además se observa que el tallo uno presenta dos valores. La figura 6 sobre los avances muestra una distribución mesocúrtica con apariciones del tallo cero hasta dos contando el tallo uno con dos partes: doce en la primera mitad y cinco en la segunda parte, luego de la primera mitad va disminuyendo la frecuencia llegando a dos datos en el tallo dos. En el caso de la ejecución total que se presenta en la figura 7, se observa un sesgo hacia la derecha con valores de los tallos desde cero con la menor cantidad de apariciones y uno con la mayor frecuencia absoluta, luego en caída para dos y tres.

Gráfico de caja y bigotes

De acuerdo con Díaz & Morales [7], un gráfico de caja y bigotes consiste de «una caja, y guiones o segmentos. Se dibuja una línea a través de la caja que representa la mediana. El extremo inferior de la caja es el primer cuartil (Q_1) y el superior el tercer cuartil (Q_3)» (p.10).

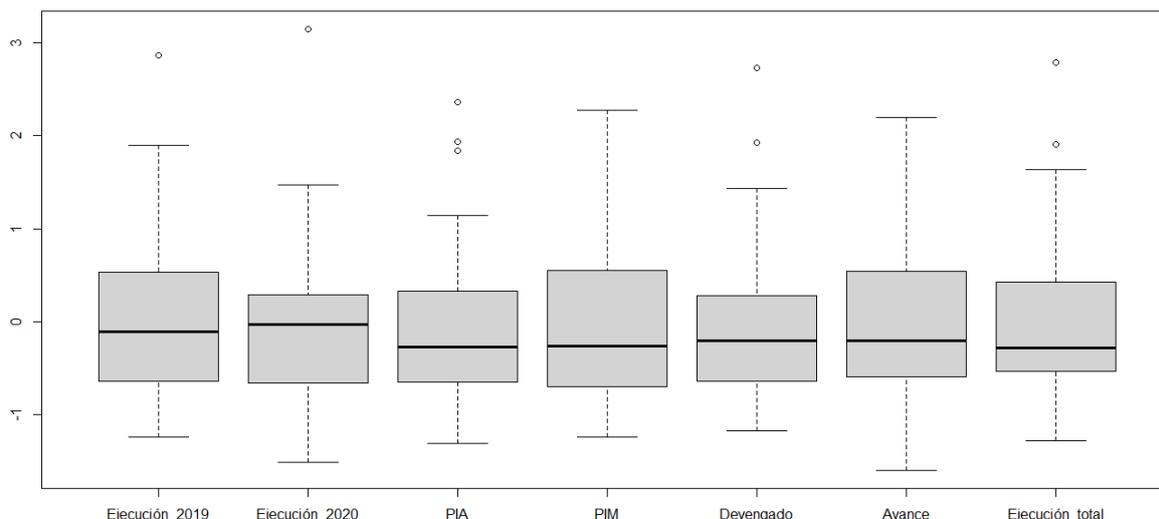


Figura 8. Gráfico de caja y bigotes para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

En la figura 8, se puede observar en primer lugar la supuesta distribución normal de los valores para cada una de las variables y su presencia en los diversos cuartiles, así como los valores atípicos para cada una de las variables producto del análisis. En relación con la distribución de la normalidad para los cuartiles, la variable devengado presentan mejor distribución de los cuartiles entre los valores del rango intercuartil con dos valores atípicos en el extremo superior, luego se encuentra el PIA con distribuciones más uniformes para los cuartiles y con tres valores atípicos que se presentan en los extremos superiores. Los valores que presentan mayor cantidad porcentual en el segundo cuartil en adelante están considerados en la ejecución del año 2019 y la ejecución total con un valor atípico en cada uno de los casos; en cuanto al mismo sentido del segundo cuartil, con mayor porcentaje se encuentra el PIM y el avance que no presentan valores atípicos.

En cuanto a los valores con mayor presencia por debajo del segundo cuartil, se ubica la ejecución del año 2020 y con un valor atípico en el extremo superior. Asimismo, la variable que cuenta con mayor cantidad de valores atípicos es PIA, con tres. Con respecto al sesgo, la ejecución del año 2019, el PIM y el avance presentan sesgos hacia la derecha.

Diagrama de dispersión

Los diagramas de dispersión «son gráficos en los cuales se representan los individuos u objetos por puntos asociados a cada par de coordenadas (valores de cada par de variables)» (p.9) [7]. Estos gráficos buscan una posible asociación lineal entre dos pares de variables. Se implementó este tipo de gráficos en uno solo conocido como matriz de dispersión de datos.

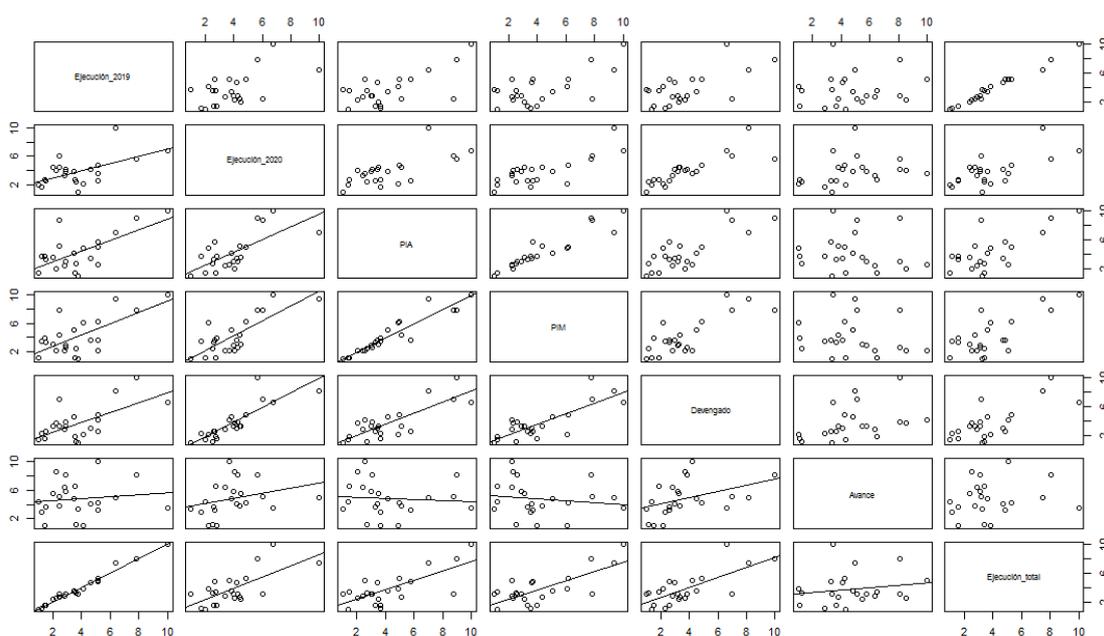


Figura 9. Matriz de dispersión para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 9, se puede observar una cierta asociación lineal entre las variables PIM y PIA; con respecto a las variables PIM y devengado, existe un indicio de alguna asociación lineal entre ellas y en el resto de las variables comparadas de dos a dos se observa una dispersión marcada entre ellas.

Dendrograma

Seguidamente se hizo un análisis gráfico multivariado empezando por un dendrograma. De acuerdo con Peña [15] «el dendrograma

o árbol jerárquico, es una representación gráfica del resultado del proceso de agrupamiento en forma de árbol» (p.245). La principal utilidad de este tipo de gráfico es buscar similitudes entre las observaciones para buscar formar agrupamientos mediante el uso de una distancia ultramétrica [15]. Por medio de la función hclust del paquete stats de R, se puede implementar un dendrograma [3]. A continuación, se muestra el dendrograma para las variables en estudio:

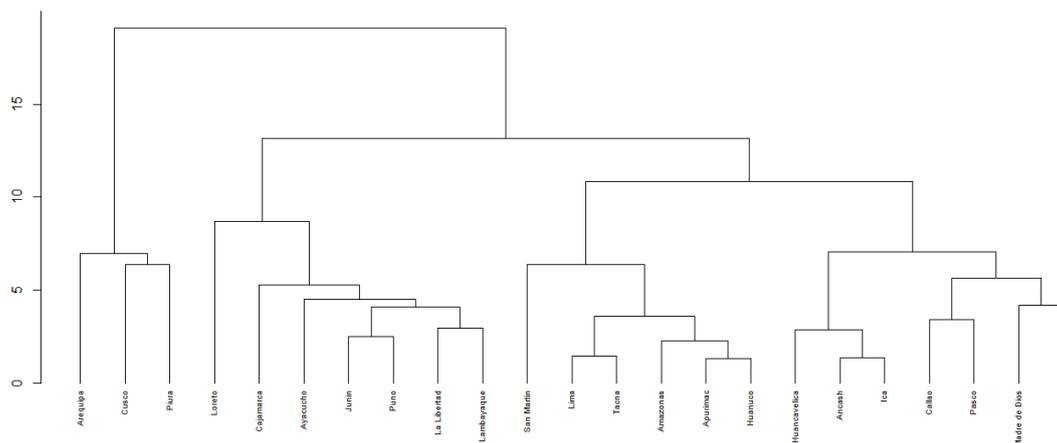


Figura 10. Dendrograma para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

El nivel de similitud se mide en el eje vertical (alternativamente se puede mostrar el nivel de distancia) y las diferentes variables se especifican en el eje horizontal. La figura 10 muestra la existencia de dos conglomerados iniciales que tienen un corte en la puntuación 13 en el nivel de similitud; se puede observar, luego, que hay cuatro subgrupos bien conformados al tener la línea de corte en el valor 9 para cada uno de los conglomerados.

Podemos utilizar la técnica de agrupamiento no supervisado llamada k-means para verificar lo mostrado por el dendrograma. El coeficiente de aglomeración nos permite medir esto; valores cercanos a 1 sugieren una buena agrupación [10].

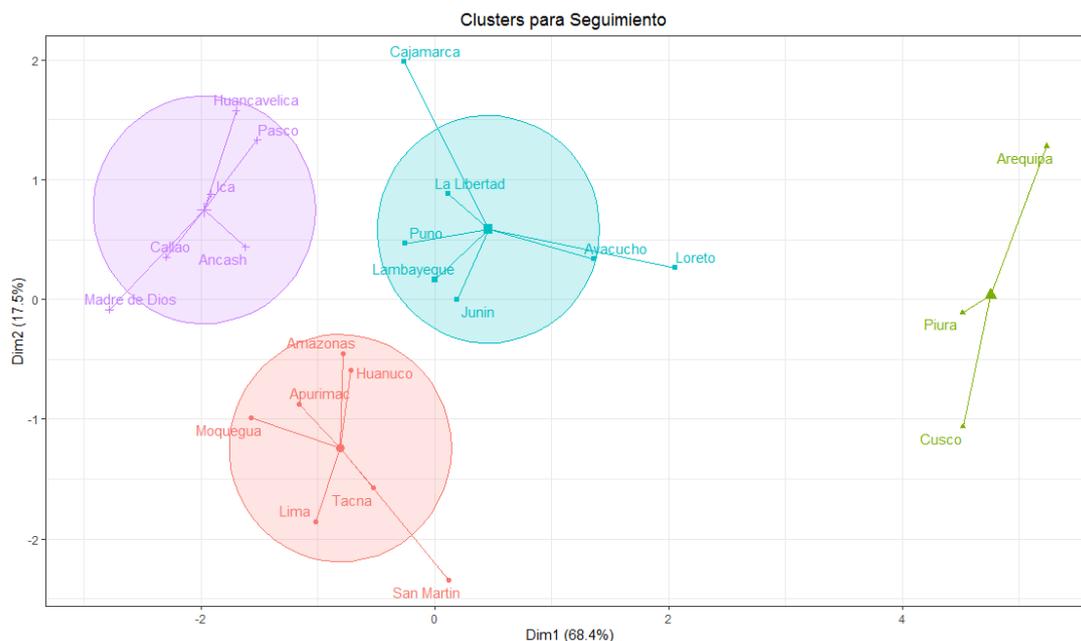


Figura 11. Clústeres para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 11, se pueden apreciar los 4 conglomerados que nos sugería el dendrograma. El valor del coeficiente de aglomeración resultó ser 0.8086, lo cual nos indicaría que los agrupamientos son buenos. Cabe resaltar que se proyectaron sobre un plano bidimensional dichos conglomerados para poder observarlos. Por ejemplo, el clúster formado por Arequipa, Cusco y Piura es el que más se diferencia de los demás y se caracteriza por presentar los mayores valores para la ejecución 2020, PIA y PIM.

Caras de Chernoff

Otro tipo de gráficos estadísticos utilizados en análisis multivariados con las caras de Chernoff. Estos asocian a cada variable una característica del rostro como la longitud de la nariz, tamaño de los ojos, forma de los ojos, ancho de la boca entre otros [7]. Se buscarán similitudes entre cada una de las observaciones por medio de estos gráficos.

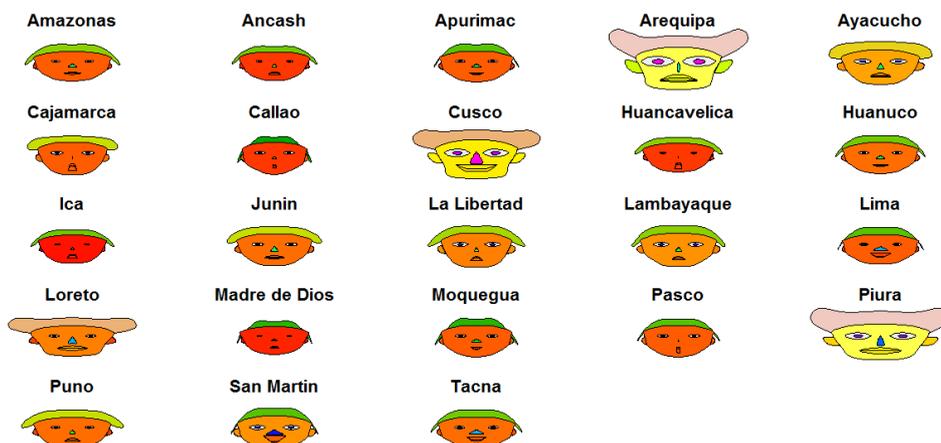


Figura 12. Caras de Chernoff para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

En la figura 12, se observa que el PIM se presenta con mayor similitud para los departamentos de Arequipa y Piura; en el caso del PIA y el PIM, se cuenta con similitudes para los departamentos de Cusco y Loreto. En el caso Apurímac con Tacna, los valores de la ejecución del año 2019 y la PIA cuentan con similitudes próximas en cada caso. En cuanto a los departamentos de Amazonas y Huánuco, las similitudes halladas se encuentran en la ejecución del año 2019, el PIA, el PIM y el devengado, como aspectos más relevantes. El departamento de Moquegua y la provincia constitucional del Callao son los que presentan mayores similitudes en la Ejecución presupuestal del año 2019.

Curvas de Andrews

Las curvas de Andrews, propuestas por Andrews (1972), se definen como las combinaciones lineales de observaciones de

un conjunto de datos multivariado. Cada una de ellas se asocia a un coeficiente de una serie de Fourier [7].

$$x_i(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}x_{i1} + \text{sen}(t)x_{i2} + \text{cos}(t)x_{i3} + \text{sen}(2t)x_{i4} + \dots$$

$t \in [-\pi, \pi]$

Es importante el orden en el cual se colocan las variables puesto que, si hay un número grande de variables, las últimas no contribuirán mucho en la forma de la curva. Así, al hacer un análisis a través de curvas de Andrews, será necesario ordenar previamente las variables según la cantidad de información que aporta cada una de ellas.

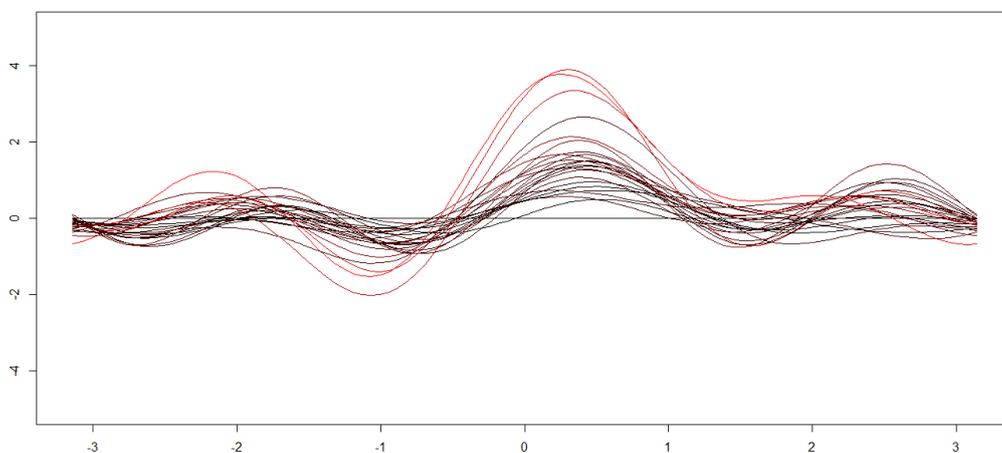


Figura 13. Curvas de Andrews para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las variables escaladas para las estimaciones de los datos para cada una de las siete variables en estudio se han considerado como parte del análisis de seguimiento a través de la curva de Andrews. En la figura 13, se puede observar que la magnitud de cada variable estudiada por los diversos departamentos, incluyendo la provincia constitucional del Callao, de forma individual afecta las frecuencias, la amplitud y la periodicidad de la función de forma individual.

Gráfico de estrella

Los gráficos de estrella se utilizan para representar datos multivariados. Balzarini *et al.* [2] afirman que, para construir este tipo de gráficos, «una observación p-dimensional es representada en el plano por una estrella construida sobre un círculo con p radios o rayos igualmente espaciados que nacen desde el centro del círculo. La longitud de la estrella sobre cada radio representa el valor de la variable asociada al rayo» (p.16). Así, se realizó también la representación gráfica para cada variable.

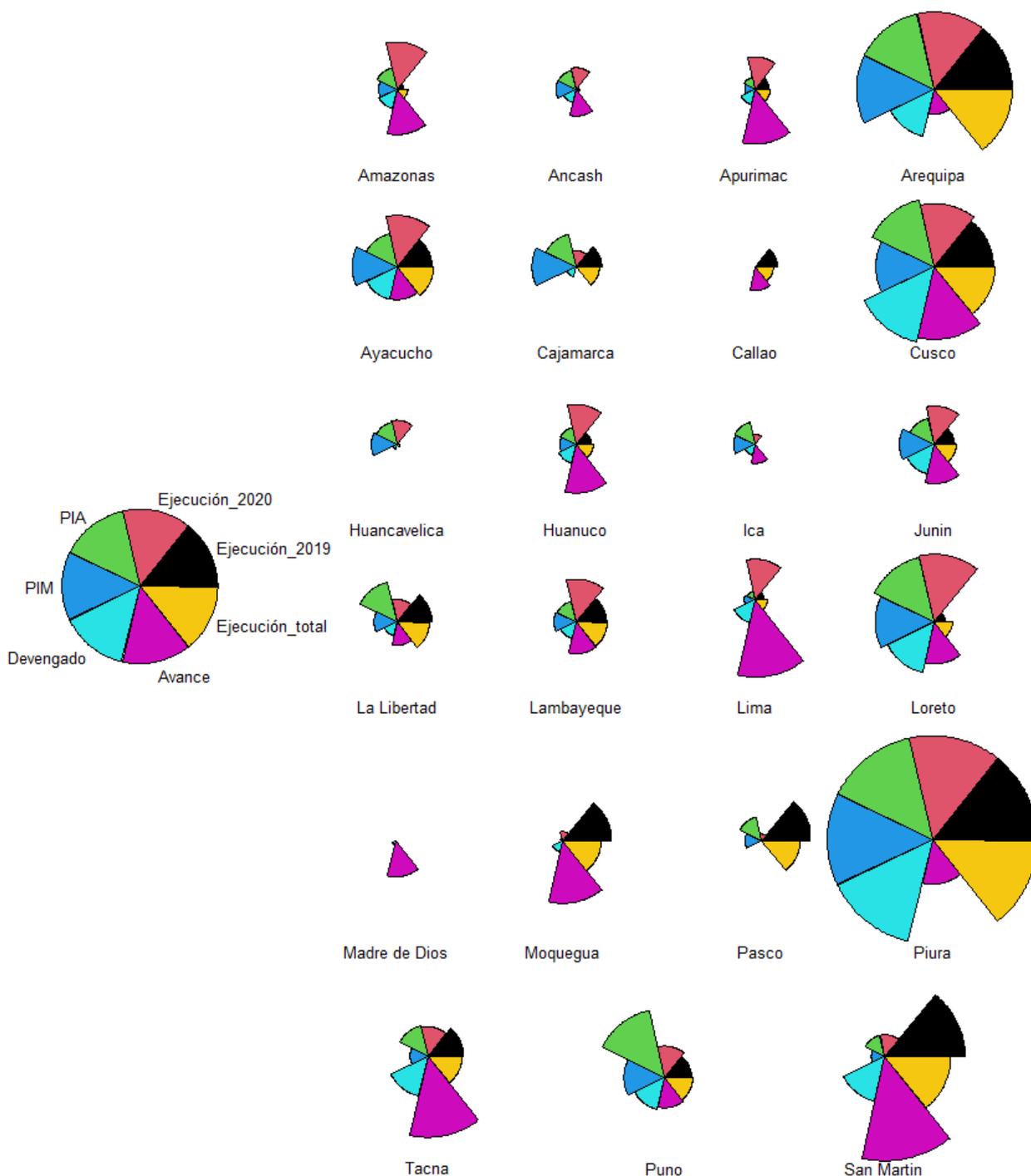


Figura 14. Gráficos de estrella para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

Los resultados del gráfico de estrella nos permiten reconocer los valores atípicos o similares que se encuentran dentro de cada unidad de evaluación y los lugares que son muestreados para los resultados multivariados, donde la figura 14 es una representación de existencia de valores atípicos en los departamentos Amazonas, Huánuco, Lima, Madre de Dios, San Martín, Áncash y, en menor escala, para Junín. En cuanto a la ejecución total, se observan valores atípicos en el departamento de Piura. En la ejecución del año 2019, el departamento de Ica presenta valores por debajo de los normales al igual que en Huancavelica. En la ejecución del año 2020, los departamentos de Amazonas, Áncash, Cajamarca, Provincia del Callao y La Libertad son los que presentan valores atípicos por debajo de las puntuaciones normales. En cuanto al PIA, La Libertad cuenta con valores atípicos y con el caso de los devengados y la PIM no se determinan muchas variaciones entre valores atípicos.

Gráfico de radar

Es similar al gráfico de estrella, pero colocando una variable en cada estrella y no para cada unidad de observación, donde son identificadas dichas unidades como rayos concéntricos [18]. Esto representa una desventaja, ya que, en caso de contar con muchas variables u observaciones, este se vería muy saturado. De acuerdo con la *Guía para representar datos estadísticos* del INEI [9], «Se basan en la aplicación de ejes radiales con origen común y escalas estandarizadas. Cada eje se utiliza para indicar el valor de un indicador específico. Regularmente se representan indicadores distintos con valores previamente estandarizados para fines de comparación» (p.45).

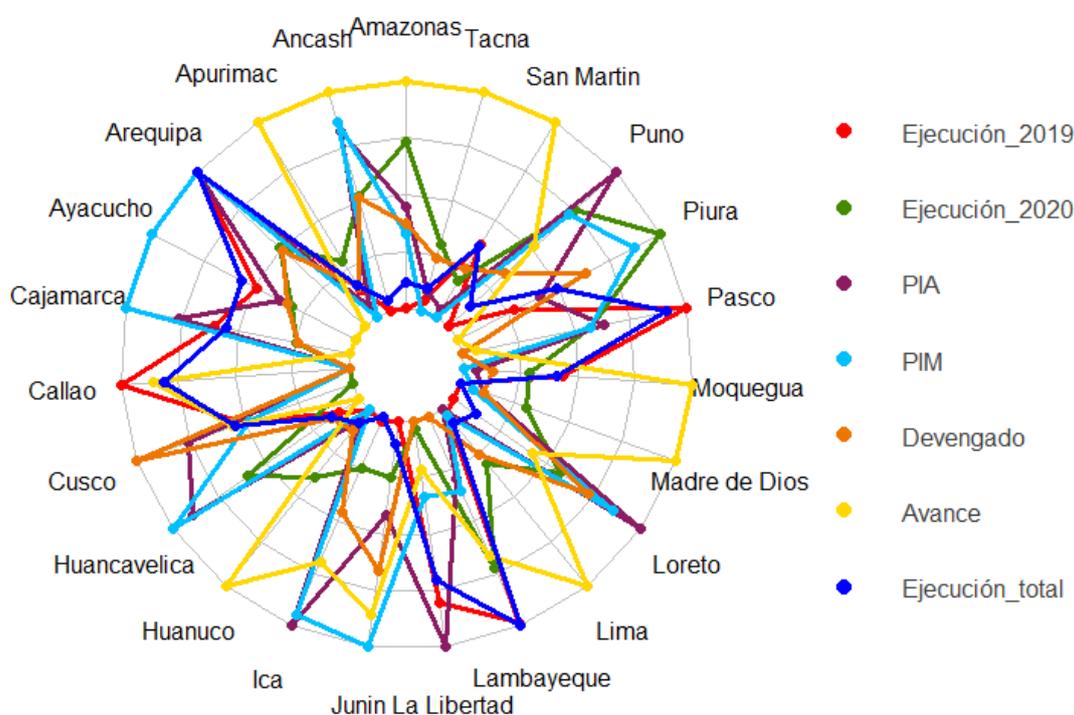


Figura 15. Gráficos de radar para el seguimiento de ejecución de proyectos de inversión en Perú, 2021
Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, podemos observar el gráfico de radar para las 7 variables estudiadas. Por ejemplo, se aprecia que con respecto a la variable avance los departamentos con los valores más altos son Amazonas, Áncash, Apurímac, Tacna, San Martín, Moquegua, Madre de Dios, Lima y Huánuco. Para el caso de la variable PIM, los departamentos que presentan los mayores valores son Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Ica y Junín.

CONCLUSIONES

- El análisis observacional multivariante aplicado a las variables macroeconómicas mediante gráficos permite identificar rápidamente las similitudes entre las unidades de estudio, con ello se puede desarrollar su clasificación o agrupación en clústeres; además de determinar los valores atípicos.

- Si bien las representaciones gráficas son de bastante utilidad a un nivel exploratorio, es necesario llevar a cabo pruebas de hipótesis para confirmar lo que muestran los gráficos, esto no es parte de los objetivos del trabajo presentado aquí, pero se podría abordar en un futuro
- De acuerdo con los gráficos de caja y bigotes obtenidos para cada una de las variables estudiadas, lo más resaltante ha sido que los PIA y los devengados tienen aproximadamente una distribución simétrica, lo cual sería útil para realizar contrastes estadísticos; aunque en el resto de las variables las distribuciones no tienden a la simetría. El PIA y el devengado del departamento de Cusco resultaron atípico en ambos casos; esto nos indicaría que estos valores son muy diferentes para este departamento con respecto a los otros.

- Mediante los diagramas de dispersión, observamos que existe un cierto grado de relación directa entre el PIA y PIM, es decir, si aumenta la PIA, también aumenta el PIM. Algo similar sucede entre las variables PIM y devengado. Se podría aplicar un análisis de regresión lineal simple para encontrar una ecuación de regresión validando los supuestos de este modelo.
- El dendrograma nos mostró de que existen indicios de la conformación de 4 conglomerados entre los departamentos. Es por ello que se realizó un agrupamiento no supervisado (k-means) y mediante el coeficiente de aglomeración, cuyo valor es 0.8086. En ese sentido, podemos concluir que los agrupamientos son buenos. De todos ellos, el que se diferencia más fue el conformado por los departamentos de Arequipa, Cusco y Piura que presenta los mayores valores para la ejecución 2020, PIA y PIM.
- Tanto las caras de Chernoff como los gráficos de estrella nos permiten ver que las observaciones correspondientes a los departamentos de Arequipa, Piura y Cusco se diferencian bastante de los otras. Eso lo notamos también cuando se hizo el análisis de conglomerados, ya que estas comparten características similares.
- Por último, con respecto al gráfico de radar, notamos que los departamentos que más destacan en avance son Amazonas, Áncash, Apurímac, Tacna, San Martín, Moquegua, Madre de Dios, Lima y Huánuco, mientras que los que menos ejecutaron fueron Callao, Ayacucho, Arequipa, Huancavelica y Piura, lo cual no llevaría a tomar medidas al respecto, puesto que Arequipa y Piura fueron los que más ejecutaron en el año 2020, pero con respecto al avance hasta junio de 2021, son los que menor porcentaje presentan.

- [9] INEI. (2009). *Guía para representar datos estadísticos*. Lima: Centro de Investigación y Desarrollo.
- [10] Jiménez, M. (2018). *Clustering jerárquico en R*. Obtenido de RPubS: <https://rpubs.com/mjimcua/clustering-jerarquico-en-r>
- [11] Malhotra, N. (2008). *Investigación de mercados*. México: Pearson Educación.
- [12] MEF. (2021). *Transparencia económica*. Recuperado el 8 de mayo de 2021, de https://apps5.mineco.gob.pe/bingos/seguimiento_pi/Navegador/default.aspx
- [13] Mostajo Guardia, R. (2002). El sistema presupuestario peruano. *CEPAL*.
- [14] Ocampo García, J., & Ospina Betancur, J. (2013). Análisis comparativo de Colombia frente a los nueve países más desarrollados según el IEPG, mediante el análisis multivariado y los gráficos pictóricos. *Journal of Engineering and Technology*, 2(2), 8-20.
- [15] Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: McGraw-Hill.
- [16] Rubio Donet, J. L. (2018). *Detección de datos multivariados atípicos con series finitas de Fourier*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [17] Sánchez Pedraza, R. (2000). Análisis de los datos mediante herramientas gráficas. *Revista de la Facultad de Medicina*, 48(2), 104-110.
- [18] Schiattino, I., & Silva, C. (2013). Representación gráfica de información multivariante. Aplicación al sistema de salud de Chile. *Revista Chilena de Salud Pública*, 17(2), 117-123.
- [19] Tam Málaga, J., Vera, G., & Oliveros Ramos, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y acción*, 5, 145-154.

REFERENCIAS

- [1] Actis di Pasquale, E., & Balsa, J. (2017). *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 23, 164-193.
- [2] Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M., & Teich, I. (2015). *Herramientas en el análisis estadístico multivariado*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- [3] Carmona, F. (2018). *Un análisis con R. Datos multivariantes*. Departament d'Estadística.
- [4] Correa, J., & González, N. (2002). *Gráficos estadísticos con R*. Recuperado el 20 de junio de 2021, de <https://cran.r-project.org/doc/contrib/grafi3.pdf>
- [5] Curtis G., J., Alcántara L., L., & Chiappa C., X. (1987). Introducción al análisis exploratorio de datos multidimensionales. *Ciencias*, 30-35.
- [6] Dagnino, J. (2014). Datos faltantes (missing values). *Revista Chilena de Anestesiología*, 43, 332-334.
- [7] Díaz Monroy, L. G., & Morales Rivera, M. A. (2012). *Análisis estadístico de datos multivariados*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [8] Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores.

ACERCA DEL AUTOR

José Luis Espinoza Melgarejo

Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Pedagógica de la Universidad San Pedro de Chimbote (USP), Perú; licenciado en Matemática de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Perú. Docente de educación superior con más de 6 años de experiencia laborando en instituciones como IDAT, Tecsup y la Universidad Privada del Norte. Ha desarrollado diversos cursos en matemática, estadística, finanzas entre otros. Especialista en estadística y ciencia de datos que cuenta con estudios de posgrado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Perú y actualmente estudiante de doctorado en Estadística Matemática de la Universidad Nacional del Santa (UNS), Perú.

@ jespinozame@tecsup.edu.pe

Recibido: 27-06-21
Revisado: 26-08-21
Aceptado: 08-09-21



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

La revista Investigación Aplicada e Innovación I+i se publica anualmente y tiene como objetivo principal difundir trabajos de investigación aplicados a la ingeniería y tecnología, con el fin de apoyar al sector productivo en la mejora de sus procesos, eficiencia de sus procedimientos e incorporación nuevas técnicas para fortalecer su competitividad. Las principales áreas temática son: Tecnología, Gestión, Procesos y Educación, teniendo subtemas en cada una de ellas.

Quienes pueden publicar:

Profesionales en ingeniería y tecnología, investigadores, docentes de educación superior, directivos académicos y especialistas en cualquiera de las temáticas que aborda la revista.

Convocatoria:

Los interesados en publicar en la revista I+i de Tecsup, deben enviar sus artículos de investigación al correo: investigacioneinnovacion@tecsup.edu.pe

REQUISITOS PARA LA PUBLICACIÓN

1.- Formato de presentación:

- Se aceptarán artículo escritos en idioma español, portugués o inglés.
- El artículo debe tener una extensión entre 7 y 14 páginas escritos a una sola columna.
- El interlineado será sencillo, fuente Tahoma o Arial, tamaño 11 puntos.
- Todos los márgenes son de 2,5 cm en tamaño de página A4.
- El artículo debe enviarse en formato Word, además de la versión en pdf.
- Las tablas, figuras y gráficas deberán incluirse con buena resolución y presentarse según los lineamientos de las Normas APA.
- Las ecuaciones deben estar bien definidas, digitadas y no presentadas como imágenes.

2.- Estructura del artículo:

- TÍTULO: Se colocará el título de la investigación en el idioma original y en inglés. El título no debe exceder de 12 palabras y debe dar cuenta del objeto de investigación.
- AUTORES: Es necesario nombres y apellidos completos de los autores y su afiliación académica e institucional.
- RESUMEN: Contenido breve del artículo en el idioma original e inglés, no debe exceder las 300 palabras. Evitar el uso de siglas, ecuaciones, tablas y fórmulas.
- PALABRAS CLAVES: Debe identificar los temas principales del artículo redactados en el idioma original e inglés, y presentados en orden de prioridad, no exceder de 08 palabras claves.
- INTRODUCCIÓN: Debe explicar el problema general, definir el tema investigado, definir los objetivos del estudio y generar interés al lector.
- FUNDAMENTOS: Presentar los antecedentes que fundamentan el estudio haciendo uso de citas. También debe describir el estudio de la investigación incluyendo premisas y limitaciones.
- METODOLOGÍA: Debe explicar cómo se llevó a la práctica el trabajo, justificando la elección de procedimientos y técnicas.
- RESULTADOS: Debe resumir la contribución del autor; presentar la información hallada y pertinente que se relaciona con los objetivos del estudio en forma comprensible y coherente; y debe mencionar todos los hallazgos relevantes, incluso aquellos contrarios a la hipótesis.
- CONCLUSIONES: Deben estar acorde a los objetivos del trabajo, responden a la(s) pregunta(s) de investigación planteadas en la introducción y a las interrogantes que condujeron a la realización de la investigación.
- REFERENCIAS: Incluir todas las fuentes mencionadas en el artículo. Es necesario el uso de referencias de autoridad, de carácter académico y de actualidad, incluidos en bases de datos especializadas. Su presentación es bajo el formato de una adaptación de las Normas APA para la revista I+i.
- ACERCA DEL AUTOR(ES): Incluir información profesional breve de cada autor (institución, labor que desempeña y correo electrónico).

3.- Proceso editorial de la revista:

- Recepción de resúmenes para evaluar si se aborda alguna de área temática de la revista.
- Recepción de artículo completo previamente seleccionados, el Comité Editorial realiza la revisión del cumplimiento del formato y estructura de presentación. Y se valida si el trabajo es inédito.
- Se verifica la originalidad del artículo a través de la herramienta Turnitin.
- Evaluación de artículos completos o arbitraje de artículos, consiste en la validación a cargo de dos especialistas en el tema, quienes recomendarán o no la publicación y opinan si el artículo es:
 - o *Publicable sin modificaciones*: El documento no tiene ningún tipo de observación de fondo y se publica como fue recibido.
 - o *Publicable con ligeras modificaciones*: El documento amerita fundamentalmente modificaciones de forma.
 - o *Publicable con modificaciones sustanciales*: El documento amerita algunas modificaciones de fondo corregibles.
 - o *No publicable*: el documento no es recomendado para su publicación.
- Los artículos aceptados para publicación pasan por un proceso de corrección de estilo y ortografía en coordinación con los autores dentro de los plazos que se estimen.
- Concluidos todos los procesos de revisión y aceptación se procede con la diagramación e impresión de la revista.

Para más información puede revisar el sitio web de la Revista I+i en <https://www.tecsup.edu.pe/revista>



Se terminó de imprimir en los talleres gráficos de
Tarea Asociación Gráfica Educativa
Pasaje María Auxiliadora 156 - Breña
Correo electrónico: tareagrafica@tareagrafica.com
Página web: www.tareagrafica.com
Teléf. 424-8104 / 424-3411
Diciembre, 2021
Lima - Perú



Tecsup

Sede Norte

Mz. A Sub lote 1 Urbanización Tecsup
Víctor Larco Herrera, Trujillo - Perú
informestrujillo@tecsup.edu.pe

T. (044) 485420

Sede Centro

Av. Cascanueces 2221
Santa Anita, Lima - Perú
informeslima@tecsup.edu.pe

T. (51-1) 317-3900

Sede Sur

Urb. Monterrey Lote D-8
José Luis Bustamante y Rivero,
Arequipa - Perú
informesarequipa@tecsup.edu.pe

T. (54) 426610

F. (54) 426654

www.tecsup.edu.pe

