

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL IX

 EDITORA
ARTEMIS
2026

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL IX

 EDITORA
ARTEMIS
2026



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores.

Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, **conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.**

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Xosé Somoza Medina
Imagem da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha



Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
 Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
 Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
 Prof.^a Dr.^a Emilias Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina
 Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
 Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
 Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
 Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
 Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
 Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
 Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
 Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
 Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
 Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
 Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
 Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
 Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
 Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
 Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil



Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil

Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Prof.^a Dr.^a M^aGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba

Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil

Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha

Prof.^a Dr.^a Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México

Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil

Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru

Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil

Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil

Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil

Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil

Prof.^a Dr.^a Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia

Prof.^a Dr.^a Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha

Prof.^a Dr.^a Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal

Prof.^a Dr.^a Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal

Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental,
Cultural e Socioeconômico IX [livro eletrônico] /
Organizador Xosé Somoza Medina. – 1. ed. – Curitiba,
PR: Editora Artemis, 2026.
il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-30-7

DOI 10.37572/EdArt_280926307

1. Ciência e tecnologia. 2. Meio ambiente. 3.

Desenvolvimento sustentável. I. Somoza Medina, Xosé.

CDD 600

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Editora Artemis

Curitiba-PR Brasil

www.editoraartemis.com.br

e-mail: publicar@editoraartemis.com.br

PRÓLOGO

Un nuevo volumen de la serie ***Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico***, el noveno ya, nos permite volver a reflexionar sobre los avances científico-tecnológicos y la transferencia de conocimientos a la sociedad. La ciencia y la tecnología ocupan hoy un lugar central en la comprensión y transformación de los distintos ámbitos de la vida contemporánea, pero tan importante es el avance en sí como la creciente posibilidad de difusión de esas innovaciones. El desarrollo actual no se limita a la creación de nuevos dispositivos, procesos o sistemas, sino que se manifiesta también en la capacidad de analizar problemas complejos, optimizar recursos, generar soluciones sostenibles, fortalecer la formación científica y ampliar las formas de interacción entre conocimiento, sociedad y desarrollo. Este libro es un buen ejemplo de esto último.

El presente volumen, ***Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico IX***, reúne investigaciones que reflejan esta diversidad de aplicaciones a la sociedad de diferentes avances científicos y técnicos. Los capítulos aquí presentados abordan problemas y aplicaciones diversas, pero comparten una misma orientación: la búsqueda de respuestas actuales a situaciones problemáticas fundamentadas desde la ingeniería, la innovación tecnológica, la ciencia de materiales, la energía, el ambiente, la inteligencia artificial, la formación científico-tecnológica, o la comunicación de la ciencia.

La obra se organiza en tres grandes ejes temáticos.

El primero, ***“Ingeniería, Metodologías y Procesos Tecnológicos”***, reúne seis trabajos vinculados con modelado dinámico, robótica, diagnóstico técnico mediante vibraciones, procesos de corte y manufactura, mejora de la productividad industrial, estudio de materiales y biopolímeros y metodología de investigación en ingeniería. Estos capítulos evidencian el papel de la tecnología en la modelización, experimentación y optimización de procesos y la importancia de los avances metodológicos en el desarrollo de soluciones aplicadas a contextos industriales y científicos.

El segundo eje, ***“Energía y Sostenibilidad”***, integra cinco investigaciones relacionadas con la generación de energía mediante microturbinas hidráulicas, el aprovechamiento de la energía de las mareas, la exposición a contaminantes derivados del uso de biomasa como fuente de energía, la importancia de las plantas medicinales en la dieta y en la cultura tradicional y los nuevos enfoques de la comunicación pública sobre energía nuclear. En conjunto, estos estudios muestran cómo la energía, cualquier tipo de energía, es un ámbito del conocimiento científico y técnico de importancia clave en

nuestra sociedad actual. La energía importa, más que nunca, y la ciencia y la tecnología pueden contribuir tanto al aprovechamiento responsable de los recursos naturales como a la comprensión de sus impactos ambientales y sociales.

El tercer eje, **“Formación y Comunicación en la era de la Inteligencia Artificial”**, amplía el campo de análisis hacia otro ámbito de total actualidad científica y tecnológica, la Inteligencia Artificial. Los seis trabajos reunidos en esta sección examinan el rendimiento académico a través de análisis estadísticos avanzados, el uso de podcasts como herramientas de desarrollo socioemocional docente, la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión pública, las dificultades en el aprendizaje por la falta de pensamiento lógico-matemático en una muestra de estudiantes de ingeniería de sistemas computacionales, un modelo de análisis multivariante para evaluar el proceso de aprendizaje y el uso de mundos virtuales para mejorar las capacidades del profesorado. Este conjunto de contribuciones permite observar cómo las tecnologías digitales y la Inteligencia Artificial no solo modifican procedimientos técnicos, sino también las formas de enseñar, aprender y construir significado en el mundo académico.

La diversidad de enfoques presente en esta obra constituye uno de sus principales aportes. Lejos de entender la ciencia y la tecnología como campos aislados, los trabajos aquí reunidos muestran su carácter transversal y su capacidad para dialogar con cuestiones ambientales, educativas, sociales, productivas y culturales.

Esperamos que este volumen contribuya al intercambio de conocimientos, al fortalecimiento de nuevas investigaciones y a la difusión de experiencias y propuestas capaces de ampliar las posibilidades de desarrollo científico y tecnológico en diferentes contextos.

Xosé Somoza Medina

Universidad de León, España

SUMÁRIO

ENGENHARIA, METODOLOGIAS E PROCESSOS TECNOLÓGICOS

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISIS DEL MODELO DINÁMICO DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO INDUSTRIAL EN REFERENCIA AL DISEÑO DE SU SISTEMA DE CONTROL

Alejandro Armando Hossian

Roberto Carabajal

Carolina Hirschfeldt

Emanuel Maximiliano Alveal

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263071

CAPÍTULO 2..... 16

APPLICATION OF VIBRATION EFFECTS IN TECHNICAL DIAGNOSTICS AND IDENTIFICATION

Vitalijs Beresnevics

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263072

CAPÍTULO 3.....32

CORTE POR CIZALLAMIENTO DE UNA SILUETA CIRCULAR BAJO CONDICIONES DE MÍNIMO Y MÁXIMO MATERIAL

Pedro de Jesús García Zugasti

Enrique Alejandro Vázquez Hernández

José de Jesús Navarro Delgado

Yolanda Rodríguez Corpus

Juan Compeán Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263073

CAPÍTULO 4..... 46

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA ERIM PARA INCREMENTO DE PRODUCCIÓN EN ÁREA DE ACABADO DE ROTORES

Enrique Alejandro Vázquez Hernández

Pedro de Jesús García Zugasti

Juan Gabriel Sandoval Granja

Gerardo García Liñán

Luis Antonio Renovato Rivera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263074

CAPÍTULO 5..... 58

ROLE OF THE INTERACTION AMYLOSE-NANOCELLULOSE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MOISTURE SORPTION OF MAIZE STARCH

Ignacia González

Makarena Jiménez

Paulo Díaz-Calderón

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263075

CAPÍTULO 6..... 72

CONSTRUCCIÓN DEL MARCO TEÓRICO EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA: REVISIÓN NARRATIVA Y ORIENTACIONES DIDÁCTICAS PARA ESTUDIANTES DE LICENCIATURA

Javier Montoya Ponce

Bertha Ivonne Sánchez Luján

María Teresa Martínez Acosta

María Guadalupe Amado Moreno

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263076

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

CAPÍTULO 7..... 98

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE MICROTURBINAS HIDRÁULICAS

Nelson Ramiro Gutiérrez Suquillo

Luis Miguel Sánchez Muyulema

Jonnathan Ismael Chamba Cruz

Guillermo Raúl Tumalli Naranjo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263077

CAPÍTULO 8..... 114

ENERGÍA DE LAS MAREAS, AGUA Y AIRE

Antonio Rabina Merelas

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263078

CAPÍTULO 9.....128

EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS POR EL USO DE LEÑA EN LA COMUNIDAD LA MARCELA, MIQUIHUANA, TAMAULIPAS

Lorenzo Heyer Rodríguez

Valeria Navarro López

Bárbara Azucena Hernández Macías

Elizabeth del Carmen Andrade Limas

Jacinto Treviño Carreón

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263079

CAPÍTULO 10..... 148

TALLER SOBRE FARMACIA Y COCINA VIVIENTE EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA SIERRA DE HUAUTLA

Amanda Ortiz Sánchez

Angélica María Alemán Octaviano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630710

CAPÍTULO 11.....159

BEYOND PUBLIC ACCEPTANCE: REFRAMING NUCLEAR ENERGY COMMUNICATION IN INDONESIA

Muhammad Yunus Zulkifli

Yunita Permatasari

Atika Ratna Sari

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630711

FORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

CAPÍTULO 12171

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIANTES: UN ENFOQUE REPRODUCIBLE CON RMARKDOWN

Alberto Hananel Baigorria

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630712

CAPÍTULO 13..... 194

EL PODCAST EDUCATIVO COMO DISPOSITIVO DE AUDIO-MEDIACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIOEMOCIONAL DOCENTE: ARQUITECTURA, MODELO ECOS Y CONSIDERACIONES ÉTICAS PARA EL DISEÑO DE APPS DE PODCAST SEL

Paula Correa-Gutiérrez

Fabiola Sáez-Delgado

Pilar Jara-Coatt

Natalia Zañartu-Canihuante

Felipe Albarrán-Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630713

CAPÍTULO 14..... 217

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA GESTIÓN PÚBLICA: INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y CALIDAD DEL SERVICIO AL CIUDADANO

José Ángel Meneses Jiménez

Manuel Rocha Gonzales

Raul Hernando Aguado Apolaya

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630714

CAPÍTULO 15..... 230

DIFICULTADES EN LA RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS Y HABILIDADES MATEMÁTICAS DE ESTUDIANTES EN LA MATERIA DE LENGUAJES Y AUTÓMATAS I

María Eugenia Carreón Romero

Emmanuel Vázquez Benito

Roberto Carlos Carreón Romero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630715

CAPÍTULO 16..... 243

ANÁLISIS MULTIVARIANTE DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO MEDIANTE R: UN ENFOQUE PRÁCTICO Y REPRODUCIBLE

Alberto Hananel Baigorria

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630716

CAPÍTULO 17268

COMPUTACIÓN AFECTIVA Y DISEÑO TECNOPEDAGÓGICO DE SISTEMAS DE MUNDO VIRTUAL PARA EL ENTRENAMIENTO SOCIOEMOCIONAL DOCENTE: REQUERIMIENTOS, COMPONENTES, PARÁMETROS DE INMERSIÓN Y EL MODELO SEED DE DESARROLLO PSICOEMOCIONAL SIMULADO

Fabiola Sáez-Delgado

Pilar Jara-Coatt

Javier Mella-Norambuena

Paulo César Coronado-Sánchez

Paula Correa-Gutiérrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630717

SOBRE O ORGANIZADOR.....295

ÍNDICE REMISSIVO296

CAPÍTULO 16

ANÁLISIS MULTIVARIANTE DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO MEDIANTE R: UN ENFOQUE PRÁCTICO Y REPRODUCIBLE

Data de submissão: 26/08/2026

Data de aceite: 10/09/2026

Alberto Hananel Baigorria

Filiación Institucional: Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo
Facultad de Ingeniería
Chiclayo, Lambayeque, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4113-8623>

RESUMEN: Este capítulo presenta un enfoque práctico y reproducible para el análisis estadístico y multivariante del rendimiento académico mediante R. A partir de una base educativa compuesta por 150 observaciones y 29 variables, se desarrolla un recorrido progresivo que integra estadística descriptiva, pruebas de hipótesis, análisis de varianza, regresión múltiple, mediación, modelos de ecuaciones estructurales, análisis factorial exploratorio, análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y Caras de Chernoff. El capítulo adopta una orientación aplicada, mostrando el código esencial, las salidas más relevantes y pautas para su interpretación. La secuencia permite conectar procedimientos que habitualmente se presentan de forma aislada y mantener la trazabilidad entre datos, código, resultados e interpretación. Finalmente, se incorpora un apéndice metodológico que sintetiza los

principales comandos empleados y facilita la reproducción del recorrido analítico.

PALABRAS CLAVE: análisis multivariante; rendimiento académico; R; reproducibilidad; estadística aplicada.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROPÓSITO Y ALCANCE DEL CAPÍTULO

El análisis multivariante permite estudiar conjuntamente múltiples variables y explorar relaciones y estructuras que difícilmente pueden identificarse mediante el examen aislado de cada variable (Hair et al., 2019; Rencher & Christensen, 2012). En el ámbito del rendimiento académico, la integración de procedimientos descriptivos, inferenciales y multivariantes permite avanzar desde la exploración inicial de los datos hasta la identificación de dimensiones y perfiles de estudiantes. R proporciona un entorno adecuado para articular estas etapas dentro de un mismo flujo de análisis.

Este capítulo presenta un enfoque práctico y reproducible para analizar datos educativos mediante R. Se utiliza una base de 150 observaciones y 29 variables relacionadas con evaluaciones y rendimiento académico.

El objetivo es mostrar, de forma secuencial, cómo implementar e interpretar procedimientos descriptivos, inferenciales y multivariantes dentro de un mismo flujo de trabajo, conservando el código esencial y sintetizando las salidas más relevantes. El recorrido se articula a partir de una secuencia de preguntas que acompañan el avance del análisis. En una primera etapa se examina cómo se distribuyen las calificaciones y si existen diferencias de rendimiento entre las metodologías consideradas. A partir de estos resultados, el análisis se orienta a determinar qué variables se relacionan con el promedio final y a examinar si la relación de la metodología con el rendimiento es directa o puede producirse indirectamente a través de otras variables de evaluación. Posteriormente, el interés se desplaza hacia la estructura multivariante de los datos, explorando la existencia de dimensiones latentes y la posibilidad de identificar perfiles de estudiantes. Finalmente, se aborda la representación conjunta de dichos perfiles mediante herramientas de visualización multivariante.

2. METODOLOGÍA

2.1. CONJUNTO DE DATOS Y ENTORNO DE TRABAJO

El análisis se desarrolla en R a partir del archivo `datos_seminario.csv`. La base contiene 150 observaciones y 29 variables de naturaleza numérica y categórica. Antes de iniciar la modelización se inspeccionan las primeras filas, la estructura de las variables y sus resúmenes básicos.

```
library(readr)
osteo <- read_csv("datos_seminario.csv", show_col_types = FALSE)
head(osteo)
```

Este bloque importa la base de datos desde un archivo CSV y muestra las primeras filas.

```
str(osteo)
summary(osteo)
```

Estos comandos permiten conocer la estructura de la base: tipo de variables, número de observaciones y resumen estadístico.

2.2. ESTRATEGIA DEL RECORRIDO ANALÍTICO

El recorrido se organiza de forma progresiva. Se inicia con la exploración descriptiva y gráfica de los datos; continúa con la comparación de grupos y las pruebas

de hipótesis; incorpora posteriormente ANOVA, regresión múltiple, mediación y modelos de ecuaciones estructurales; y culmina con correlaciones, análisis factorial, análisis de componentes principales, clustering y Caras de Chernoff. Esta secuencia permite utilizar cada procedimiento como una etapa del análisis y mantener la trazabilidad entre datos, código, resultados e interpretación.

3. RESULTADOS: DESARROLLO PRÁCTICO DEL ANÁLISIS EN R

3.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE UNA VARIABLE

Se tomó como ejemplo la variable `examen1`.

```
x <- osteo$examen1
resumen_x <- data.frame(
  Media = mean(x),
  DE = sd(x),
  Q1 = quantile(x, 0.25),
  Mediana = median(x),
  Q3 = quantile(x, 0.75),
  RIC = IQR(x)
)
knitr::kable(round(resumen_x, 2))
```

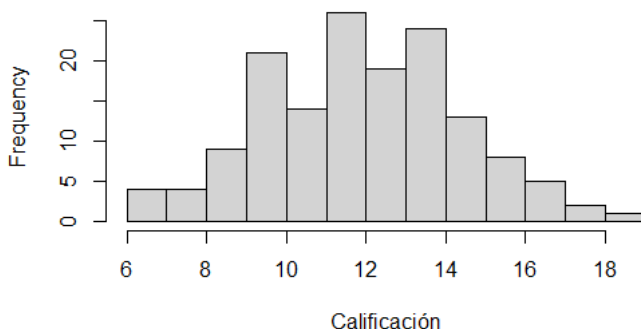
	Media	DE	Q1	Mediana	Q3	RIC
25%	12.42	2.51	10.54	12.36	14.07	3.53

El primer cuartil indica el valor por debajo del cual está el 25% de estudiantes. El tercer cuartil indica el valor por debajo del cual está el 75%. La diferencia entre ambos es el rango intercuartílico, que mide la variabilidad del 50% central de los datos.

3.2. TABLAS Y GRÁFICOS BÁSICOS

```
x <- round(x, 0)
hist(x, breaks = 10, main = "Distribución del primer examen", xlab = "Calificación")
```

Distribución del primer examen



El histograma resume la distribución de las calificaciones y permite valorar su forma general.

3.3. COMPARACIÓN ENTRE METODOLOGÍAS

Se separan los estudiantes según la metodología usada.

```
grupo1 <- subset(osteo, metodologia == "Tradicional")
grupo2 <- subset(osteo, metodologia == "Innovadora")

x1 <- grupo1$examen1
x2 <- grupo2$examen1
```

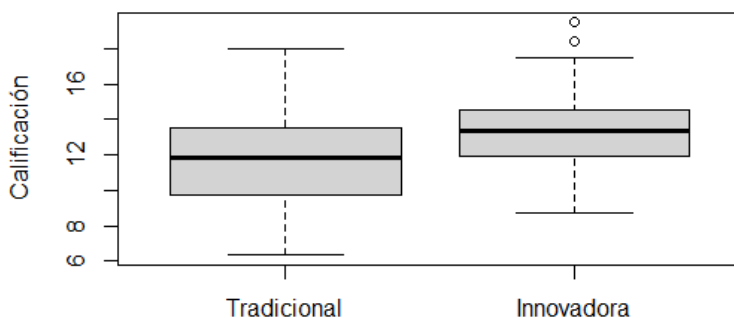
Aquí x1 contiene las notas del grupo tradicional y x2 las del grupo innovador.

```
medias_grupo <- data.frame(
  Metodologia = c("Tradicional", "Innovadora"),
  Media = c(mean(x1), mean(x2))
)

knitr::kable(
  medias_grupo,
  digits = 2
)
```

Metodologia	Media
Tradicional	11.61
Innovadora	13.26

```
boxplot(
  x1, x2,
  names = c("Tradicional", "Innovadora"),
  ylab = "Calificación"
)
```



3.4. PRUEBAS DE HIPÓTESIS

3.4.1. Normalidad

```
sh1 <- shapiro.test(x1)
sh2 <- shapiro.test(x2)
knitr::kable(data.frame(
  Grupo = c("Tradicional", "Innovadora"),
  W = c(unname(sh1$Statistic), unname(sh2$Statistic)),
  p = c(sh1$p.value, sh2$p.value)
), digits = 3)
```

Grupo	W	p
Tradicional	0.988	0.717
Innovadora	0.987	0.632

La prueba de Shapiro-Wilk evalúa si los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis:

H0: los datos siguen distribución normal. H1: los datos no siguen distribución normal.

Si el p-valor es mayor que 0.05, no se rechaza la normalidad.

3.4.2. Comparación de varianzas

```
vt <- var.test(x1, x2)
knitr::kable(data.frame(
  F = unname(vt$statistic),
  p = vt$p.value
), digits = 3)
```

F	p
1.494	0.087

Hipótesis:

H0: las varianzas son iguales. H1: las varianzas son diferentes.

3.4.3. Prueba t de Student

```
tt <- t.test(x1, x2, var.equal = TRUE)
knitr::kable(data.frame(
  t = unname(tt$statistic),
  gl = unname(tt$parameter),
  p = tt$p.value,
  Dif_media = mean(x1) - mean(x2)
), digits = 3)
```

t	gl	p	Dif_media
-4.264	148	0	-1.657

Hipótesis:

H0: las medias son iguales. H1: las medias son diferentes.

Si el p-valor es menor que 0.05, existe diferencia estadísticamente significativa entre grupos.

3.5. ANOVA PARA COMPARAR EL RENDIMIENTO SEGÚN METODOLOGÍA

```
anova1 <- aov(promedio_final ~ metodologia, data = osteo)
anova_tab <- summary(anova1)[[1]]
knitr::kable(anova_tab, digits = 3)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
metodologia	1	12.766	12.766	14.088	0
Residuals	148	134.114	0.906	NA	NA

El ANOVA permite evaluar si la metodología influye sobre el promedio final.

Hipótesis:

H0: el promedio final es igual en ambas metodologías. H1: el promedio final difiere según metodología.

Si el p-valor es menor que 0.05, se concluye que la metodología influye significativamente en el rendimiento.

3.6. TAMAÑO DEL EFECTO

```
eta2 <- 12.76617 / (12.76617 + 134.11401)
round(100 * eta2, 1)
## [1] 8.7
```

El tamaño del efecto mide qué porcentaje de la variabilidad del rendimiento es explicado por la metodología.

En este caso, la metodología explica aproximadamente el 8.7% del rendimiento, lo cual puede interpretarse como un efecto moderado en educación.

3.7. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

```
modelo <- lm(promedio_final ~ metodologia + examen1 + AV_EX + AV_PA, data = osteo)
coef_tab <- summary(modelo)$coefficients
knitr::kable(round(coef_tab, 3))
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	8.603	0.610	14.101	0.000
metodologiaTradicional	-0.174	0.121	-1.437	0.153
examen1	-0.060	0.045	-1.323	0.188
AV_EX	0.398	0.053	7.484	0.000
AV_PA	0.084	0.028	3.023	0.003

La regresión lineal múltiple permite examinar la relación entre una variable respuesta y un conjunto de variables explicativas, considerando simultáneamente su contribución al modelo (Montgomery et al., 2021).

Aquí se analiza si la metodología sigue siendo importante cuando se controlan otras variables como AV_EX y AV_PA.

Resultado conceptual:

La metodología parecía importante inicialmente. Pero al incluir las evaluaciones continuas, su efecto directo desaparece. Esto sugiere que la metodología podría actuar de forma indirecta.

3.8. PLANTEAMIENTO DE MEDIACIÓN

El análisis de mediación permite examinar si la relación entre una variable antecedente y una variable resultado puede operar a través de una o más variables intermedias (Hayes, 2022).

La hipótesis es:

metodología → evaluaciones continuas → promedio final

Es decir, la metodología mejora las evaluaciones continuas, y estas a su vez mejoran el promedio final.

```
m1 <- lm(AV_EX ~ metodologia, data = osteo)
m2 <- lm(AV_PA ~ metodologia, data = osteo)
med_tab <- rbind(
  AV_EX = summary(m1)$coefficients[2, c(1,2,4)],
  AV_PA = summary(m2)$coefficients[2, c(1,2,4)]
)
colnames(med_tab) <- c("Estimacion", "EE", "p")
knitr::kable(round(med_tab, 3))
```

	Estimacion	EE	p
AV_EX	-1.067	0.332	0.002
AV_PA	-1.000	0.331	0.003

Estos modelos evalúan si la metodología influye sobre las variables mediadoras.

3.9. MODELO SEM DE MEDIACIÓN

Los modelos de ecuaciones estructurales permiten estimar simultáneamente sistemas de relaciones entre variables y constituyen una extensión flexible de diferentes procedimientos de modelización multivariante (Kline, 2023). Para su estimación se utiliza en este capítulo el paquete lavaan de R (Rosseel, 2012).

```
library(lavaan)
library(semPlot)
```

lavaan sirve para ajustar modelos de ecuaciones estructurales. semPlot sirve para graficarlos.

```
osteo$metodologia_num <- ifelse(osteo$metodologia == "Tradicional", 0, 1)
```

Se convierte la metodología en variable numérica.

```
modelo_sem <- '
  AV_EX ~ a1*metodologia_num
  AV_PA ~ a2*metodologia_num

  promedio_final ~ cprime*metodologia_num + b1*AV_EX + b2*AV_PA

  indirecto_AVEX := a1*b1
  indirecto_AVPA := a2*b2
  indirecto_total := (a1*b1) + (a2*b2)
  total := cprime + (a1*b1) + (a2*b2)
'
```

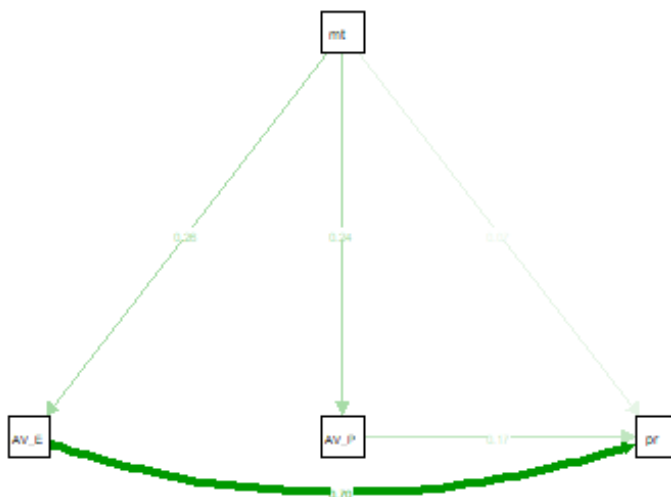
Este modelo estima: efecto de la metodología sobre AV_EX, efecto de la metodología sobre AV_PA, efecto de AV_EX y AV_PA sobre el promedio final, efecto directo de metodología sobre promedio final y efectos indirectos.

```
ajuste_sem <- sem(modelo_sem, data = osteo)
pe <- parameterEstimates(
  ajuste_sem,
  standardized = TRUE
)
sem_res <- subset(
  pe,
  op %in% c("~", "!="),
  select = c(lhs, op, rhs, est, se, pvalue, std.all)
)
knitr::kable(
  sem_res,
  digits = 3
)
```

	lhs	op	rhs	est	se	pvalue	std.all
1	AV_EX	~	metodologia_num	1.067	0.330	0.001	0.255
2	AV_PA	~	metodologia_num	1.000	0.328	0.002	0.241
3	promedio_final	~	metodologia_num	0.139	0.116	0.228	0.069
4	promedio_final	~	AV_EX	0.338	0.027	0.000	0.699
5	promedio_final	~	AV_PA	0.084	0.027	0.002	0.172
10	indirecto_AVEX	:=	a1*b1	0.360	0.115	0.002	0.178
11	indirecto_AVPA	:=	a2*b2	0.084	0.039	0.030	0.041
12	indirecto_total	:=	(a1b1)+(a2b2)	0.444	0.121	0.000	0.220
13	total	:=	cprime+(a1b1)+(a2b2)	0.584	0.158	0.000	0.289

Este resumen permite interpretar coeficientes estandarizados, ajuste del modelo y R². Finalmente se realiza el gráfico del modelo SEM.

```
semPaths(ajuste_sem,
  what = "std",
  whatLabels = "std",
  layout = "tree",
  residuals = FALSE,
  intercepts = FALSE)
```



Conclusión:

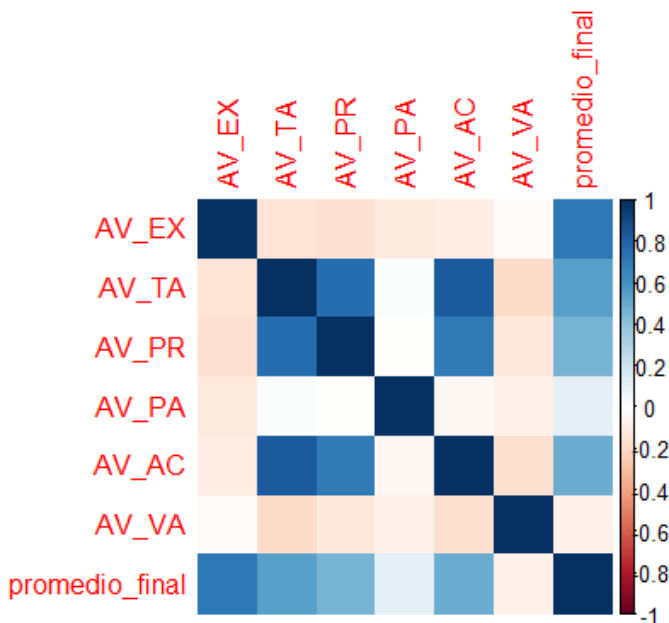
La metodología tiene un efecto directo reducido sobre el rendimiento final, pero influye indirectamente a través de las evaluaciones continuas.

3.10. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES DE EVALUACIÓN

```
variables <- osteo[, c("AV_EX", "AV_TA", "AV_PR", "AV_PA", "AV_AC", "AV_VA", "promedio_
final")]
```

```
library(corrplot)
```

```
corrplot(cor(variables), method = "color")
```



Interpretación:

Colores intensos indican correlaciones fuertes. Variables muy correlacionadas podrían medir dimensiones parecidas. Esto prepara el camino para análisis factorial y ACP.

3.11. COMPARACIÓN DE MODELOS

```
modelo_full <- lm(promedio_final ~ metodologia + examen1 + AV_EX + AV_PA, data = osteo)
```

```
modelo_reducido <- lm(promedio_final ~ metodologia + AV_EX + AV_PA, data = osteo)
```

```
comp <- anova(modelo_full, modelo_reducido)
```

```
knitr::kable(comp, digits = 3)
```

Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	Pr(>F)
145	65.527	NA	NA	NA	NA
146	66.318	-1	-0.791	1.751	0.188

Este ANOVA compara dos modelos anidados.

Hipótesis:

H0: la variable eliminada no aporta significativamente. H1: la variable eliminada sí aporta significativamente.

Si el p-valor es grande, se prefiere el modelo reducido por parsimonia.

```
ic <- data.frame(
  Modelo = c("Completo", "Reducido"),
  AIC = c(AIC(modelo_full), AIC(modelo_reducido)),
  BIC = c(BIC(modelo_full), BIC(modelo_reducido))
)
knitr::kable(
  ic,
  digits = 2
)
```

Modelo	AIC	BIC
Completo	313.46	331.52
Reducido	313.26	328.31

AIC y BIC comparan modelos considerando ajuste y complejidad.

Regla:

Menor AIC/BIC indica mejor modelo. Si la diferencia es pequeña, se prefiere el modelo más simple.

3.12. PREPARACIÓN PARA ANÁLISIS FACTORIAL

```
evaluaciones <- osteo[, c("examen1", "examen2", "examen3", "tarea1", "tarea2",
  "tarea3", "proyecto1", "proyecto2", "participacion",
  "presentacion", "actividad1", "actividad2", "AV_VA")]
```

Se seleccionan variables relacionadas con evaluación académica.

```
evaluaciones_reducido <-  
evaluaciones[, !names(evaluaciones) %in% c("participacion", "presentacion")]
```

Se eliminan variables problemáticas detectadas por KMO.

3.13. KMO Y PRUEBA DE BARTLETT

Antes de realizar un análisis factorial resulta conveniente examinar si la estructura de correlaciones presenta una adecuación suficiente para la factorización (Hair et al., 2019).

```
library(psych)  
KMO(cor(evaluaciones_reducido))  
  
## Kaiser-Meyer-Olkin factor adequacy  
## Call: KMO(r = cor(evaluaciones_reducido))  
## Overall MSA = 0.89  
## MSA for each item =  
##   examen1  examen2  examen3  tarea1  tarea2  tarea3  proyecto1  proyecto2  
##      0.74    0.74    0.68    0.89    0.92    0.90    0.96    0.91  
## actividad1 actividad2  AV_VA  
##      0.95    0.93    0.70
```

El KMO evalúa si los datos son adecuados para análisis factorial.

Interpretación general:

KMO > 0.80: muy bueno. KMO entre 0.70 y 0.80: bueno. KMO < 0.50: problemático.

```
cortest.bartlett(cor(evaluaciones), n = nrow(evaluaciones))  
  
## $chisq  
## [1] 1022.931  
##  
## $p.value  
## [1] 1.328123e-164  
##  
## $df  
## [1] 78
```

Bartlett evalúa si la matriz de correlaciones es una matriz identidad.

Hipótesis:

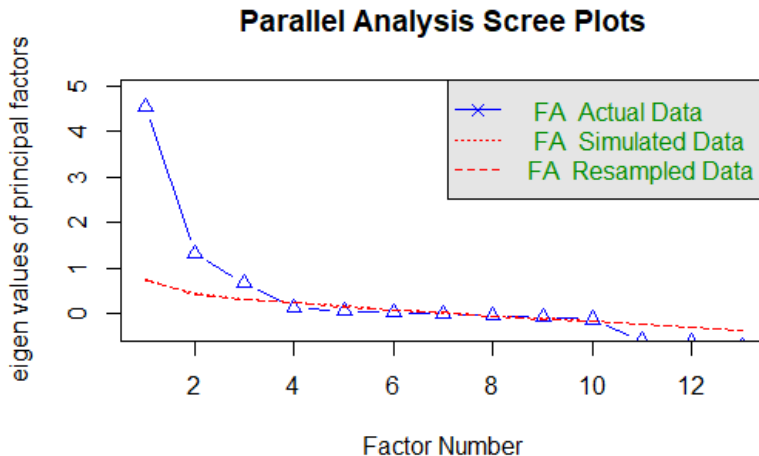
H0: las variables no están correlacionadas. H1: las variables sí están correlacionadas.

Si $p < 0.05$, es adecuado aplicar análisis factorial o ACP.

3.14. ANÁLISIS PARALELO

El análisis paralelo compara los valores propios observados con los obtenidos a partir de datos aleatorios y constituye un criterio para orientar la retención de factores (Horn, 1965).

fa.parallel(evaluaciones, fa = "fa")



Parallel analysis suggests that the number of factors = 3 and the number of components = NA

El análisis paralelo ayuda a decidir cuántos factores retener.

Regla:

Se conservan los factores cuyos eigenvalores reales superan a los eigenvalores simulados.

Interpretación:

Si sugiere 3 factores, se puede iniciar con una solución trifactorial. Luego se puede refinar el modelo según coherencia teórica y cargas factoriales.

3.15. ANÁLISIS FACTORIAL EXPLORATORIO

Se exploró inicialmente una solución de tres factores. Tras revisar communalidades y claridad interpretativa, se depuraron variables con comportamiento problemático y se adoptó una solución más parsimoniosa de dos factores.

3.16. MODELO FACTORIAL FINAL DE DOS FACTORES

```
library(dplyr)
evaluaciones_final2 <- evaluaciones %>%
  select(-participacion, -presentacion, -AV_VA)

famodelos <- fa(evaluaciones_final2, nfactors = 2, rotate = "oblimin")
cargas <- as.data.frame(unclass(famodelos$loadings))
knitr::kable(round(cargas, 2))
```

	MR1	MR2
examen1	-0.05	0.80
examen2	0.00	0.77
examen3	0.05	0.78
tarea1	0.90	0.04
tarea2	0.88	0.00
tarea3	0.87	-0.07
proyecto1	0.70	0.05
proyecto2	0.65	-0.12
actividad1	0.77	0.03
actividad2	0.78	0.03

Este modelo resultó más claro y parsimonioso.

Interpretación final:

Factor 1: Evaluación continua y desempeño práctico. Incluye: tareas, proyectos, actividades.

Factor 2: Evaluación teórica. Incluye: examen1, examen2, examen3.

Conclusión:

El rendimiento académico presenta una estructura bidimensional: lo que el estudiante realiza durante el curso y lo que demuestra en exámenes.

3.17. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (ACP) permite reducir la dimensionalidad de un conjunto de variables mediante componentes que concentran progresivamente la variabilidad de los datos (Jolliffe & Cadima, 2016).

```
pca <- prcomp(evaluaciones, scale. = TRUE); var_pca <- 100 * (pca$sdev^2 /  
sum(pca$sdev^2))  
knitr::kable(data.frame(Componente = paste0("PC", 1:3),  
Varianza = round(var_pca[1:3], 1), Acumulada = round(cumsum(var_pca)[1:3], 1)))
```

Componente	Varianza	Acumulada
PC1	37.8	37.8
PC2	17.4	55.2
PC3	12.8	67.9

El ACP reduce la dimensionalidad de los datos. `scale. = TRUE` estandariza las variables. La salida muestra: Desviación estándar de cada componente, proporción de varianza explicada, varianza acumulada.

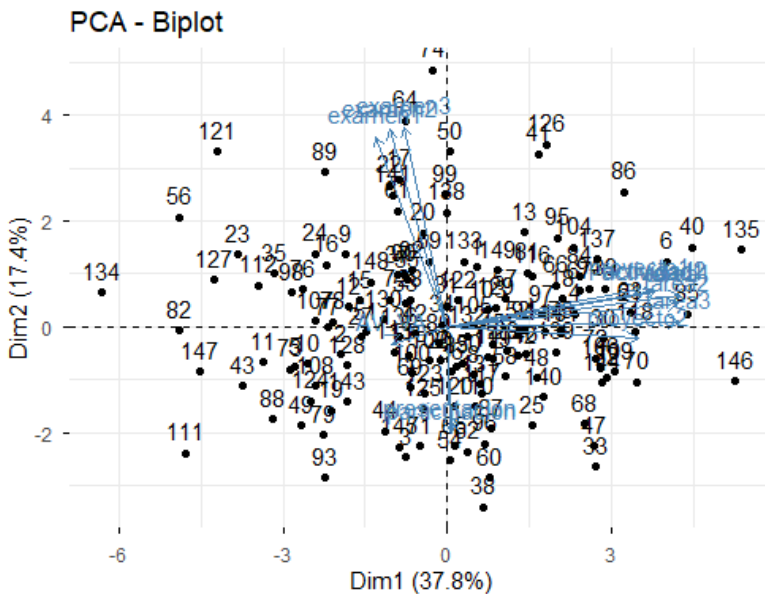
Interpretación:

PC1 explica aproximadamente 38%. PC2 explica aproximadamente 17%. PC3 explica aproximadamente 13%. Las dos primeras dimensiones explican cerca del 55%. Las tres primeras explican cerca del 68%.

3.18. ACP CON FACTOMINER Y FACTOEXTRA

Para complementar el análisis se utiliza FactoMineR, para el análisis multivariante en R (Lê et al., 2008).

```
library(FactoMineR); library(factoextra)  
res_pca <- PCA(evaluaciones, scale.unit = TRUE, graph = FALSE); fviz_pca_biplot(res_  
pca)
```



Conclusión:

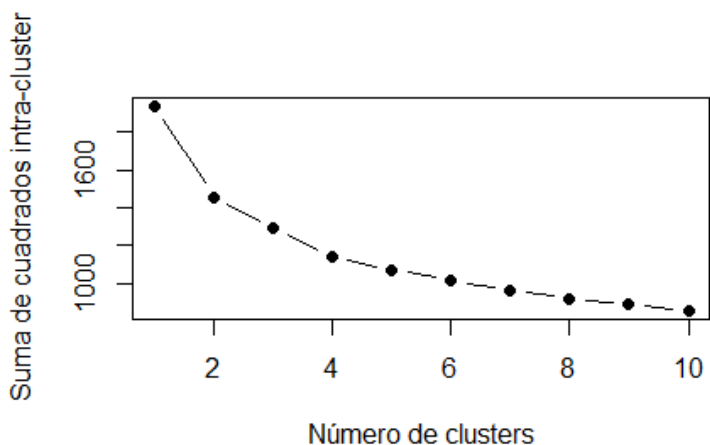
El ACP confirma dos dimensiones del rendimiento académico: evaluación continua y evaluación teórica.

3.19. CLUSTERING CON K-MEANS

El análisis de conglomerados busca identificar grupos de observaciones con características internamente similares a partir de la información multivariante disponible (Everitt et al., 2011).

3.19.1. Método del codo

```
wss <- numeric(10); for (i in 1:10) {  
  km <- kmeans(scale(evaluaciones), centers = i, nstart = 25); wss[i] <- km$tot.withinss;  
  plot(1:10, wss, type = "b", pch = 19,  
       xlab = "Número de clusters", ylab = "Suma de cuadrados intra-cluster")
```



Este código prueba de 1 a 10 clusters y calcula la suma de cuadrados intra-cluster. El “codo” indica el número recomendado de grupos.

Interpretación:

El gráfico sugiere conservar 3 clusters, porque a partir de ese punto la mejora disminuye.

3.19.2. Modelo k-means con 3 clusters

```
set.seed(123); km3 <- kmeans(scale(evaluaciones), centers = 3, nstart = 25)
osteo$cluster <- factor(km3$cluster)

table(osteo$cluster)

##
## 1 2 3
## 59 46 45
centros_cluster <- aggregate(evaluaciones, by = list(cluster = km3$cluster), mean)
knitr::kable(round(centros_cluster[,
c("cluster", "examen1", "tarea1", "proyecto1", "actividad1")], 2))
```

cluster	examen1	tarea1	proyecto1	actividad1
1	10.99	13.79	15.48	12.61
2	14.45	12.56	14.39	11.91
3	12.23	16.44	16.83	14.24

Calcula el promedio de cada variable por cluster.

3.20. INTERPRETACIÓN DE CLUSTERS

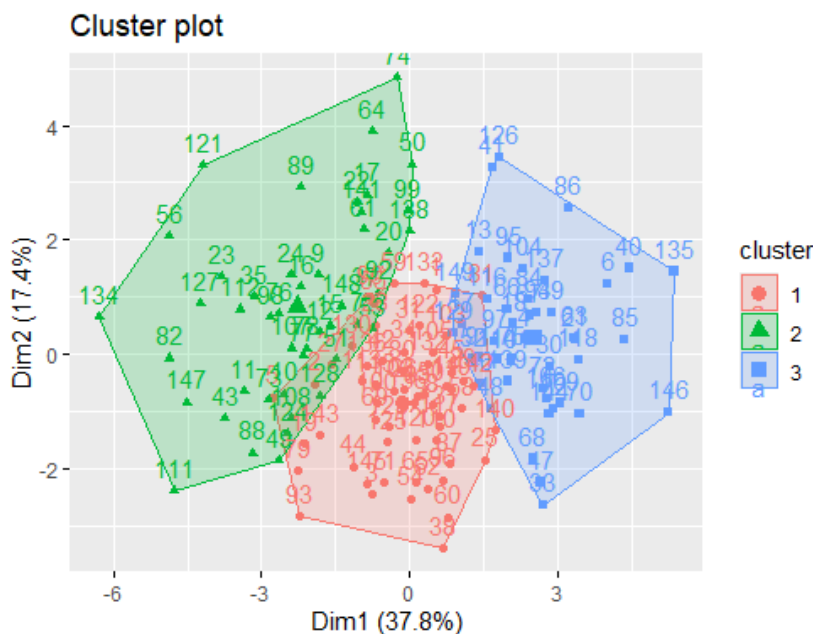
Se identificaron tres perfiles: **estudiantes teóricos** (cluster 1), con mayor rendimiento en exámenes; **estudiantes de alto rendimiento integral** (cluster 2), con mejor desempeño en la evaluación continua; y **estudiantes de rendimiento medio o vulnerable** (cluster 3), con un desempeño intermedio sin un patrón claramente destacado.

Conclusión:

El rendimiento académico no es homogéneo. Existen perfiles diferenciados de estudiantes según el tipo de evaluación en el que destacan.

3.21. VISUALIZACIÓN DE CLUSTERS

```
fviz_cluster(km3, data = scale(evaluaciones))
```



Este gráfico proyecta los clusters en las dos primeras dimensiones principales.

Interpretación:

Cada punto es un estudiante. Cada color es un cluster. Si los grupos están separados, la clasificación es razonable.

Conclusión:

El gráfico confirma la existencia de tres perfiles diferenciados de estudiantes, coherentes con la estructura bidimensional detectada por ACP y análisis factorial.

3.22. CARAS DE CHERNOFF

Las Caras de Chernoff constituyen una representación gráfica multivariante en la que diferentes variables se asignan a rasgos faciales, permitiendo representar conjuntamente varias dimensiones de cada perfil (Chernoff, 1973). Para evitar la saturación visual que producirían 150 rostros, la representación se realiza únicamente sobre los centroides de los conglomerados.

3.23. CARAS PROMEDIO POR CLUSTER

La mejor estrategia es dibujar una cara por cluster.

```
library(aplpack)
centros <- aggregate(evaluaciones,
                     by = list(cluster = km3$cluster),
                     mean)

chernoff_cluster <- centros[, c("examen1", "examen2", "examen3",
                               "tarea1", "tarea2", "tarea3",
                               "proyecto1", "proyecto2",
                               "participacion", "presentacion")]

faces(chernoff_cluster,
      labels = paste("Cluster", centros$cluster),
      main = "Perfiles académicos promedio mediante Caras de Chernoff")
```

Perfiles académicos promedio mediante Caras de Cher

Cluster 1



Cluster 2



Cluster 3



```
## effect of variables:
## modified item      Var
## "height of face"   "examen1"
## "width of face"    "examen2"
## "structure of face" "examen3"
## "height of mouth"  "tarea1"
## "width of mouth"   "tarea2"
## "smiling"          "tarea3"
## "height of eyes"   "proyecto1"
## "width of eyes"    "proyecto2"
## "height of hair"   "participacion"
## "width of hair"    "presentacion"
## "style of hair"    "examen1"
## "height of nose"   "examen2"
## "width of nose"    "examen3"
## "width of ear"     "tarea1"
## "height of ear"    "tarea2"
```

Interpretación:

Cada cara representa el perfil promedio de un cluster. Las diferencias faciales resumen diferencias académicas. Es una visualización innovadora para perfiles multivariantes.

Texto para informe:

Las caras de Chernoff se construyeron a partir de los centroides de los clusters identificados mediante k-means. Esta representación permite comparar visualmente los perfiles académicos promedio, destacando diferencias entre evaluación teórica, trabajo continuo, proyectos y participación.

4. DISCUSIÓN

4.1. INTEGRACIÓN DEL RECORRIDO ANALÍTICO

El análisis siguió la siguiente lógica:

Datos educativos

- Estadística descriptiva
- Comparación de metodologías

- Pruebas de hipótesis
- ANOVA
- Regresión
- Mediación y SEM
- Correlaciones
- KMO y prueba de Bartlett
- Análisis factorial
- ACP
- Clustering
- Caras de Chernoff

El recorrido integra procedimientos que habitualmente se estudian de forma aislada. La descriptiva caracteriza los datos; la inferencia examina diferencias; la regresión y la mediación estudian asociaciones; y las técnicas multivariantes permiten identificar dimensiones y perfiles. R facilita reproducir cada etapa a partir del mismo conjunto de datos y del código documentado. El análisis factorial, el ACP, el clustering y las Caras de Chernoff aportan perspectivas complementarias para resumir, clasificar y comunicar la estructura observada.

4.2. ALCANCE Y CONSIDERACIONES DE LA APLICACIÓN

Los resultados deben interpretarse dentro del carácter didáctico de la base y del propósito demostrativo del capítulo. Las salidas obtenidas ilustran cómo ejecutar e interpretar los procedimientos, pero no deben considerarse por sí solas evidencia causal ni generalizarse a otras poblaciones educativas. Del mismo modo, decisiones como la selección de variables, el número de factores o componentes y el número de clusters influyen en las soluciones obtenidas y deben justificarse de acuerdo con el problema de investigación.

5. PRINCIPALES COMANDOS UTILIZADOS EN R

Esta sección resume los principales comandos empleados en el recorrido analítico. Su finalidad es servir como referencia rápida para reproducir las etapas desarrolladas en el capítulo.

5.1. EXPLORACIÓN Y ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Comando	¿Para qué sirve?
<code>library(readr)</code>	Carga el paquete para importar archivos CSV.
<code>read_csv("archivo.csv")</code>	Importa una base de datos.
<code>head(datos)</code>	Muestra las primeras filas.
<code>summary(datos)</code>	Resume estadísticamente las variables.
<code>mean(x)</code>	Calcula la media.
<code>sd(x)</code>	Calcula la desviación estándar.
<code>quantile(x)</code>	Calcula cuantiles.
<code>table(x)</code>	Obtiene frecuencias.
<code>hist(x)</code>	Genera un histograma.
<code>boxplot(x)</code>	Genera un diagrama de caja.

5.2. INFERENCIA Y MODELIZACIÓN

Comando	¿Para qué sirve?
<code>shapiro.test(x)</code>	Evalúa normalidad.
<code>var.test(x1, x2)</code>	Compara varianzas entre dos grupos.
<code>t.test(x1, x2)</code>	Compara medias.
<code>aov(y ~ grupo, data = datos)</code>	Ajusta un ANOVA.
<code>lm(y ~ x1 + x2, data = datos)</code>	Ajusta una regresión lineal.
<code>anova(modelo1, modelo2)</code>	Compara modelos anidados.
<code>AIC(modelo1, modelo2)</code>	Compara modelos según ajuste y complejidad.
<code>BIC(modelo1, modelo2)</code>	Compara modelos penalizando la complejidad.

5.3. MEDIACIÓN Y MODELOS DE ECUACIONES ESTRUCTURALES

Comando	¿Para qué sirve?
<code>library(lavaan)</code>	Carga funciones para modelos SEM.
<code>sem(modelo_sem, data = datos)</code>	Ajusta un modelo de ecuaciones estructurales.
<code>parameterEstimates(ajuste_sem)</code>	Extrae estimaciones de los parámetros.
<code>semPaths(ajuste_sem)</code>	Representa gráficamente el modelo SEM.

5.4. REDUCCIÓN DIMENSIONAL

Comando	¿Para qué sirve?
<code>KMO(cor(datos))</code>	Evalúa la adecuación muestral.
<code>cortest.bartlett(cor(datos), n = nrow(datos))</code>	Aplica la prueba de Bartlett.
<code>fa.parallel(datos, fa = "fa")</code>	Sugiere el número de factores.
<code>fa(datos, nfactors = 2, rotate = "oblimin")</code>	Ajusta un análisis factorial exploratorio.

Comando	¿Para qué sirve?
<code>prcomp(datos, scale. = TRUE)</code>	Realiza un ACP con estandarización.
<code>PCA(datos, scale.unit = TRUE, graph = FALSE)</code>	Realiza ACP mediante FactoMineR.
<code>fviz_pca_biplot(res_pca)</code>	Genera un biplot.

5.5. PERFILES MULTIVARIANTES

Comando	¿Para qué sirve?
<code>scale(datos)</code>	Estandariza variables.
<code>kmeans(scale(datos), centers = 3, nstart = 25)</code>	Aplica k-means.
<code>aggregate(datos, by = list(cluster), mean)</code>	Calcula centroides por cluster.
<code>fviz_cluster(km3, data = scale(datos))</code>	Visualiza los clusters.
<code>aplpack::faces(datos)</code>	Genera Caras de Chernoff.

5.6. SÍNTESIS DEL FLUJO ANALÍTICO

El recorrido desarrollado en el capítulo puede resumirse como:

Datos educativos → **exploración descriptiva** → **comparación de grupos** → **pruebas de hipótesis** → **ANOVA** → **regresión** → **mediación y SEM** → **correlaciones** → **KMO y Bartlett** → **análisis factorial** → **ACP** → **clustering** → **Caras de Chernoff**.

6. CONCLUSIONES

El recorrido muestra que el rendimiento académico puede examinarse desde distintas perspectivas y no únicamente a partir de una nota final. En el caso analizado se identificaron dimensiones asociadas con la evaluación continua y la evaluación teórica, así como perfiles multivariantes diferenciados obtenidos mediante técnicas de agrupamiento. En conjunto, se muestra cómo R puede utilizarse para articular un flujo reproducible que conecta exploración, inferencia, modelización, reducción dimensional, clasificación y visualización. Su principal valor es operativo y docente: ofrecer una secuencia de trabajo que permita comprender qué hace cada técnica, cómo implementarla y cómo interpretar sus resultados dentro de un mismo recorrido analítico.

7. AGRADECIMIENTOS

Este capítulo constituye un resultado de investigación desarrollado en el marco de una movilidad docente Erasmus+ del autor, bajo su filiación con la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (USAT, Perú), en el Doctorado Interuniversitario en Equidad e Innovación en Educación de la Universidad de Vigo (España). El trabajo se

deriva del seminario *Análisis multivariante de datos en investigación educativa mediante software libre*.

REFERENCIAS

- Chernoff, H. (1973). The use of faces to represent points in n -dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, 68(342), 361–368. <https://doi.org/10.1080/01621459.1973.10482434>
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster analysis* (5th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470977811>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage.
- Hayes, A. F. (2022). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach* (3rd ed.). Guilford Press.
- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30(2), 179–185. <https://doi.org/10.1007/BF02289447>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kline, R. B. (2023). *Principles and practice of structural equation modeling* (5th ed.). Guilford Press.
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis* (6th ed.). Wiley.
- Rencher, A. C., & Christensen, W. F. (2012). *Methods of multivariate analysis* (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118391686>
- Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1–36. <https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02>

Xosé Somoza Medina (1969, Ourense, España) Licenciado con Grado y premio extraordinario en Geografía e Historia por la Universidad de Santiago de Compostela (1994). Doctor en Geografía e Historia por la misma universidad (2001) y premio extraordinario de doctorado por su Tesis “Desarrollo urbano en Ourense 1895-2000”. Profesor Titular en la Universidad de León, donde imparte clases desde 1997. En la Universidad de León fue Director del Departamento de Geografía entre 2004 y 2008 y Director Académico de la Escuela de Turismo entre 2005 y 2008. Entre 2008 y 2009 ejerció como Director del Centro de Innovación y Servicios de la Xunta de Galicia en Ferrol. Entre 2007 y 2009 fue vocal del comité “Monitoring cities of tomorrow” de la Unión Geográfica Internacional. En 2012 fue Director General de Rehabilitación Urbana del Ayuntamiento de Ourense y ha sido vocal del Consejo Rector del Instituto Ourensano de Desarrollo Local entre 2011 y 2015. Ha participado en diversos proyectos y contratos de investigación, en algunos de ellos como investigador principal, con temática relacionada con la planificación urbana, la ordenación del territorio, las nuevas tecnologías de la información geográfica, el turismo o las cuestiones demográficas. Autor de más de 100 publicaciones relacionadas con sus líneas de investigación preferentes: urbanismo, turismo, gobernanza, desarrollo, demografía, globalización y ordenación del territorio. Sus contribuciones científicas más importantes se refieren a la geografía urbana de las ciudades medias, la crisis del medio rural y sus posibilidades de desarrollo, la evolución del turismo cultural como generador de transformaciones territoriales y más recientemente las posibilidades de reindustrialización de Europa ante una nueva etapa posglobalización. Ha participado como docente en masters y cursos de especialización universitaria en Brasil, Bolivia, Colombia, Paraguay y Venezuela y como docente invitado en la convocatoria Erasmus en universidades de Bulgaria (Sofía), Rumanía (Bucarest) y Portugal (Porto, Guimarães, Coimbra, Aveiro y Lisboa). Ha sido evaluador de proyectos de investigación en la Agencia Estatal de Investigación de España y en la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI). Como experto europeo en Geografía ha participado en reuniones de la Comisión Europea en Italia y Bélgica. Impulsor y primer coordinador del proyecto europeo URBACT, “come Ourense”, dentro del Programa de la Unión Europea “Sostenibilidad alimentaria en comunidades urbanas” (2012-2014). Dentro de la experiencia en organización de actividades de I+D+i se pueden destacar la organización de diferentes reuniones científicas desarrolladas dentro de la Asociación de Geógrafos Españoles (en 2002, 2004, 2012 y 2018).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agentes conversacionais basados en LLM 269

Agua 59, 98, 101, 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127

Agua potable 98, 101, 103, 107, 108, 110, 111, 112

Aire 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

Aire interior 128, 129, 130, 131, 132, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

Algoritmo computacional 2, 7, 14

Amylose 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 69

Análisis multivariante 171, 191, 243, 258, 267

Analítica multimodal del aprendizaje 268, 269, 270, 272, 281, 288

Arquitectura de software 269, 289

Audio-mediación 194, 195, 196, 197, 198, 203, 208, 213

Autómatas 230, 231, 233, 234, 235, 236, 237, 241

B

Bacterial cellulose 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 70, 71

Benzo(a)pireno 128, 129, 136, 143

Bienestar docente 195, 198, 208, 214, 289, 291

Biorretroalimentación 268, 269, 283, 284, 285, 286, 288

C

Calidad del servicio 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229

Caras de Chernoff 171, 175, 178, 186, 187, 190, 191, 243, 245, 262, 263, 264, 266

Cellulose nanocrystals 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 71

Cizallamiento 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44, 45

Competencias socioemocionales docentes 195, 202, 213

Computación afectiva 268, 269, 270, 273, 274, 289

Conocimiento local 148

Contaminación 129, 130

D

Desarrollo sostenible 98, 113

Dificultades 56, 91, 230, 232, 233, 234, 241, 242

E

Educación en ingeniería 72, 76, 77, 81, 242

Energía hidroeléctrica 98

Energía maremotriz 114

Energía Renovable 98, 113

Entrenamiento Socioemocional Docente 268, 269, 271, 289

ERIM 46, 47, 48, 50, 51, 52, 55, 56

Escritura académica 72, 74, 76

Estadística aplicada 243

Ética del diseño tecnológico 195

F

Fiabilidad 46, 47, 50, 55, 114, 217, 220, 222, 223, 225, 226, 227, 228

Fidelidad psicológica 269, 270, 280, 283, 289

Formación investigativa 72, 74, 76, 77, 79, 96

Formulación lagrangiana 2, 4

Frequency analysis 16

Fuerza de corte 32, 33, 35, 36, 39, 41, 42, 44, 45

G

Gestión pública local 217, 219, 226

H

Huertos familiares 148, 149, 150, 152, 154, 157

I

Inteligencia artificial 72, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 88, 89, 96, 197, 211, 212, 214, 217, 218, 219, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 271, 272, 288

Inteligencia artificial generativa 72, 74, 76, 77, 89, 96, 272

K

Knowledge translation 160, 164, 165, 166

M

Marco teórico 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 87, 88, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 202
Mareas 114, 115, 116, 117, 118, 122, 123, 126
Matemáticas 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 240, 241, 242
Mechanical systems 16
Media representation 160, 161, 163
Microturbina 98, 108, 109
Modelo dinámico 1, 2, 3, 4, 7, 14
Modelo ECOS 194, 195, 198, 204, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 213
Modelo SEED 268, 269, 270, 284, 285, 286, 289, 290
Modelo SERVQUAL 217, 220, 222, 224
Mundo virtual 268, 269, 270, 271, 284, 288, 289

N

Non-destructive testing 16, 20
Nuclear energy communication 159, 160, 161, 164, 166, 167, 168, 169

P

Plantas alimenticias 148, 149, 151
Plantas medicinales 148, 149, 150, 151, 154, 158
Podcast educativo 194, 195, 196, 197, 198, 213
Predictive maintenance 16
Public meaning 160, 161, 163, 167, 168

R

Razonamiento estadístico 171, 173, 175, 176
Realidad virtual inmersiva 269
Rendimiento académico 171, 178, 180, 243, 257, 259, 261, 266
Reproducibilidad 171, 172, 173, 174, 175, 176, 188, 190, 191, 243
Resolución ejercicios 230
Resonancia 114, 115, 122, 123, 124, 126, 127
RMarkdown 171, 172, 175, 176, 179, 188, 189, 191

S

Science communication 160, 162, 163, 167, 168, 169, 170
Silueta 32, 185

Starch 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71

Structural health monitoring 16

T

TPM 46, 47, 50, 51, 57

Transformación digital 217, 219, 221

V

Vibration-based identification 16

Vibration diagnostics 16, 18, 20

