

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 Godínez, 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



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 12

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

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 trabajo presenta el Question-Driven Reproducible Statistical Reasoning (QRSR), o Razonamiento Estadístico Reproducible Guiado por Preguntas, como un marco conceptual para organizar el análisis estadístico mediante preguntas metodológicas sucesivas. La propuesta se ilustra a partir de una experiencia docente desarrollada durante un seminario Erasmus+ en la Universidad de Vigo y de una base educativa compuesta por 150 observaciones y 29 variables. El recorrido integra exploración descriptiva, inferencia, análisis de varianza, regresión múltiple, mediación, modelos de ecuaciones estructurales, análisis factorial, análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y Caras de Chernoff. A diferencia de una organización basada en un catálogo de técnicas, cada procedimiento se

introduce como respuesta a una pregunta derivada de la evidencia disponible en la etapa anterior. RMarkdown proporciona la infraestructura computacional para integrar código, resultados e interpretación y favorecer la trazabilidad del proceso analítico. Se sostiene que la reproducibilidad científica requiere no solo la posibilidad de volver a ejecutar los cálculos, sino también documentar las decisiones metodológicas que conectan las preguntas con los procedimientos empleados. El caso muestra asimismo que la comunicación visual forma parte del razonamiento analítico, aunque no sustituye la inferencia estadística. El QRSR se plantea como un marco metodológico y docente flexible, cuya utilidad educativa requiere evaluación empírica posterior.

PALABRAS CLAVE: análisis multivariante; reproducibilidad; RMarkdown; razonamiento estadístico; Caras de Chernoff.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿POR QUÉ PASAR DE TÉCNICAS AISLADAS A UN FLUJO DE RAZONAMIENTO?

El análisis multivariante ocupa una posición central en la investigación cuantitativa porque numerosos fenómenos científicos no pueden comprenderse

adecuadamente examinando una variable cada vez. Variables académicas, clínicas, económicas, ambientales o sociales suelen estar relacionadas, comparten información y participan simultáneamente en los fenómenos que se desea estudiar. Técnicas como la regresión múltiple, el análisis factorial, el análisis de componentes principales, los modelos de ecuaciones estructurales y el análisis de conglomerados permiten abordar dimensiones diferentes de esta complejidad (Rencher & Christensen, 2012; Hair et al., 2019; Tabachnick & Fidell, 2022).

El problema pedagógico aparece cuando estas técnicas se enseñan como procedimientos independientes. El estudiante puede aprender una prueba, después ANOVA, luego regresión, más tarde análisis factorial y finalmente *clustering*, sin llegar necesariamente a comprender **qué pregunta justifica cada transición**. El conocimiento procedimental – saber ejecutar una función – no garantiza el conocimiento metodológico – saber por qué ese procedimiento constituye una respuesta apropiada al problema planteado –. Esta separación entre procedimiento y razonamiento motivó la organización del seminario como un recorrido analítico continuo, desde la comprensión inicial de los datos hasta su representación multivariante.

La reproducibilidad añade una segunda exigencia. Un análisis no es plenamente transparente si únicamente conserva sus resultados finales. Deben poder reconstruirse los datos de entrada, las transformaciones, las decisiones de modelización y, cuando sea posible, el entorno computacional. La literatura sobre investigación reproducible ha destacado la importancia de documentar el código, preservar los pasos intermedios, reducir las operaciones manuales irrepetibles y registrar el proceso mediante el cual se obtienen los resultados (Gentleman & Lang, 2007; Peng, 2011; Sandve et al., 2013). Los principios FAIR amplían esta perspectiva al promover que los objetos digitales científicos sean encontrables, accesibles, interoperables y reutilizables, dentro de las restricciones éticas y legales correspondientes (Wilkinson et al., 2016).

RMarkdown proporciona una infraestructura práctica para integrar parte de estas exigencias. Su lógica se vincula con la tradición de los documentos dinámicos y la programación literaria, al permitir que la explicación y el código que genera los resultados convivan en un mismo documento (Knuth, 1984; Xie, 2015; Xie et al., 2018). Esta integración no garantiza por sí misma una investigación reproducible: una decisión metodológica inadecuada puede ser perfectamente reproducible. Sin embargo, facilita la trazabilidad del proceso y reduce la distancia entre análisis, documentación y comunicación.

La estadística como proceso de decisiones.

Las técnicas estadísticas no constituyen el punto de partida del análisis. Cada procedimiento debe responder a una pregunta metodológica que justifique su utilización. Por ello, la pregunta inicial no debería ser “¿qué técnica conozco?”, sino “¿qué necesito saber para responder rigurosamente al problema de investigación?”.

Esta perspectiva permite distinguir entre **reproducir resultados** y **reconstruir el razonamiento**. En el primer caso, dos investigadores pueden ejecutar el mismo código y obtener las mismas cifras. En el segundo, además, es posible comprender por qué se eligió un procedimiento, qué supuestos se evaluaron, qué alternativas se consideraron, cómo se interpretaron los resultados y qué evidencia motivó la decisión siguiente. Este segundo nivel resulta especialmente relevante para la docencia, la auditoría metodológica y la revisión por pares.

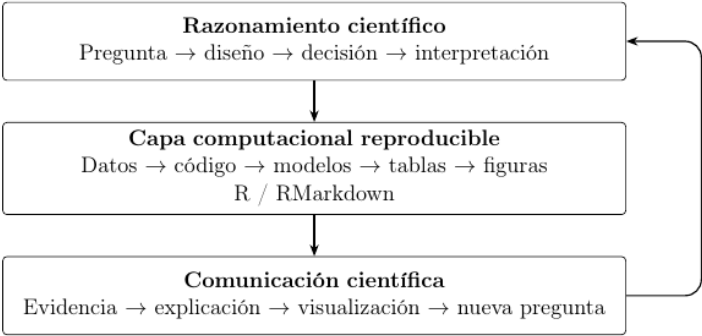
1.2. ¿CÓMO ORGANIZAR EL ANÁLISIS PARA QUE LA PREGUNTA PRECEDA A LA TÉCNICA?

El **Question-Driven Reproducible Statistical Reasoning (QRSR)** – en español, Razonamiento Estadístico Reproducible Guiado por Preguntas – se plantea como un **marco conceptual** para organizar el análisis estadístico, y no como un algoritmo, un estándar formal, un paquete de software o una metodología empíricamente validada. Su regla fundamental es sencilla: **cada técnica debe poder justificarse por la pregunta que pretende responder**.

En este sentido, el QRSR puede definirse como un marco metodológico para la investigación cuantitativa que organiza la selección e integración de técnicas estadísticas según la secuencia de preguntas científicas que emergen durante el proceso de análisis, procurando simultáneamente reproducibilidad computacional, coherencia metodológica e inteligibilidad de la comunicación científica.

Esta definición articula tres dimensiones. La primera corresponde al **razonamiento científico**, que conecta pregunta, diseño, supuestos, decisión metodológica e interpretación. La segunda es la **capa computacional reproducible**, encargada de registrar datos, código, transformaciones, modelos y resultados. La tercera corresponde a la **comunicación científica**, mediante la cual las salidas computacionales se transforman en argumentos que pueden ser examinados, interpretados y evaluados por otros investigadores.

Figura 1: Tres dimensiones del Question-Driven Reproducible Statistical Reasoning (QRSR).



Principios del QRSR. El marco se articula alrededor de cinco principios. Primero, **la pregunta precede a la técnica**: la disponibilidad de una función en R no constituye por sí misma una justificación metodológica. Segundo, **cada respuesta puede generar una nueva pregunta**, por lo que la secuencia analítica no está predeterminada de manera rígida. Tercero, **la reproducibilidad debe incluir el razonamiento** y no únicamente la reejecución de comandos. Cuarto, **la interpretación forma parte del análisis**, puesto que los coeficientes y demás resultados adquieren significado dentro del problema científico. Quinto, **la comunicación culmina y puede reiniciar el proceso**, ya que hacer comprensible un resultado constituye parte de la producción de conocimiento.

Fases del QRSR. Para facilitar su aplicación, estos principios se organizan en cuatro fases: **comprensión, explicación, descubrimiento y comunicación**. La fase de comprensión comprende la importación, el control de calidad, la descripción y la visualización inicial de los datos. La explicación incluye la comparación de grupos, la estimación de efectos, la regresión, la mediación y, cuando la teoría y el diseño lo justifican, los modelos estructurales. El descubrimiento incorpora procedimientos destinados a examinar estructuras multivariantes, como las correlaciones, la evaluación de factorizabilidad, el análisis factorial, el análisis de componentes principales y el agrupamiento. Finalmente, la comunicación transforma las estructuras identificadas en representaciones interpretables, sin confundir la visualización con evidencia inferencial independiente.

Tabla 1: Fases del QRSR y preguntas que organizan el recorrido analítico.

Fase QRSR	Pregunta dominante	Procedimientos ilustrados en el caso
Comprensión	¿Qué información tenemos y cómo se comporta?	Importación, control de estructura, estadística descriptiva y gráficos.
Explicación	¿Existen diferencias y qué variables pueden explicarlas?	Prueba , ANOVA, tamaño del efecto, regresión, mediación y SEM.

Fase QRSR	Pregunta dominante	Procedimientos ilustrados en el caso
Descubrimiento	¿Existe una estructura interna más simple?	Correlaciones, KMO, prueba de Bartlett, análisis paralelo, análisis factorial, ACP y <i>clustering</i> .
Comunicación	¿Cómo representar perfiles complejos sin ocultar su multidimensionalidad?	Perfiles de conglomerados y Caras de Chernoff.

Esta clasificación es deliberadamente flexible. Una regresión puede utilizarse con una finalidad predictiva y no explicativa; un ACP puede formar parte del preprocesamiento de un modelo posterior; y el *clustering* puede preceder a una fase confirmatoria. El QRSR no pretende establecer una taxonomía universal de las técnicas estadísticas, sino hacer explícito **para qué** se utiliza cada método dentro del razonamiento analítico.

Principio de razonamiento estadístico secuencial.

Toda técnica estadística debe surgir como una consecuencia metodológicamente razonable de la pregunta formulada a partir de la evidencia disponible en la etapa anterior.

El término “razonable” es deliberado: frente a una misma pregunta pueden existir alternativas paramétricas, robustas, no paramétricas, bayesianas o basadas en remuestreo. El QRSR no elimina el juicio profesional; exige que este sea **visible, justificable y reproducible**. En este sentido, la reproducibilidad no se limita a la posibilidad de volver a ejecutar los cálculos. También requiere documentar las decisiones que conectan las preguntas con los procedimientos utilizados, de manera que el código forme parte de un argumento científico comprensible (Gentleman & Lang, 2007; Sandve et al., 2013).

1.3. ¿EN QUÉ SE DIFERENCIA DE OTROS MARCOS?

El QRSR comparte antecedentes con diversas tradiciones vinculadas con la documentación computacional, la reproducibilidad y la organización del análisis de datos. La programación literaria integra narración y código con el propósito de hacer explícita la lógica de un programa (Knuth, 1984); la investigación reproducible enfatiza la preservación de los procedimientos necesarios para reconstruir los resultados (Gentleman & Lang, 2007; Peng, 2011; Sandve et al., 2013); y RMarkdown proporciona una infraestructura para integrar narrativa, código y resultados en documentos dinámicos (Xie et al., 2018).

Otros marcos organizan el propio proceso analítico. CRISP-DM estructura los proyectos de minería de datos mediante fases relacionadas con la comprensión del problema y de los datos, su preparación, el modelado, la evaluación y el despliegue, dentro de un proceso que admite iteraciones (Chapman et al., 2000; Shearer, 2000). SEMMA,

por su parte, organiza el análisis alrededor de las actividades de muestreo, exploración, modificación, modelización y evaluación.

Estas aproximaciones no se plantean aquí como competidoras. El QRSR se sitúa en una capa diferente: propone hacer explícita **la pregunta metodológica que justifica el paso de una técnica a la siguiente**. De este modo, la organización del análisis no depende únicamente de una secuencia de procedimientos, sino de la relación entre pregunta, decisión analítica, cálculo, interpretación y comunicación.

Tabla 2: Relación del QRSR con otros enfoques de organización y reproducibilidad del análisis.

Enfoque	Unidad organizadora principal	Fortaleza central	Lugar del QRSR
Programación literaria	Narrativa + programa	Hace explícita y legible la lógica del código.	QRSR traslada esta integración al razonamiento estadístico.
Investigación reproducible	Procedimiento computacional	Facilita la reconstrucción de cálculos y transformaciones.	QRSR incorpora además la justificación de las decisiones analíticas.
RMarkdown	Documento ejecutable	Integra texto, código y resultados.	Constituye una posible infraestructura para implementar QRSR.
CRISP-DM	Ciclo de proyecto de minería de datos	Organiza comprensión, preparación, modelado, evaluación y despliegue.	QRSR enfatiza las preguntas que justifican las decisiones estadísticas dentro del recorrido.
SEMMA	Secuencia de análisis de datos	Estructura actividades de exploración y modelización.	QRSR no prescribe una cadena operacional fija.
QRSR	Pregunta científica o metodológica	Conecta decisión, cálculo, interpretación y comunicación.	Marco conceptual utilizado para organizar el recorrido analítico.

Por tanto, sería metodológicamente excesivo afirmar que el QRSR inaugura la idea de un flujo reproducible o de una investigación iterativa. Su contribución se sitúa en la **integración explícita del razonamiento guiado por preguntas, la documentación computacional y la comunicación** como arquitectura para organizar el análisis estadístico. La evaluación del QRSR como estrategia educativa, por ejemplo frente a una enseñanza estructurada principalmente por técnicas, constituye una cuestión que requiere validación empírica.

2. METODOLOGÍA

2.1. CONTEXTO DOCENTE Y CONJUNTO DE DATOS

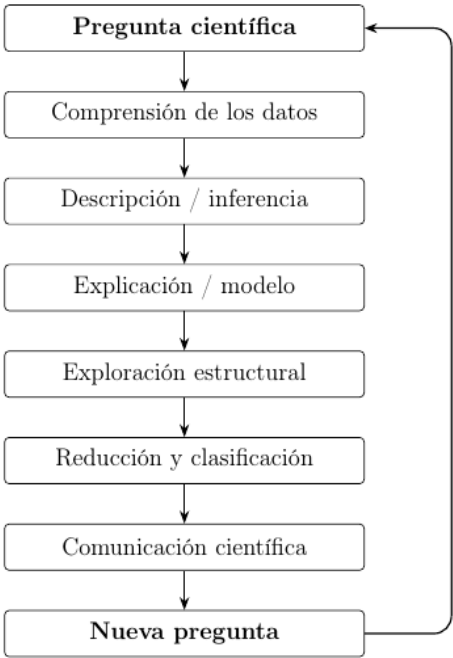
La experiencia que sirve de base para este recorrido se desarrolló durante una estancia Erasmus+ en la Universidad de Vigo y estuvo dirigida a estudiantes del

Doctorado Interuniversitario en Equidad e Innovación en Educación. El conjunto de datos utilizado con fines docentes contenía **150 observaciones y 29 variables**, de las cuales 26 eran numéricas y tres categóricas. Las variables incluían calificaciones, indicadores agregados de rendimiento, metodología docente y variables empleadas o derivadas en los análisis multivariantes posteriores.

Conviene precisar la naturaleza del caso. El propósito no es establecer causalmente la superioridad de una metodología docente ni generalizar los resultados a una población educativa externa. La base de datos funciona como **vehículo didáctico para construir y documentar un recorrido estadístico completo**. Esta delimitación evita atribuir al ejemplo pedagógico un alcance inferencial que su diseño no pretende sostener.

2.2. DISEÑO DEL RECORRIDO ANALÍTICO REPRODUCIBLE

Figura 2: Del problema científico a una nueva pregunta: lógica general del QRSR.



El elemento decisivo de la Figura 2 es la flecha de retorno. El análisis no se concibe como una secuencia lineal que termina necesariamente en una visualización, sino como un proceso iterativo. Un modelo puede revelar una anomalía que obligue a volver a los datos; un conglomerado puede sugerir nuevas hipótesis; y una representación visual puede hacer visible un patrón que requiera revisar nuevamente la información o

formular una nueva pregunta. El QRSR sitúa precisamente esa pregunta como elemento articulador de las transiciones entre las distintas etapas del recorrido.

2.3. ESTRATEGIA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La estrategia analítica se organizó siguiendo la lógica secuencial del QRSR, de manera que cada procedimiento estadístico respondiera a una pregunta derivada de la etapa precedente. El recorrido combinó técnicas descriptivas, inferenciales y multivariantes, manteniendo una distinción entre los procedimientos orientados a examinar relaciones previamente planteadas y aquellos destinados a explorar estructuras emergentes en los datos.

En una primera etapa se examinó la estructura del conjunto de datos y se realizó una exploración descriptiva mediante medidas de tendencia central, dispersión y posición, complementadas con representaciones gráficas. La comparación del rendimiento entre metodologías se abordó mediante pruebas inferenciales para dos grupos y análisis de varianza, considerando previamente los supuestos correspondientes y complementando la significación estadística con la consideración de la magnitud de los efectos.

Posteriormente, se empleó regresión múltiple para examinar la asociación del rendimiento académico con la metodología y con variables de evaluación continua. A partir de las relaciones observadas se plantearon modelos de mediación y, posteriormente, un modelo de ecuaciones estructurales (SEM) para representar conjuntamente las vías directas e indirectas entre las variables consideradas. La interpretación de estos modelos se realizó en términos de asociaciones y estructuras compatibles con los datos, sin atribuirles por sí solos una interpretación causal.

La fase exploratoria multivariante comenzó con el examen de la matriz de correlaciones y la evaluación de su factorizabilidad mediante el índice de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. La determinación del número de factores se apoyó en el análisis paralelo, tras lo cual se aplicó análisis factorial exploratorio. De manera complementaria, se utilizó análisis de componentes principales (ACP) como procedimiento de reducción dimensional.

Finalmente, se aplicaron técnicas de análisis de conglomerados para explorar la existencia de perfiles multivariantes entre las observaciones. La estructura obtenida se examinó mediante criterios de cohesión y separación y se complementó con Caras de Chernoff como recurso de representación visual de los perfiles identificados. Estas representaciones se utilizaron con finalidad exploratoria y comunicativa, y no como procedimiento independiente de validación estadística.

Los análisis se desarrollaron en R y se documentaron mediante RMarkdown, integrando en un mismo flujo el código, las transformaciones, los modelos y sus correspondientes salidas. Esta organización permitió conservar la trazabilidad entre las preguntas formuladas, las decisiones metodológicas y los procedimientos empleados.

3. RESULTADOS

3.1. ¿QUÉ APRENDEMOS AL PASAR DE DESCRIBIR A EXPLICAR?

La primera pregunta del caso fue elemental y, precisamente por ello, imprescindible: **¿cómo son los datos?** La inspección inicial confirmó que la base utilizada en el seminario contenía 150 observaciones y 29 variables. Esta comprobación no tenía como finalidad producir una conclusión educativa, sino establecer el punto de partida del análisis, comprobar la codificación y detectar posibles inconsistencias antes de cualquier modelización.

Para ilustrar la exploración descriptiva se utilizó la calificación del primer examen. Se obtuvo una media de **12,42 puntos**, una desviación estándar de **2,51**, una mediana de **12,36**, un primer cuartil de **10,54** y un tercer cuartil de **14,07**, lo que corresponde a un rango intercuartílico aproximado de **3,53 puntos**. La proximidad entre media y mediana proporcionó una primera indicación sobre el equilibrio de la distribución, aunque por sí sola no permite establecer normalidad ni descartar la presencia de observaciones problemáticas. Por ello, los estadísticos descriptivos se complementaron con histogramas y diagramas de caja.

Este primer movimiento resume un principio que se mantiene durante todo el recorrido: **una cifra responde a una pregunta limitada**. La media informa sobre posición central; la desviación estándar, sobre dispersión; un histograma aporta información sobre la forma de la distribución; y un diagrama de caja facilita la identificación de observaciones alejadas. Ninguno de estos recursos sustituye a los demás.

3.1.1. ¿Existen diferencias entre metodologías?

Los estudiantes se clasificaron según metodología tradicional o innovadora, observándose descriptivamente un mayor rendimiento en el primer examen en el grupo correspondiente a la metodología innovadora. Antes de realizar la comparación inferencial se examinaron los supuestos correspondientes. Las pruebas de normalidad no proporcionaron evidencia suficiente para rechazar la normalidad en ninguno de los dos grupos, mientras que la comparación de varianzas produjo un valor de $p = 0.087$.

Posteriormente, la prueba t mostró una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($p < 0.001$), favorable al grupo correspondiente a la metodología innovadora.

Esta secuencia requiere, sin embargo, una precisión metodológica. Un valor p superior a 0.05 en una prueba de normalidad **no demuestra que los datos sean normales**; únicamente indica que, bajo las condiciones del contraste, no se encontró evidencia suficiente para rechazar dicha hipótesis. La robustez de los procedimientos depende además del diseño, los tamaños muestrales, la presencia de asimetrías, las observaciones influyentes y la magnitud de las desviaciones respecto de los supuestos. La prueba de Shapiro–Wilk constituye, por tanto, una herramienta diagnóstica y no un certificado automático de normalidad (Shapiro & Wilk, 1965).

Significación estadística no equivale a importancia práctica.

Un valor p pequeño informa sobre la incompatibilidad de los datos con una hipótesis nula bajo un modelo determinado; no cuantifica por sí mismo la relevancia educativa, clínica o científica de una diferencia. La interpretación debe incorporar el tamaño del efecto, los intervalos de confianza, la precisión, la calidad del diseño y el contexto sustantivo (Cohen, 1992).

El paso desde la prueba t hasta el análisis de varianza (ANOVA) no debe justificarse simplemente porque constituya “la técnica siguiente”. Con dos grupos y bajo determinados supuestos, ambos procedimientos están estrechamente relacionados. En el seminario, el ANOVA permitió desplazar la pregunta desde una evaluación concreta hacia el **rendimiento académico global**, representado por el promedio final, e introducir de manera explícita la descomposición de la variabilidad y la consideración del tamaño del efecto.

Desde una perspectiva reproducible, los estadísticos inferenciales deben proceder directamente de la ejecución documentada del análisis. Cuando una salida exacta no se encuentra disponible, resulta metodológicamente preferible no reconstruir valores a partir de información parcial. Esta precaución evita que la narrativa científica complete lagunas mediante resultados inferidos del contexto.

3.1.2. ¿Qué variables se relacionan con el rendimiento?

La comparación entre grupos conduce de forma natural a una pregunta más rica. Saber que dos grupos difieren no permite determinar qué variables participan en el resultado. Para examinar esta cuestión se planteó un modelo de regresión múltiple en el que el promedio final se relacionó con la metodología, el primer examen y dos indicadores

de evaluación continua, AV_EX y AV_PA. La regresión múltiple permite estimar la asociación parcial de cada predictor con la variable respuesta manteniendo constantes los restantes predictores, bajo los supuestos correspondientes (Rencher & Christensen, 2012).

El resultado metodológicamente más relevante no fue un coeficiente aislado, sino un cambio en la interpretación: la asociación directa de la metodología con el rendimiento se atenuaba al incorporar AV_EX y AV_PA al modelo. Esta observación conduce a una nueva pregunta: **¿la metodología se relaciona directamente con el rendimiento final o parte de su asociación puede transmitirse a través del desempeño durante la evaluación continua?**

Este punto muestra por qué un flujo guiado por preguntas puede resultar más informativo que una colección de procedimientos. La pérdida o atenuación de significación de un predictor no implica automáticamente que “la variable dejó de importar”. Puede ser compatible con diferentes explicaciones, entre ellas colinealidad, confusión, sobreajuste, insuficiente precisión, una redefinición del estimando o la presencia de un mecanismo mediado. La elección entre estas explicaciones debe sustentarse en la teoría, el diseño y el diagnóstico del modelo, y no únicamente en el cambio de un valor p .

3.1.3. ¿Existe un mecanismo indirecto?

El análisis de mediación formaliza la posibilidad de que la asociación entre una variable antecedente y un resultado opere a través de una o más variables intermedias. La literatura metodológica ha evolucionado desde reglas secuenciales basadas en la significación de regresiones hacia la evaluación directa de los efectos indirectos y de sus intervalos de confianza, frecuentemente mediante procedimientos de remuestreo (Baron & Kenny, 1986; Preacher & Hayes, 2008). Por ello, la existencia de un efecto indirecto no requiere necesariamente que todos los pasos de los procedimientos clásicos resulten estadísticamente significativos de manera aislada.

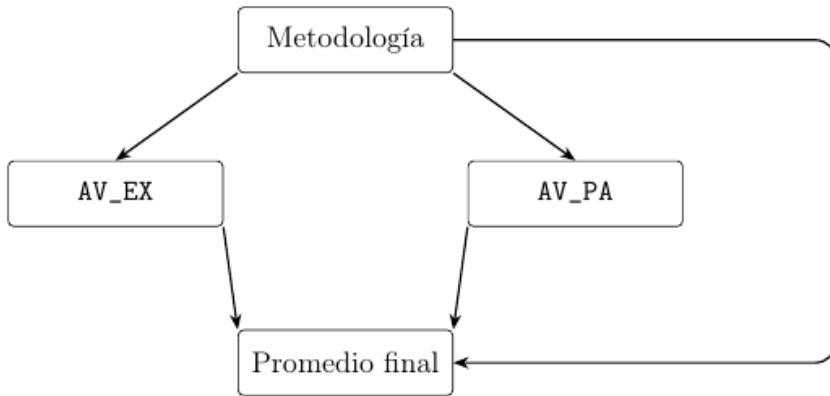
En el caso analizado, la hipótesis conceptual planteaba que la metodología podía relacionarse con AV_EX y AV_PA, y que estas variables, a su vez, podían relacionarse con el promedio final.

3.1.4. ¿Cómo integrar estas relaciones en un único modelo?

Los modelos de ecuaciones estructurales (SEM) permiten representar simultáneamente sistemas de relaciones entre variables observadas y, cuando corresponde, variables latentes. El paquete lavaan, ampliamente utilizado en R para este propósito, proporciona un entorno para la especificación y estimación de este tipo de modelos (Rosseel, 2012).

En el seminario se formuló un modelo en el que la metodología actúa como variable exógena, AV_EX y AV_PA como variables mediadoras, y el promedio final como variable resultado. El modelo incorpora, además, una vía directa entre metodología y promedio final. Conceptualmente, esta especificación permite representar el efecto total como la combinación de una vía directa y de vías indirectas transmitidas a través de las variables mediadoras.

Figura 3: Modelo conceptual utilizado para integrar efectos directos e indirectos.



El modelo permite examinar conjuntamente las relaciones de la metodología con las variables mediadoras, las asociaciones de estas con el rendimiento final y la vía directa entre metodología y promedio final. Una reducción de esta última al incorporar los mediadores puede ser compatible con un mecanismo de mediación; sin embargo, estas asociaciones no deben equipararse automáticamente con relaciones causales. La interpretación causal de los efectos directos e indirectos requiere supuestos adicionales relacionados con la temporalidad, la ausencia de confusión no medida, la correcta especificación del modelo y el diseño del estudio (Baron & Kenny, 1986; Preacher & Hayes, 2008).

En consecuencia, un SEM permite evaluar en qué medida una estructura hipotetizada es compatible con los datos, pero no transforma por sí mismo un diseño observacional o didáctico en un experimento causal. Del mismo modo, la evaluación del modelo no debería descansar en un único índice de ajuste. Índices como CFI, TLI, RMSEA y SRMR proporcionan información complementaria, y sus valores de referencia no deben convertirse en reglas mecánicas independientes del contexto, la especificación y la complejidad del modelo (Hu & Bentler, 1999; Kline, 2023).

Un modelo no es una réplica de la realidad.

Es una representación deliberadamente simplificada construida para responder determinadas preguntas. Un buen ajuste no demuestra que el modelo sea “verdadero”, y un coeficiente estadísticamente significativo no sustituye la plausibilidad teórica, la calidad del diseño ni la evaluación de explicaciones alternativas.

Hasta este punto, el recorrido se ha orientado principalmente a describir, comparar y modelizar relaciones planteadas explícitamente. Sin embargo, una base multivariante permite formular otra clase de preguntas: **¿qué estructura emerge cuando dejamos de privilegiar una única variable respuesta?** Este cambio desplaza el análisis desde una lógica predominantemente explicativa hacia una lógica exploratoria de descubrimiento.

3.2. ¿QUÉ ESTRUCTURA MULTIVARIANTE PRESENTAN LOS DATOS Y CÓMO PUEDE RESUMIRSE?

La exploración multivariante comienza con el examen de la matriz de correlaciones aplicada a variables asociadas con la evaluación académica, entre ellas AV_EX, AV_TA, AV_PR, AV_PA, AV_AC, AV_VA y el promedio final. Las asociaciones positivas observadas entre buena parte de estas variables sugieren la existencia de **información compartida** y justifican examinar si la estructura de los datos puede representarse mediante un número menor de dimensiones.

¿Es factorizable la matriz? Antes de interpretar factores, es necesario evaluar si la estructura de correlaciones proporciona una base adecuada para la extracción de factores comunes. Para ello se consideran el índice de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. Esta última contrasta la hipótesis de que la matriz de correlaciones poblacional es una matriz identidad, mientras que el KMO evalúa la adecuación de la estructura de correlaciones a partir de la relación entre correlaciones simples y parciales (Bartlett, 1954; Kaiser, 1974; Kaiser & Rice, 1974).

Estos diagnósticos, sin embargo, no deben interpretarse como una autorización binaria del tipo “KMO > umbral = análisis factorial válido”. La factorizabilidad debe valorarse conjuntamente con otros elementos, como el tamaño muestral, las comunalidades, el número de variables asociadas con cada factor, la magnitud de las cargas, la calidad de la medición y la plausibilidad conceptual de la solución.

¿Cuántos factores conservar? La determinación de la dimensionalidad constituye una de las decisiones más sensibles del análisis factorial. El criterio de autovalores superiores a uno y el *scree plot* de Cattell constituyen aproximaciones

clásicas, mientras que el análisis paralelo de Horn permite comparar los autovalores observados con los obtenidos a partir de datos aleatorios de estructura comparable (Horn, 1965; Cattell, 1966). En el análisis desarrollado, la función `fa.parallel()` se utilizó como apoyo para determinar el número de factores que debía conservarse.

¿Qué representan los factores? Una vez elegida la dimensionalidad, el análisis factorial intenta identificar patrones de covariación atribuibles a dimensiones comunes. La interpretación depende de la magnitud y estructura de las cargas, del método de extracción, de la rotación y del significado sustantivo de los indicadores. Una carga elevada no “ nombra ” automáticamente un factor; su denominación constituye una interpretación teórica que debe ser coherente con el conjunto de variables asociadas y, cuando sea posible, replicarse en otra muestra (Fabrigar et al., 1999; Costello & Osborne, 2005).

Aquí aparece una distinción importante entre el **análisis factorial** y el **análisis de componentes principales (ACP)**. Aunque ambos pueden producir representaciones de menor dimensión y a veces se confunden en la práctica, sus objetivos no son idénticos. El análisis factorial modeliza la varianza común en términos de variables latentes, mientras que el ACP construye combinaciones lineales de las variables originales para concentrar la varianza total en un conjunto de componentes ortogonales. El ACP constituye así una estrategia de reducción dimensional orientada a representar la mayor cantidad posible de variabilidad mediante un número reducido de componentes (Jolliffe, 2002; Jolliffe & Cadima, 2016).

La Tabla 3 sintetiza esta diferencia atendiendo a la pregunta que orienta cada procedimiento, la información que prioriza y el papel que desempeña dentro del recorrido analítico.

Tabla 3: Diferencias conceptuales entre el análisis factorial exploratorio y el análisis de componentes principales.

Aspecto	Análisis factorial exploratorio	Análisis de componentes principales
Pregunta central	¿Qué dimensiones comunes pueden explicar la covariación?	¿Cómo representar los datos con menos dimensiones?
Información priorizada	Varianza común	Varianza total
Resultado	Factores interpretables	Componentes lineales
Uso principal en el flujo	Comprender estructura latente	Síntesis, proyección y preparación para otros análisis

¿Cómo resumir sin perder la esencia? En sentido estricto, toda reducción dimensional puede implicar pérdida de información. Por ello, el objetivo del ACP no es

“reducir sin perder nada”, sino obtener una representación más parsimoniosa en la que la pérdida de información pueda cuantificarse y resulte aceptable para la finalidad del análisis. En el seminario, `prcomp()` se empleó para obtener los componentes principales y explorar si un número reducido de dimensiones permitía concentrar una proporción sustancial de la variabilidad de los datos (Jolliffe, 2002; Jolliffe & Cadima, 2016).

Reducir dimensionalidad no significa garantizar ausencia de pérdida.

Significa concentrar información relevante y disminuir redundancia de acuerdo con un criterio explícito. La calidad de la reducción debe evaluarse mediante la varianza retenida, la estabilidad de la solución y, sobre todo, su adecuación a la pregunta científica.

Este cambio de perspectiva modifica también la unidad de análisis conceptual. Mientras que el análisis factorial y el ACP se concentran fundamentalmente en la **estructura entre variables**, el análisis de conglomerados desplaza la pregunta hacia la **estructura entre individuos**.

3.3. ¿EXISTEN PERFILES DIFERENCIADOS EN LOS DATOS?

El *cluster analysis* busca identificar grupos internamente relativamente homogéneos y externamente diferenciados a partir de medidas de similitud o distancia. Sin embargo, no existe una partición “natural” garantizada para cualquier conjunto de datos: la solución depende de las variables seleccionadas, su escalado, la métrica de distancia, el algoritmo de agrupamiento y el criterio empleado para determinar el número de conglomerados (Kaufman & Rousseeuw, 1990; Everitt et al., 2011). La silueta de Rousseeuw proporciona, por ejemplo, una medida gráfica y numérica de cohesión y separación que permite valorar la calidad de una partición (Rousseeuw, 1987).

En el análisis desarrollado, la identificación de conglomerados permitió examinar perfiles diferenciados de estudiantes a partir de los patrones observados en las variables consideradas. Los individuos asignados a un mismo conglomerado presentaron configuraciones relativamente similares, mientras que las diferencias entre conglomerados permitieron explorar estructuras que no resultaban evidentes al considerar cada variable de manera aislada. La interpretación de estos perfiles debe vincularse, no obstante, a las decisiones analíticas que los originan, incluyendo la selección y estandarización de las variables, la métrica de distancia, el método de agrupamiento y el criterio utilizado para establecer el número de conglomerados.

Un conglomerado estadístico no es una categoría ontológica.

Encontrar tres, cuatro o cinco grupos mediante un algoritmo no demuestra que la población esté constituida naturalmente por esas categorías. Las agrupaciones son modelos descriptivos dependientes de decisiones analíticas. Su utilidad debe evaluarse mediante su estabilidad, separación, interpretabilidad y pertinencia científica.

3.4. ¿CÓMO COMUNICAR LOS PERFILES MULTIVARIANTES?

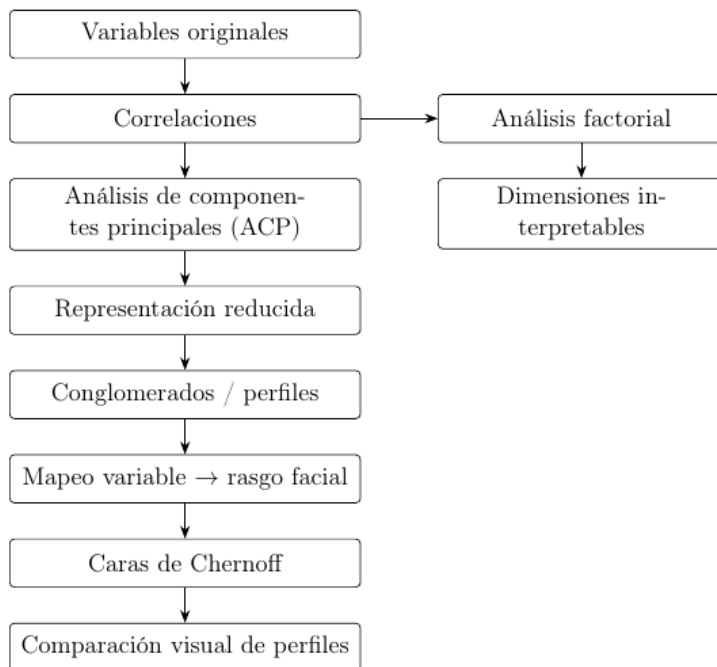
La visualización exploratoria ha ocupado históricamente un lugar esencial en el análisis de datos porque permite detectar estructuras que pueden pasar inadvertidas en tablas numéricas. Tukey defendió precisamente un enfoque exploratorio en el que las representaciones gráficas contribuyen a generar nuevas preguntas, y no únicamente a presentar resultados finales (Tukey, 1977).

Las **Caras de Chernoff** fueron propuestas por Herman Chernoff como una forma de representar observaciones multivariantes mediante rasgos faciales, asignando dimensiones numéricas a características como la forma de la cara, los ojos, la nariz o la boca. El método original permitía representar gráficamente puntos de hasta 18 dimensiones mediante un rostro (Chernoff, 1973).

En el seminario, esta técnica constituyó la culminación narrativa del recorrido: después de reducir, organizar y clasificar la información, los perfiles podían traducirse a un vocabulario visual. Los estudiantes pertenecientes a un mismo conglomerado presentaban configuraciones faciales relativamente similares, mientras que entre grupos podían observarse diferencias perceptibles. Esta correspondencia debe interpretarse con prudencia: las caras *ilustran* la estructura obtenida y pueden ser congruentes con ella, pero no constituyen una validación independiente del *clustering*.

Más aún, la asignación de variables a rasgos faciales no es neutral. Chernoff y Rizvi mostraron experimentalmente que permutar las variables que controlan determinados rasgos puede modificar el desempeño de una tarea de clasificación visual. Este resultado obliga a documentar explícitamente el mapeo entre variables y rasgos y desaconseja tratar las caras como una representación objetiva e invariante de los datos (Chernoff & Rizvi, 1975).

Figura 4: Del espacio multivariante a la identificación y representación visual de perfiles.



Una imagen no reemplaza un análisis estadístico.

Las Caras de Chernoff pueden facilitar la exploración y la comunicación de perfiles multidimensionales, pero su apariencia depende de la transformación de escalas y de la asignación de variables a rasgos faciales. Deben utilizarse como complemento interpretativo, no como evidencia confirmatoria independiente (Chernoff, 1973; Chernoff & Rizvi, 1975).

La culminación visual del recorrido adquiere, por tanto, mayor valor cuando se interpreta con cautela. Su interés no reside en afirmar que un rostro “demuestra” la existencia de un grupo, sino en facilitar la exploración y comunicación de patrones multivariantes cuya validez debe sustentarse en el análisis estadístico.

4. DISCUSIÓN

4.1. APORTACIONES DEL QRSR

La principal aportación del QRSR es metodológica: transforma una secuencia extensa de técnicas en una narrativa de decisiones articulada por preguntas. La progresión desde la descripción y la inferencia hasta la regresión, la mediación, los

modelos de ecuaciones estructurales, la exploración de estructuras latentes, la reducción dimensional, el agrupamiento y la visualización deja de entenderse como una sucesión de procedimientos y pasa a concebirse como un recorrido en el que cada resultado puede justificar una nueva pregunta. El hilo conductor no es, por tanto, RMarkdown ni una técnica concreta, sino la pregunta que hace necesario cada movimiento analítico.

Esta organización tiene una consecuencia pedagógica relevante. En lugar de memorizar qué procedimiento aplicar, el estudiante debe reconocer primero el tipo de incertidumbre que enfrenta: si necesita describir, comparar, estimar una asociación ajustada, examinar un posible mecanismo indirecto, representar un sistema de relaciones, explorar dimensiones comunes, reducir redundancia o identificar perfiles. La pregunta conduce a una familia de herramientas y, posteriormente, a la evaluación de las condiciones bajo las cuales un método concreto resulta apropiado.

Una segunda aportación consiste en ampliar el concepto operativo de reproducibilidad. La investigación reproducible ha destacado la importancia de conservar código, datos y contexto computacional, así como de reducir intervenciones manuales que separan el análisis de su comunicación (Gentleman & Lang, 2007; Peng, 2011; Sandve et al., 2013). RMarkdown resulta especialmente adecuado para este propósito porque permite que tablas, figuras y resultados sean generados a partir del mismo código que implementa los análisis. El QRSR añade a esta trazabilidad una exigencia adicional: documentar también **por qué** se ejecutó cada procedimiento y qué evidencia justificó la decisión siguiente.

Una tercera aportación es incorporar la comunicación como parte del propio análisis. La investigación estadística no concluye necesariamente cuando aparece una salida computacional; todavía es necesario evaluar si la evidencia puede interpretarse, examinarse y comunicarse sin distorsionar sus límites. La literatura sobre percepción gráfica ha mostrado que distintas representaciones no poseen necesariamente la misma eficacia para comunicar cantidades y patrones (Cleveland & McGill, 1984). La visualización constituye, por ello, una decisión metodológica y no únicamente estética.

Esta perspectiva puede resumirse como una conversación disciplinada con los datos. Primero se pregunta qué información está disponible; después, qué patrones aparecen; posteriormente, si las diferencias observadas son compatibles con la variabilidad esperable; a continuación, qué variables permiten comprenderlas; más tarde, si existe una estructura multivariante que no era visible inicialmente; y, finalmente, cómo comunicarla. El valor de cada etapa reside tanto en la respuesta obtenida como en la calidad de la pregunta que permite formular después.

Las herramientas concretas pueden cambiar. RMarkdown puede ser sustituido o complementado por Quarto, Jupyter u otros entornos; los paquetes estadísticos evolucionarán y nuevas técnicas se incorporarán al repertorio del investigador. El principio metodológico permanece: **la herramienta debe estar subordinada al problema científico.**

4.2. IMPLICACIONES METODOLÓGICAS Y DOCENTES

Desde una perspectiva docente, el QRSR permite organizar las actividades alrededor de problemas en lugar de hacerlo exclusivamente mediante nombres de procedimientos. Una sesión dedicada tradicionalmente a “ANOVA”, por ejemplo, puede formularse a partir de la pregunta sobre si las diferencias entre grupos son mayores de lo esperable por azar y cuál es su magnitud. Del mismo modo, una actividad sobre ACP puede plantearse como la necesidad de representar muchas variables mediante un número reducido de dimensiones conservando una cantidad suficiente de información. Este cambio modifica el orden cognitivo: primero aparece el problema y después la herramienta.

Para la investigación aplicada, un documento reproducible podría estructurar cada bloque analítico alrededor de cuatro elementos mínimos: **pregunta, decisión, evidencia y consecuencia.** Esta organización es suficientemente general para implementarse mediante RMarkdown, Quarto, Jupyter u otros sistemas, por lo que el QRSR no depende técnicamente de una plataforma específica. Su elemento esencial es preservar la relación entre narrativa, decisión metodológica y cómputo.

Las implicaciones se extienden también a la ciencia abierta. Cuando la ética, la confidencialidad y las licencias lo permiten, un análisis reproducible puede acompañarse de datos, scripts, diccionarios de variables, versiones de paquetes y archivos que documenten el entorno computacional. Los principios FAIR y las recomendaciones para investigación computacional reproducible favorecen precisamente la trazabilidad y reutilización de los objetos de investigación (Wilkinson et al., 2016; Sandve et al., 2013).

4.3. LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El QRSR presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar su alcance. En primer lugar, la secuencia propuesta tiene una finalidad metodológica y pedagógica, pero no pretende constituir un orden universal de análisis. Un estudio confirmatorio preregistrado puede comenzar directamente con un modelo definido *a priori*; un análisis predictivo puede requerir validación cruzada y evaluación fuera de

muestra; y un diseño experimental puede exigir separar estrictamente las decisiones confirmatorias de las exploraciones posteriores. El QRSR debe adaptarse a estas situaciones y no sustituirlas.

En segundo lugar, la idea de que cada respuesta puede generar una nueva pregunta no debe interpretarse como una autorización para realizar análisis *post hoc* ilimitados. Cuantas más decisiones se adoptan sobre los mismos datos, mayor es la necesidad de distinguir entre hipótesis confirmatorias y hallazgos exploratorios, documentarlas, considerar la multiplicidad y, cuando sea posible, validar los resultados con información independiente.

En tercer lugar, los términos explicación, mediación y causalidad requieren especial cautela. Ni la regresión, ni el análisis de mediación, ni los modelos de ecuaciones estructurales transforman por sí mismos una asociación en un efecto causal. La interpretación causal depende del diseño, la temporalidad, la medición y los supuestos identificadores. En un conjunto de datos utilizado primordialmente con finalidad docente, resulta más adecuado hablar de relaciones compatibles con determinados mecanismos hipotéticos que afirmar que una metodología produce causalmente un cambio en el rendimiento.

En cuarto lugar, la reducción dimensional, el agrupamiento y la representación mediante Caras de Chernoff dependen de decisiones analíticas. La estandarización de las variables puede modificar las distancias; la selección de componentes puede alterar una partición; distintos algoritmos pueden producir soluciones diferentes; y cambios en la asignación de variables a rasgos faciales pueden modificar la percepción de los perfiles. La reproducibilidad permite hacer visibles estas decisiones, pero no elimina su influencia.

Finalmente, el QRSR continúa siendo un marco conceptual derivado de una experiencia docente. El presente trabajo no aporta una comparación experimental que permita concluir que la enseñanza organizada mediante QRSR mejora la comprensión, la transferencia o la capacidad de seleccionar procedimientos frente a otros enfoques. Su validación educativa constituye, por tanto, una línea futura prioritaria.

El desarrollo posterior del marco puede avanzar en varias direcciones: comparar empíricamente el aprendizaje guiado por preguntas con secuencias tradicionales; extender el recorrido a modelos generalizados, métodos robustos, remuestreo, clasificación supervisada y validación predictiva; fortalecer la reproducibilidad mediante entornos versionados, pruebas automatizadas y repositorios archivables; y estudiar cómo las diferentes representaciones multivariantes afectan a la comprensión e interpretación de perfiles.

5. CONCLUSIONES

El caso desarrollado durante el seminario Erasmus+ muestra que el análisis estadístico puede enseñarse y documentarse como un proceso continuo de construcción de evidencia en lugar de como una sucesión de técnicas inconexas. La descripción proporcionó la primera comprensión de los datos; la inferencia permitió examinar diferencias; la regresión transformó la comparación en una pregunta explicativa; la mediación y el SEM hicieron explícita una estructura hipotética de relaciones; el análisis factorial y el ACP exploraron dimensiones y representaciones más parsimoniosas; el clustering desplazó la atención hacia perfiles de individuos; y las Caras de Chernoff cerraron el recorrido mediante una representación visual multivariante.

La contribución conceptual del Question-Driven Reproducible Statistical Reasoning consiste en organizar esta progresión alrededor de preguntas. No se propone una técnica nueva ni un sustituto de los marcos de ciencia de datos existentes. Se propone una regla de disciplina metodológica: ningún procedimiento debería aparecer en el análisis sin que el lector pueda reconocer qué pregunta pretende responder y qué evidencia justificó avanzar hacia él.

RMarkdown desempeña un papel instrumental importante porque reúne narración y computación en el mismo artefacto. No obstante, el principio es independiente de la tecnología. Un QRSR podría implementarse mediante Quarto, Jupyter o cualquier sistema que permita conservar de forma fiable datos, código, resultados, documentación y versiones. Lo permanente no es el archivo .Rmd; es la trazabilidad del razonamiento.

La experiencia también obliga a redefinir la reproducibilidad. Volver a obtener la misma tabla es necesario, pero insuficiente. Un investigador debe poder conocer por qué se eligieron esas variables, por qué se evaluó determinado supuesto, por qué una pérdida de significación llevó a examinar una mediación, por qué se eligió una estrategia de reducción y cómo se tradujeron perfiles numéricos en rasgos visuales. Reproducir un análisis significa también poder reconstruir su arquitectura intelectual.

6. AGRADECIMIENTOS

Este capítulo de libro constituye un resultado de investigación derivado de las actividades académicas desarrolladas en la Universidad de Vigo (España), en el marco de una movilidad docente Erasmus+ del autor, bajo su filiación institucional con la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (USAT, Perú). El trabajo se desarrolló en el contexto del seminario Análisis multivariante de datos en investigación educativa mediante software libre, impartido en el Doctorado Interuniversitario en Equidad e Innovación en Educación.

REFERÊNCIAS

- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51 (6), 1173-1182. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
- Bartlett, M. S. (1954). A note on the multiplying factors for various χ^2 approximations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 16 (2), 296-298. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1954.tb00174.x>
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1 (2), 245-276. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102_10
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., & Wirth, R. (2000). CRISP-DM 1.0: Step-by-Step Data Mining Guide (inf. téc.). SPSS. Chicago.
- Chernoff, H. (1973). The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, 68 (342), 361-368. <https://doi.org/10.1080/01621459.1973.10482434>
- Chernoff, H., & Rizvi, M. H. (1975). Effect on classification error of random permutations of features in representing multivariate data by faces. *Journal of the American Statistical Association*, 70 (351a), 548-554. <https://doi.org/10.1080/01621459.1975.10482470>
- Cleveland, W. S., & McGill, R. (1984). Graphical perception: Theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. *Journal of the American Statistical Association*, 79 (387), 531-554. <https://doi.org/10.1080/01621459.1984>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1), 155-159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Costello, A. B., & Osborne, J. W. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10 (7). <https://doi.org/10.7275/jyj1-4868>
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis* (5.a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470977811>
- Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallum, R. C., & Strahan, E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4 (3), 272-299.
- Gentleman, R., & Lang, D. T. (2007). Statistical analyses and reproducible research. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 16 (1), 1-23. <https://doi.org/10.1198/106186007X178663>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8.a ed.). Cengage.
- 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>
- Hu, L.-t., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6 (1), 1-55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis* (2.a ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/b98835>

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374 (20150202). <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39 (1), 31-36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>

Kaiser, H. F., & Rice, J. (1974). Little Jiffy, Mark IV. *Educational and Psychological Measurement*, 34 (1), 111-117. <https://doi.org/10.1177/001316447403400115>

Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470316801>

Kline, R. B. (2023). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (5.a ed.). Guilford Press.

Knuth, D. E. (1984). Literate programming. *The Computer Journal*, 27 (2), 97-111. <https://doi.org/10.1093/comjnl/27.2.97>

Peng, R. D. (2011). Reproducible research in computational science. *Science*, 334 (6060), 1226-1227. <https://doi.org/10.1126/science.1213847>

Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40 (3), 879-891. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.3.879>

Rencher, A. C., & Christensen, W. F. (2012). *Methods of Multivariate Analysis* (3.a 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>

Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53-65. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)

Sandve, G. K., Nekrutenko, A., Taylor, J., & Hovig, E. (2013). Ten simple rules for reproducible computational research. *PLoS Computational Biology*, 9 (10), e1003285. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003285>

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3-4), 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>

Shearer, C. (2000). The CRISP-DM model: The new blueprint for data mining. *Journal of Data Warehousing*, 5 (4), 13-22.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2022). *Using Multivariate Statistics* (7.a ed.). Pearson.

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J.-W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

Xie, Y. (2015). *Dynamic Documents with R and knitr* (2.a ed.). Chapman & Hall/CRC.

Xie, Y., Allaire, J. J., & Grolemund, G. (2018). *R Markdown: The Definitive Guide*. Chapman & Hall/CRC.

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

