

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 Emilas 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 MªGraça 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 1

ANÁLISIS DEL MODELO DINÁMICO DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO INDUSTRIAL EN REFERENCIA AL DISEÑO DE SU SISTEMA DE CONTROL¹

Data de submissão: 15/07/2026

Data de aceite: 31/07/2026

Alejandro Armando Hossian

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Plaza Huincul, Provincia de Neuquén
República Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0812-1806>

Roberto Carabajal

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Plaza Huincul, Provincia de Neuquén
República Argentina

Carolina Hirschfeldt

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Plaza Huincul, Provincia de Neuquén
República Argentina

Emanuel Maximiliano Alveal

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Plaza Huincul, Provincia de Neuquén
República Argentina

RESUMEN: El campo de conocimientos correspondientes a la “Dinámica” coloca su énfasis en el análisis del movimiento de los cuerpos teniendo en cuenta las causas que lo producen. En este sentido, el “Modelo Dinámico” de un robot manipulador estudia la relación entre el movimiento producido en el robot y los pares/fuerzas aplicadas por los accionadores en las articulaciones de este. Para obtener esta importante relación es fundamental la construcción del modelo dinámico, el cual permite vincular matemáticamente las siguientes cuestiones: I. La localización del robot definida por sus variables articulares o coordenadas de su extremo, y sus derivadas (velocidad y aceleración). II. Los pares y fuerzas aplicados en las articulaciones o extremo del robot. III. Los parámetros dimensionales del robot (longitudes, masas e inercia de sus elementos). En el presente artículo se trabaja sobre la obtención del modelo dinámico del robot manipulador, a los efectos de explicar ciertos fenómenos físicos presentes en su estructura mecánica, y que son sustanciales a la hora de acometer la importante tarea de diseño y evaluación de dicha estructura, a saber: “Efectos Inerciales” – “Fuerzas Centrípetas y de Coriolis” – “Par Gravitacional” y “Fricción”. El modelo matemático que se obtiene, por lo general se expresa mediante una serie de ecuaciones diferenciales de 2do orden, cuya integración proporciona el tipo de movimiento que surge al aplicar fuerzas; o

¹ Presentado anteriormente en el 14° Congreso Internacional de Computación Aplicada a la Industria de Procesos CAIP 2019.

que fuerzas hay que aplicar para alcanzar un cierto movimiento. A modo de ejemplo, se implementa el algoritmo computacional de Lagrange en Matlab, haciendo uso del toolbox correspondiente propio de robótica.

PALABRAS CLAVE: Modelo Dinámico; Formulación Lagrangiana; Algoritmo Computacional.

ANALYSIS OF THE DYNAMIC MODEL OF AN INDUSTRIAL ROBOTIC MANIPULATOR WITH REGARD TO THE DESIGN OF ITS CONTROL SYSTEM

ABSTRACT: The field of knowledge corresponding to “Dynamics” places its emphasis on the analysis of the movement of bodies taking into account the causes that produce it. In this sense, the “Dynamic Model” of a manipulative robot studies the relationship between the movement produced in the robot and the pairs / forces applied by the actuators in its joints. In order to obtain this important relationship, the construction of the dynamic model is fundamental, which allows the following questions to be mathematically linked: I. The location of the robot defined by its articular variables or coordinates of its end, and its derivatives (speed and acceleration). II. The torques and forces applied to the joints or end of the robot. III. The dimensional parameters of the robot (lengths, masses and inertia of its elements. In this article we work on obtaining the dynamic model of the manipulator robot, in order to explain certain physical phenomena present in its mechanical structure, and which are substantial when undertaking the important task of design and evaluation of said structure, namely: “Inertial Effects” - “Centripetal and Coriolis Forces” - “Gravitational Pair” and “Friction”. The mathematical model that is obtained is usually expressed through a series of differential equations of the 2nd order, whose integration provides the type of movement that arises when applying forces; or what forces must be applied to reach a certain movement.

KEYWORDS: Dynamic Model; Lagrangian Formulation; Computational Algorithm.

1. INTRODUCCIÓN

El “Modelo Dinámico” estudia la relación entre el movimiento producido en el robot y los pares/fuerzas aplicadas por los accionadores en las articulaciones del robot.

1.1. MODELO DINÁMICO

El modelo dinámico vincula matemáticamente los siguientes elementos:

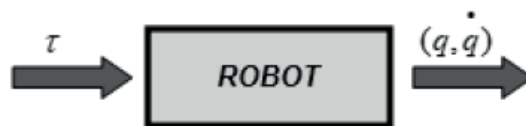
- I. La localización del robot definida por sus variables articulares o coordenadas de su extremo, y sus derivadas (velocidad y aceleración).
- II. Los pares y fuerzas aplicados en las articulaciones o extremo del robot.
- III. Los parámetros dimensionales del robot (longitudes, masas e inercia de sus elementos. El modelo matemático que se obtiene se expresa mediante una serie de ecuaciones diferenciales de 2do orden, de cuya integración surgen dos opciones (Paul, 1981):

- A. Modelo Dinámico Directo:** la evolución en el tiempo de las variables articulares en función de las fuerzas y pares que intervienen: $(q(t) = f(\tau(t)))$.
- B. Modelo Dinámico Inverso:** la evolución en el tiempo de fuerzas y pares aplicados para obtener una cierta evolución temporal de las variables articulares $(\tau(t) = g(q(t)))$.

El modelo dinámico de un robot manipulador de n grados de libertad es: $\tau(t) = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F_f(\dot{q}, f_e)$ (1)

Donde $\tau(t)$ es el vector de fuerzas o pares que se aplica a cada articulación, $q \in R^n$ es el vector de posiciones articulares o coordenadas generalizadas, $\dot{q} \in R^n$ es el vector de velocidades articulares, $\ddot{q} \in R^n$ es el vector de aceleraciones articulares, $M(q) \in R^{n \times n}$ es la matriz de inercia (representa el cambio de estado de movimiento del robot y es fundamental para el estudio de la estabilidad del sistema de control), $C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$ es la matriz de fuerzas centrípetas (fuerzas radiales en movimientos curvilíneos hacia adentro del centro de curvatura) y de Coriolis (esta fuerza representa la desviación del movimiento de traslación a raíz de su componente de rotación y, al igual que la matriz $M(q)$, también es vital en el estudio de la estabilidad del sistema de control del robot), $G(q) \in R^n$ es el vector de pares gravitacionales (vector gradiente de la energía potencial) y $F_f(\dot{q}, f_e) \in R^n$ es el vector de pares de fricción (viscosa, Coulomb y estática) de cada articulación del manipulador. En síntesis, la expresión (1) es una ecuación diferencial compleja (Reyes Cortés, 2011), multivariable con dinámica fuertemente acoplada y “no lineal” en el vector de estados $[q^T, \dot{q}^T]^T$. El modelo representado por (1) se ilustra en (Figura 1) como un “sistema dinámico” con el vector t como entrada y los vectores como $(q, \dot{q})$ salidas del sistema.

Figura 1. Diagrama de bloques del Modelo Dinámico del Robot.



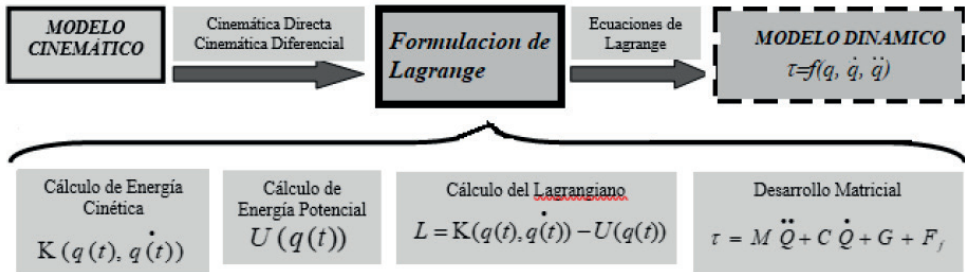
La complejidad del modelo dinámico está dada, fundamentalmente, por las matrices $M(q)$, $C(q, \dot{q})$, $G(q)$ y $F_f(\dot{q}, f_e)$; cuyos elementos son funciones relativamente complejas de las posiciones y velocidades de cada articulación, y también de la geometría del robot (Spong, 2006).

1.2. ECUACIONES DE EULER – LAGRANGE

La formulación de Lagrange describe la dinámica de un robot a partir de un balance de energía, la cual se expresa en términos de energía cinética y potencial. En (Figura 2) se

observa el proceso metodológico empleado para la obtención del modelo dinámico; de la primera fase de la investigación se obtiene la cinemática directa y diferencial (posiciones y velocidades articulares), luego se aborda la formulación lagrangiana con los cálculos la energía cinética, potencial, el lagrangiano y el desarrollo matricial que permite obtener el vector de fuerzas o pares (τ) que se aplica a cada articulación en función de las coordenadas articulares, velocidades y aceleraciones ($q, \dot{q}$ y $\ddot{q}$) (Gates, 2007).

Figura 2. Proceso metodológico propuesto para la obtención del Modelo Dinámico.



Las ecuaciones escalares dinámicas de movimiento de Lagrange (2) para un robot manipulador de n grados de libertad (gdl) se formulan para cada (gdl), donde la expresión $\tau - F_f(\dot{q}, f_e)$ hace referencia a las fuerzas o pares no conservativos en cada articulación.

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_i} \right] - \frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial q_i} = \tau - F_f(\dot{q}, f_e) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

2. CONDICIONES EXPERIMENTALES

En (Figura 3) se ilustra un robot planar experimental de dos (gdl) con dos articulaciones rotacionales, dos eslabones de longitudes (l_1 y l_2) y masas (m_1 y m_2), las distancias entre los centros de masas (CM) y los ejes de giro (l_{c1} y l_{c2}), las posiciones articulares $q_1(t)$ y $q_2(t)$ y los momentos de inercia de cada eslabón con respecto al eje que pasa por su centro de masa (J_1 e J_2). Se procede a obtener el “Modelo Dinámico” (Barrientos, 2007):

I. Cálculo de la Energía Cinética: la energía cinética total del robot es la suma de la energía almacenada en cada eslabón ($K_{\text{Total}} = K_1 + K_2$); para cada uno, la contribución a la energía cinética total está dada por la porción de energía que aporta la velocidad de traslación del centro de masa, más la aportada por la velocidad de rotación en torno al CM. De la cinemática diferencial se obtiene las coordenadas y velocidades del CM de cada eslabón:

Para el eslabón 1: $x_1 = l_{c1}C_1$, $y_1 = l_{c1}S_1$; luego:

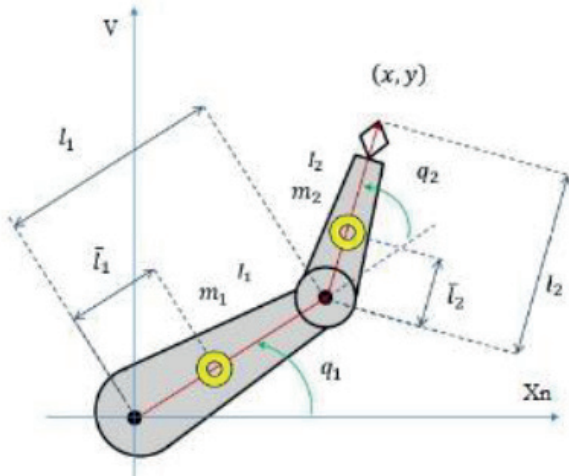
$$v_1 = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{c1}C_1\dot{q}_1 \\ l_{c1}S_1\dot{q}_1 \end{bmatrix}, \quad \text{el cuadrado de la velocidad del CM}_1 \text{ es}$$

$$v_1^T v_1 = [l_{c1}C_1\dot{q}_1 \quad l_{c1}S_1\dot{q}_1] \begin{bmatrix} l_{c1}C_1\dot{q}_1 \\ l_{c1}S_1\dot{q}_1 \end{bmatrix} = l_{c1}^2\dot{q}_1^2.$$

La energía cinética total del eslabón 1 es:

$$K_1(q, \dot{q}) = K_{1T} + K_{1R} = \frac{1}{2}m_1v_1^T v_1 + \frac{1}{2}J_1\dot{q}_1^2 = \frac{1}{2}m_1l_{c1}^2\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}J_1\dot{q}_1^2 \quad (3).$$

Figura 3. Robot planar de dos grados de libertad.



Para el eslabón 2 se tiene: $x_2 = l_1C_1 + l_{c2}C_{12}$, $y_2 = l_1S_1 + l_{c2}S_{12}$; Derivando respecto al tiempo, efectuando $v_2^T v_2$ y considerando que el efecto de la energía cinética rotacional está dado por la suma de las velocidades ($\dot{q}_1 + \dot{q}_2$), es:

$$K_2(q, \dot{q}) = K_{2T} + K_{2R} = \frac{1}{2}m_2v_2^T v_2 + \frac{1}{2}J_2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2, \quad \text{desarrollando:}$$

$$K_2(q, \dot{q}) = \frac{m_2}{2}l_1^2\dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2}l_{c2}^2(\dot{q}_1^2 + 2\dot{q}_1\dot{q}_2 + \dot{q}_2^2) + m_2l_1l_{c2}(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1\dot{q}_2)C_2 + \frac{1}{2}J_2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \quad (4).$$

La energía cinética total del robot reemplazando (3) y (4) en $K_{\text{Total}} = K_1 + K_2$ obteniéndose:

$$K_{\text{TOTAL}}(q, \dot{q}) = \frac{1}{2}m_1l_{c1}^2\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}J_1\dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2}l_1^2\dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2}l_{c2}^2(\dot{q}_1^2 + 2\dot{q}_1\dot{q}_2 + \dot{q}_2^2) +$$

$$m_2l_1l_{c2}(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1\dot{q}_2)C_2 + \frac{1}{2}J_2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \quad (5)$$

II. Cálculo de la Energía Potencial: la energía potencial total del robot es la suma de la energía almacenada en cada eslabón ($U_{Total}=U_1+U_2=m_1gl_{c1}S_1+m_2g(l_1S_1+l_{c2}S_{12})$) (6).

III. Cálculo del Lagrangiano: $L = K_{TOTAL}(q(t), \dot{q}(t)) - U_{TOTAL}(q(t))$ (7); se sustituye (5) - (6) en (7):

$$L(q, \dot{q}) = \frac{1}{2}m_1l_{c1}^2\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}J_1\dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2}l_1^2\dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2}l_{c2}^2(\dot{q}_1^2 + 2\dot{q}_1\dot{q}_2 + \dot{q}_2^2) + m_2l_1l_{c2}(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1\dot{q}_2)C_2 + \frac{1}{2}J_2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 - m_1gl_{c1}S_1 - m_2g(l_1S_1 + l_{c2}S_{12}) \quad (7)$$

Se aplica la ecuación (2) para cada (gdl) del robot (o cada coordenada generalizada q_1 y q_2).

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_1} \right] = [m_1l_{c1}^2 + J_1 + J_2 + m_2(l_1^2 + l_{c2}^2 + 2l_1l_{c2}C_2)]\ddot{q}_1 - [m_2l_{c2}(l_1C_2 + l_{c2}) + J_2]\ddot{q}_2 - [2m_2l_1l_{c2}S_2]\dot{q}_1\dot{q}_2 - [m_2l_1l_{c2}S_2]\dot{q}_2^2 \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_2} \right] = [m_1l_{c2}^2 + J_2]\ddot{q}_2 + [m_2l_{c2}(l_1C_2 + l_{c2}) + J_2]\ddot{q}_1 - [m_2l_1l_{c2}S_2]\dot{q}_1 \quad (9)$$

$$\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_1} = -g[(m_1l_{c1} + m_2l_1)C_1 + m_2l_{c2}C_{12}] \quad (10)$$

$$\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_2} = -[m_2l_1l_{c2}S_2]\dot{q}_1^2 - [m_2l_1l_{c2}S_2]\dot{q}_1\dot{q}_2 - gm_2l_{c2}C_{12} \quad (11)$$

IV. Desarrollo Matricial: se aplica la ecuación (2) para las coordenadas articulares 1 y 2, obteniéndose el par 1 y 2. Para obtener los pares 1 y 2 se opera de esta manera con las ecuaciones (8), (9), (10) y (11): $\tau_1 = (8) - (10)$ & $\tau_2 = (9) - (11)$ (pares que actúan en las articulaciones 1 y 2); que escritas en forma matricial es esta ecuación (12) (Craig):

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1l_{c1}^2 + J_1 + J_2 + m_2(l_1^2 + l_{c2}^2 + 2l_1l_{c2}C_2) & m_2l_{c2}(l_1C_2 + l_{c2}) + J_2 \\ m_2l_{c2}(l_1C_2 + l_{c2}) + J_2 & (m_2l_{c2}^2 + J_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2m_2l_1l_{c2}S_2\dot{q}_2 & -m_2l_1l_{c2}S_2\dot{q}_2 \\ m_2l_1l_{c2}S_2\dot{q}_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g[(m_1l_{c1} + m_2l_{c2}C_{12})] \\ gm_2l_{c2}C_{12} \end{bmatrix}$$

2.1. SIMULACIÓN EN MATLAB

La Toolbox de Robótica para Matlab, incluye la función `rne` que permite la resolución del modelo dinámico inverso de un robot mediante un algoritmo computacional (Ollero, 2007).

Para su uso es preciso haber definido previamente el robot, incluyendo parámetros dinámicos.

En el caso del robot, la definición responde al siguiente conjunto de instrucciones:

```
%(c) FUNDAMENTOS DE ROBOTICA (A. Barrientos) McGrawHill 2007
```

```
l1=10; l2=10;
```

```
d1=6; d2=6;
```

```
m1=20; m2=10;
```

```
clear L
```

```
%Parámetros de Denavit Hartenberg
```

```
L{1} = link([0 l1 0 0], 'standard'); L{2} = link([0 l2 0 0], 'standard');
```

```
%Masas de los eslabones
```

```
L{1}.m = m1; L{2}.m = m2;
```

```
%Coordenadas de los centros de masas de cada eslabón
```

```
L{1}.r = [ -(l1-d1) 0 0 ]; L{2}.r = [ -(l2-d2) 0 0 ];
```

```
% Tensores de Inercia (lxx,lyy,lzz,lxy,lyz,lxz)
```

```
L{1}.I = [ 0 0 0 0 0 0]; L{2}.I = [ 0 0 0 0 0 0];
```

```
% Inercia del motor que acciona al elemento
```

```
L{1}.Jm = 0; L{2}.Jm = 0;
```

```
% Coeficiente de reducción del actuador del elemento
```

```
L{1}.G = 1; L{2}.G = 1;
```

```
% Rozamiento viscoso del actuador del elemento
```

```
L{1}.B = 0; L{2}.B = 0;
```

```
% Rozamiento de Coulomb en la dirección positiva y negativa del actuador del elemento
```

```
L{1}.Tc = [ 0 0]; L{2}.Tc = [ 0 0];
```

```
% Definición del robot.
```

```
Scara = robot(L, 'Scara', 'UPM', 'Robot Scara 2 GDL'); Scara.name = 'Scara'; Scara.manuf = 'UPM';
```

La function `rne`, proporciona los pares necesarios para una determinada trayectoria, definida mediante los vectores que contienen las coordenadas articulares, sus velocidades y aceleraciones. Por lo tanto, será preciso definir previamente estos.

Complementarias a la función `rne` la Toolbox de Robotica para Matlab cuenta con las funciones `itorque`, `Coriolis` y `gravedad`, que obtienen las aportaciones al par total por inercia, coriolis y gravedad respectivamente.

En las gráficas siguientes se recoge el resultado de este código para la trayectoria,

```

q1='sin(t)+pi/2'; q2='sin(5*t)+t+1';
% Número de puntos de la trayectoria
n=100;
% Definición de la trayectoria
%-----
% Definición simbólica de la posición
sq1='sin(t)*t+pi/2'; sq2='sin(5*t)+t+1';
% Definición de Fuerzas en el extremo
%-----
sf3='[0 0 0]'; % Sustituir en cada eje en caso de querer aplicar
sn3='[0 0 0]'; % fuerzas o pares externos
% Obtención simbólica de la velocidad y aceleración
sqd1=diff(sq1,sym('t'));sqdd1=diff(sqd1,sym('t'));
sqd2=diff(sq2,sym('t'));sqdd2=diff(sqd2,sym('t'));
% Parámetros dimensionales
%-----
l1=10; l2=10; d1=6; d2=6; m1=20; m2=10; g=9.8;
% Parámetros iniciales
%-----
% Velocidades y aceleraciones de la base del robot
w0=[0 0 0]'; dw0=[0 0 0]'; v0=[0 0 0]'; dv0=-[0 -g 0]'; z0=[0 0 1]';
% Matriz de rotación entre {S2} y TCP ({S3})
%-----
R23=eye(3);
% Bucle de paso de tiempo
%-----
for tk=1:1:n; t=(tk-1)/10;
% Evaluación numérica de posición, velocidad, aceleración y trayectoria del TCP
%-----
q1=eval(sq1);qd1=eval(sqd1);qdd1=eval(sqdd1);
q2=eval(sq2);qd2=eval(sqd2);qdd2=eval(sqdd2);

```

```

q(tk,1)=q1;qd(tk,1)=qd1;qdd(tk,1)=qdd1; q(tk,2)=q2;qd(tk,2)=qd2;qdd(tk,2)=qdd2;
XY(tk,1)=l1*cos(q1)+l2*cos(q1+q2); XY(tk,2)=l1*sin(q1)+l2*sin(q1+q2);
%Evaluación numérica de las fuerzas y pares en el TCP
%-----
n3=eval(sn3)'; f3=eval(sf3)'; n_3(tk,:)=n3'; f_3(tk,:)=f3';
% PASO 1-2 Evaluacion de los vectores p,s y de la matriz de inercias
%-----
p1=[l1 0 0]'; %vector de {S0} a {S1}en el sistema {S1}
p2=[l2 0 0]'; %vector de {S1} a {S2}en el sistema {S2}
s1=[-(l1-d1) 0 0]'; %Coordenadas del cdg de la barra 1 respecto {S1}
s2=[-(l2-d2) 0 0]'; %Coordenadas del cdg de la barra 2 respecto {S2}
l1=zeros(3); %Inercias de barra 1 respecto su cdg en la base{S1};
l2=zeros(3); %Inercias de barra 2 respecto su cdg en la base{S2};
% PASO 3 Obtención de las matrices de rotación R01 y R12
%-----
R01=[cos(q1) -sin(q1) 0;sin(q1) cos(q1) 0;0 0 1];
R12=[cos(q2) -sin(q2) 0;sin(q2) cos(q2) 0;0 0 1];
%PASO 4 Evaluación de las velocidades angulares de {Si}
%-----
w1=R01'*(w0+z0*qd1); w2=R12'*(w1+z0*qd2);
% PASO 5 Evaluación de las aceleraciones angulares de {Si}
%-----
dw1=R01'*(dw0 +z0*qdd1)+cross(w0,z0*qd1);
dw2=R12'*(dw1 +z0*qdd2)+cross(w1,z0*qd2);
% PASO 6 Evaluación de las aceleraciones lineales de {Si}
%-----
dv1=cross(dw1,p1)+cross(w1,cross(w1,p1))+R01'*dv0; dv2=cross(dw2,p2)+cross(w
2,cross(w2,p2))+R12'*dv1;
% PASO 7 Evaluación de la aceleración lineal de los cdg
%-----
a1=cross(dw1,s1)+cross(w1,cross(w1,s1))+dv1; a2=cross(dw2,s2)+cross(w2,cross(
w2,s2))+dv2;
% PASO 8 Evaluación de las fuerzas sobre los eslabones
%-----
f2=R23*f3+m2*a2; f1=R12*f2+m1*a1;

```

```

% PASO 9 Evaluación de los pares sobre los eslabones
%-----
n2=R23*(n3+cross((R23'*p2),f3))+cross((p2+s2),m2*a2)+I2*dw2+cross(w2,(I2
*w2));
n1=R12*(n2+cross((R12'*p1),f2))+cross((p1+s1),m1*a1)+I1*dw1+cross(w1,(I1*w1));
% PASO 10 Evaluación de los pares
%-----
P1=n1'*R01'*z0; P2=n2'*R12'*z0; PARES(tk,1)=P1; PARES(tk,2)=P2;
% FIN DEL ALGORITMO
%-----
%-----
% VERIFICACIÓN:
% Este código es únicamente a efectos de verificar que la programación del
algoritmo es correcta. Obtiene % la
solución analítica obtenida manualmente
T1=(m1*d1^2+m2*(l1^2+d2^2+2*l1*d2*cos(q2)))*qdd1+(m2*d2*(l1*cos(q2)+d2))*q
dd2-(2*m2*l1*d2*sin(q2))*qd2*qd1-(m2*d2*l1*sin(q2))*qd2*qd2
+g*((m1*d1+m2*l1)*cos(q1)+ m2*d2*cos(q1+q2));
T2=(m2*d2*(l1*cos(q2)+d2))*qdd1+(m2*d2^2)*qdd2+ (m2*d2*l1*sin(q2))*qd1*qd1+
g*m2*d2*cos(q1+q2);
PARES1(tk,1)=T1; PARES2(tk,2)=T2;
%-----
end % fin del bucle de paso de tiempo
%-----
%-----
% VERIFICACIÓN:
% Este código es únicamente a efectos de verificar que la programación del
algoritmo es correcta
% Obtiene la solución mediante la función rne de la toolbox de robótica de Matlab
DefScara; % Se define el robot
grav=[0,9.8,0]; % Se define la gravedad con respecto al sistema {S0}
PARES3=rne(Scara,q,qd,qdd,grav,[f_3,n_3]);
%-----
% Presentación Gráfica de los resultados
figure(2)

```

```

Tau=rne(Rej5_6,q,qd,qdd,grav);
TauG = gravload(Rej5_6,q,grav);
TauC = coriolis(Rej5_6,q,qd);
Taul = itorque(Rej5_6,q,qdd);
subplot(2,4,1), hold
plot(Tau(:,1)),plot(T1,'rx'),title('Par Total Q1 L'),grid
legend(strcat('Q1:',sq1),'Location','SouthOutside')
legend boxoff,hold
subplot(2,4,2), plot(Taul(:,1)),title('Par Inercia Q1 L'),grid
subplot(2,4,3), plot(TauC(:,1)),title('Par Coriolis Q1 L'),grid
subplot(2,4,4), plot(TauG(:,1)),title('Par Gravedad Q1 L'),grid
subplot(2,4,5), hold
plot(Tau(:,2)),plot(F2,'rx'),title('Par Total Q2 L'),grid
legend(strcat('Q2:',sq2),'Location','SouthOutside')
legend boxoff,hold
subplot(2,4,6), plot(Taul(:,2)),title('Par Inercia Q2 L'),grid
subplot(2,4,7), plot(TauC(:,2)),title('Par Coriolis Q2 L'),grid
subplot(2,4,8), plot(TauG(:,2)),title('Par Gravedad Q2 L'),grid

```

Figura 4. Definición simbólica de la posición Q1.

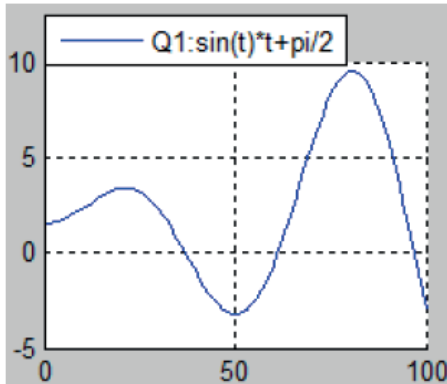


Figura 5. Definición simbólica de la posición Q2.

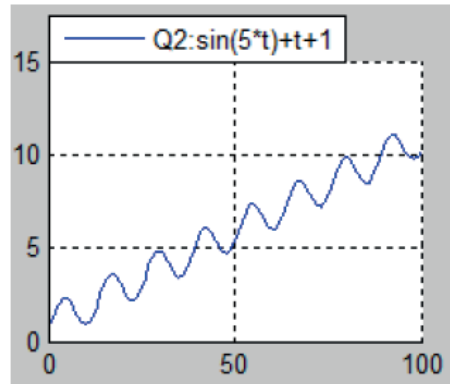


Figura 6. Par Q1 obtenido del algoritmo de Lagrange.

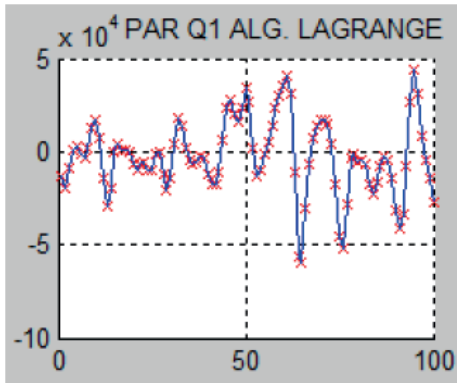


Figura 7. Par Q1 obtenido del algoritmo de Lagrange.

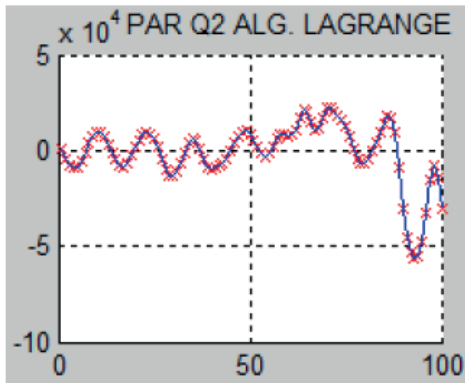


Figura 8. Par Total Q1 obtenido por Lagrange.

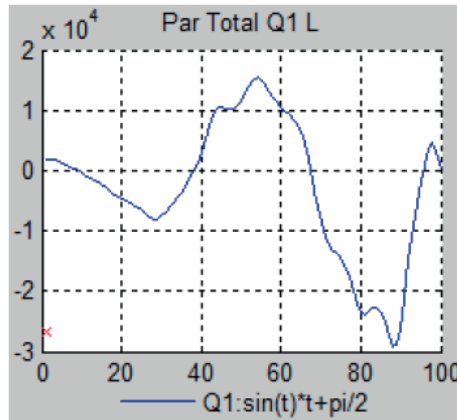


Figura 9. Par Total Q2 obtenido por Lagrange.

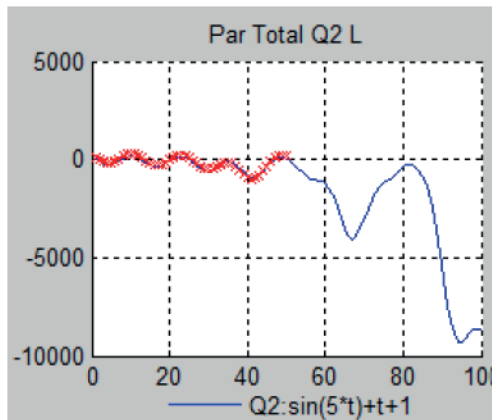


Figura 10. Par Inercia Q1 obtenido por Lagrange.

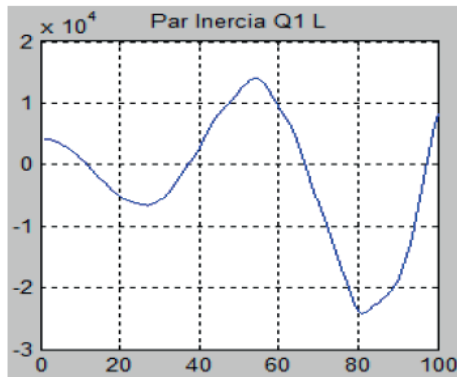


Figura 11. Par Inercia Q2 obtenido por Lagrange.

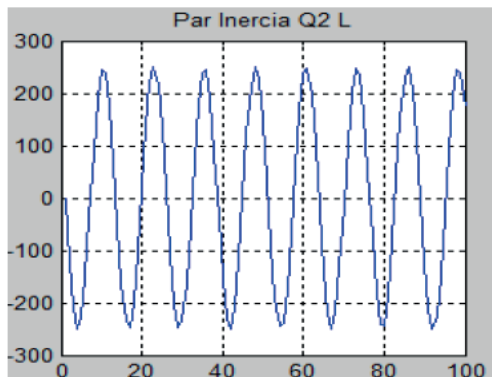


Figura 12. Par Coriolis Q1 obtenido por Lagrange.

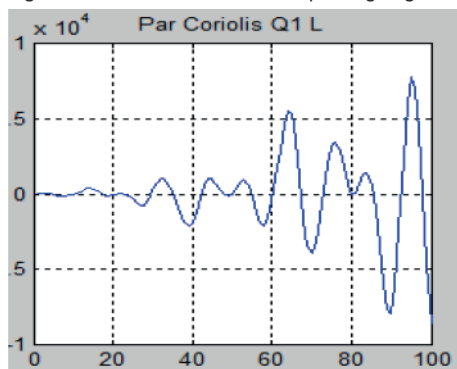


Figura 13. Par Coriolis Q2 obtenido por Lagrange.

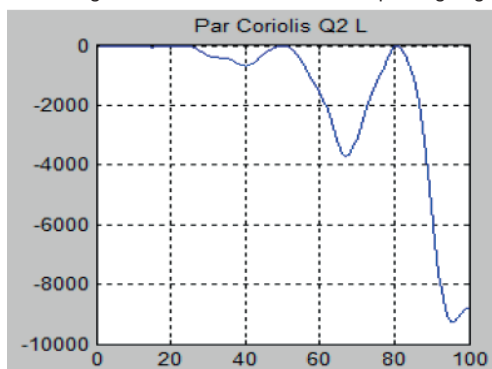


Figura 14. Par Gravedad Q1 obtenido por Lagrange.

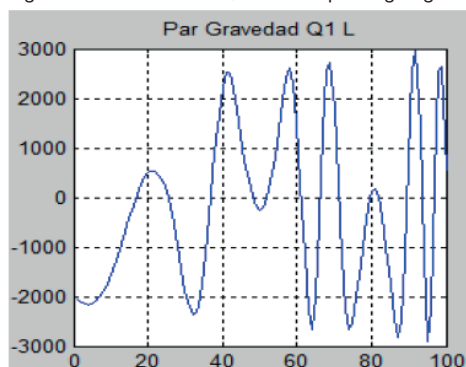
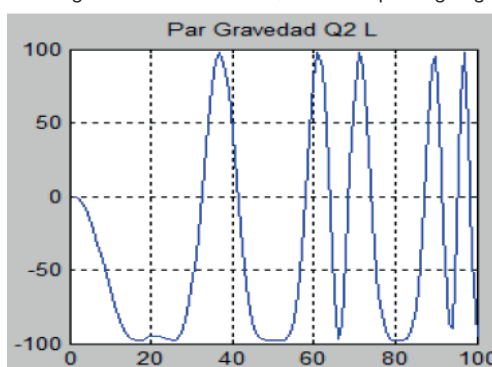


Figura 15. Par Gravedad Q2 obtenido por Lagrange.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso metodológico presentado en figura 2 parte del análisis de la cinemática directa y diferencial obtenida del respectivo modelo cinemático; el cual permite obtener los pares que deben aplicados en las respectivas articulaciones para que el robot pueda realizar sus prestaciones correctamente. La contribución a estos pares posee distintas aportaciones observando (12); a saber: 1) el par que debe vencer efectos inerciales donde la matriz de inercia $M(q)$ es una generalización del momento de inercia clásico de un cuerpo (primer término $M(q)\ddot{q}$), 2) el par que debe vencer efectos centrífugos y de Coriolis (segundo término $C(q,\dot{q})\dot{q}$) y 3) el par que debe vencer efectos gravitatorios (tercer término $G(q)$). De la discusión de (12) se observan algunas cuestiones de interés para el proceso de diseño; la aportación del par inercial aumenta en la medida que se tengan eslabones con valores mayores de J_1 y J_2 , y mayores distancias de los CM a los centros de giro (l_{c1} y l_{c2}). Cabe igual razonamiento para la contribución del par gravitacional al par total. También se deben tener en

cuenta los aportes realizados por las fuerzas centrífugas y de Coriolis; si se efectúa el producto matricial en el tercer término de (12), por un lado, se obtienen los pares centrífugos: $[m_2 l_1 l_{c2} S_2] \dot{q}_1^2 - [m_2 l_1 l_{c2} S_2] \dot{q}_2^2$ (dependen del cuadrado de las velocidades y coinciden con los elementos de la diagonal principal ($i = j$) de la matriz C), y por otro, los pares de Coriolis:

$-2m_2 l_1 l_{c2} S_2$ (dependen del producto de dos velocidades de articulaciones distintas y coinciden con los elementos que están fuera de la diagonal principal ($i \neq j$) de la matriz C). Se realizó una simulación resolución del modelo dinámico inverso de un robot mediante un algoritmo computacional. De dicho proceso se puede constatar los efectos centrífugos y de Coriolis, además de los efectos gravitatorios en un robot planar de 2GDL. Por lo que el modelo matemático se corrobora con el algoritmo computacional.

4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se extraen del presente artículo son las siguientes:

Se usan las ecuaciones de Lagrange como uno de los métodos superiores de la Mecánica Analítica, para la obtención de ecuaciones diferenciales bien estructuradas en donde se visualizan los pares y fuerzas que intervienen (inercia, Coriolis, gravedad). Estas ecuaciones permiten obtener el Modelo Dinámico del robot en función de sus variables articulares y derivando la función de energía que depende de estas variables.

Este método tiene la ventaja de que no intervienen las fuerzas de ligadura, dado que hace uso de balance de energía. Por otra parte, no es eficiente computacionalmente, dado que el algoritmo es de un orden de complejidad $O(n^4)$; dado que se realizan más operaciones por la potencia cuarta del número de gdl.

Las futuras líneas en las que está trabajando este grupo de investigación son las siguientes:

1. Análisis de la dinámica de los sistemas de transmisión, actuadores y equipos electrónicos.
2. Probar el modelo analítico obtenido en banco experimental donde los eslabones, actuadores y sistemas de transmisión se construyen en el laboratorio de nuestra facultad.
3. Diseño y evaluación del control dinámico del robot; en principio, mediante el desarrollo de algoritmos de control que lleven en forma asintótica a cero el vector de error de posicionamiento ($q_{\text{error}} = q_{\text{deseada}} - q_{\text{actual}}$).

4. Determinar valores de parámetros dinámicos del robot (momentos de inercia, centros de masa y coeficientes de fricción), mediante técnicas de identificación paramétrica, tales como modelos de regresión.

BIBLIOGRAFÍA

Barrientos, Antonio; Peñín, Luis Felipe; Balaguer Carlos y Aracil Rafael. "Fundamentos de Robótica". Madrid – España. Segunda Edición. Editorial McGraw – Hill. Madrid – España (2007).

Craig, J. J (1989) "Introduction to Robotics". Ed. Addison Wesley, Reading, MA.

Gates Bill. "A Robot in Every Home". Scientific American Journal. EEUU. (2007).

Ollero Baturone, A. "Robótica Manipuladores y robots móviles". Barcelona – España. Ed. Alfaomega – Marcombo. Barcelona – España (2007).

Paul, R. P., "Homogeneous Transformations – Robot Manipulators: Mathematics, Programming & Control". The MIT Press, Massachussets. (1981).

Reyes Cortés, F., "Robótica – Control de Robots Manipuladores". Ed. Alfaomega, México, 2011.

Spong, Mark; Hutchinson, Seth (2006) "Robot Modeling and Control". Ed. John Wiley & Sons.

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

