

ENGENHARIAS EM FOCO

GUILLERMO DANIEL RODRÍGUEZ
(ORGANIZADOR)



**EDITORA
ARTEMIS**

2024

ENGENHARIAS EM FOCO

GUILLERMO DANIEL RODRÍGUEZ
(ORGANIZADOR)



**EDITORA
ARTEMIS**

2024



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. Ing. Guillermo Daniel Rodríguez
Imagem da Capa	aleksandrar/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
Prof. 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/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof.ª Dr.ª Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, 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 Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 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. Sérgio 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)

E57 Engenharia em foco / Organizador Guillermo Daniel Rodriguez. – Curitiba, PR: Artemis, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-81701-38-3

DOI 10.37572/EdArt_281124383

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Práticas sustentáveis. I. Rodriguez, Guillermo Daniel.

CDD 620.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRESENTACIÓN

O campo das engenharias está em constante evolução, impulsionado pela necessidade de soluções inovadoras para os desafios do mundo moderno. Em "Engenharia em Foco" reunimos uma série de artigos que exploram questões cruciais para a engenharia contemporânea, que vão desde aspectos técnicos até interseções com o ensino de engenharia, comunicação e sustentabilidade.

Este livro investiga as atuais fronteiras da engenharia, com pesquisas que vão desde o controle de sistemas robóticos e práticas sustentáveis aplicadas à construção civil até o uso de Big Data para otimizar serviços tecnológicos. A diversidade de tópicos reflete as muitas facetas da engenharia moderna, exigindo habilidades técnicas, criativas e de comunicação e uma compreensão abrangente das necessidades globais.

Os artigos aqui apresentados não só oferecem uma análise detalhada de diferentes aspectos da engenharia, mas também servem como fonte de inspiração para futuras pesquisas e práticas no setor. A aposta na inovação, na sustentabilidade ou na educação de qualidade reflete-se nos diferentes capítulos, tornando este trabalho um valioso contributo para a comunidade académica, para os profissionais da área e para todos os envolvidos na construção do futuro das engenharias.

Agradecemos aos autores que contribuíram para a preparação deste volume, cujos esforços coletivos contribuem para o avanço contínuo do conhecimento e da prática nas engenharias. Esperamos que este livro seja uma fonte de reflexão e aprendizagem, incentivando novas abordagens e soluções para os complexos desafios que a engenharia enfrenta no século XXI.

Guillermo Daniel Rodríguez

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISIS DEL CONTROL DE POSICIÓN DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO CON COMPENSACIÓN DE GRAVEDAD

Alejandro Hossian
Roberto Carabajal
Francisco Barboza
Maximiliano Alveal

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2811243831

CAPÍTULO 2..... 16

ESTRATEGIAS BASADAS EN LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADAS A LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE UNA EDIFICACIÓN

Daniela Gama Cruz
Ulises Loreto Gurrola

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2811243832

CAPÍTULO 3..... 27

VINCULACIÓN PROFESIONAL PARA EL MONITOREO DE SERVICIOS DE TICs UTILIZANDO BIG DATA

Marcelo Dante Caiafa
Ariel Rodrigo Aurelio

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2811243833

CAPÍTULO 4..... 38

EL PERFIL IDEAL DEL INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA REESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA EDUCATIVO

José Luis Gutiérrez Liñán
Carmen Aurora Niembro Gaona
Alfredo Medina García
Jorge Eduardo Zarur Cortés

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2811243834

CAPÍTULO 5..... 49

FORTALECIMIENTO DE LA COMPETENCIA COMUNICATIVA EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA: ESTRATEGIAS Y DESAFÍOS

Marta Graciela Caligaris

Georgina Beatriz Rodríguez

Lorena Fernanda Laugero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2811243835

SOBRE O ORGANIZADOR..... 61

ÍNDICE REMISSIVO62

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DEL CONTROL DE POSICIÓN DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO CON COMPENSACIÓN DE GRAVEDAD

Data de submissão: 04/11/2024

Data de aceite: 19/11/2024

Alejandro Hossian

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Doctor en Ingeniería Plaza Huinul
Provincia de Neuquén
República Argentina

Roberto Carabajal

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Ingeniero Electrónico Plaza Huinul
Provincia de Neuquén
República Argentina

Francisco Barboza

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Técnico Electrónico Plaza Huinul
Provincia de Neuquén
República Argentina

Maximiliano Alveal

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén
Técnico Electrónico Plaza Huinul
Provincia de Neuquén
República Argentina

RESUMEN: El control de posición (regulación) es una temática de gran importancia en las aplicaciones industriales actuales; tales como pintado de objetos y estibado. Este problema se analiza en base al movimiento del efector terminal del manipulador desde cualquier posición inicial hacia una cierta posición deseada. Este hecho se traduce en que la i – ésima articulación del manipulador debe moverse hacia la i – ésima posición deseada. En el presente artículo se propone un método de análisis sustentado en dos fases. En la primera se construye la correspondiente ecuación en lazo cerrado en términos de las variables de estado que definen el problema del control de posición, combinando la ley de control con la ecuación del modelo dinámico del manipulador. En la segunda fase, se lleva a cabo el análisis de estabilidad en el sentido de Lyapunov y la unicidad del punto de equilibrio del sistema dinámico que se estudia.

PALABRAS CLAVE: Manipulador. Modelo dinámico. Control de posición. Sistema dinámico. Estabilidad.

ANALYSIS OF THE POSITION CONTROL OF A ROBOTIC MANIPULATOR WITH GRAVITY COMPENSATION

ABSTRACT: Position control (regulation) is a topic of great importance in current industrial applications; such as painting objects and stowage. This problem is analyzed based on the movement of the end effector of the manipulator from any initial position towards a

certain desired position. This fact means that the i^{th} joint of the manipulator must move towards the i^{th} desired position. In this article, an analysis method based on two phases is proposed. In the first, the corresponding closed-loop equation is constructed in terms of the state variables that define the position control problem, combining the control law with the equation of the dynamic model of the manipulator. In the second phase, the analysis of stability in the Lyapunov sense and the uniqueness of the equilibrium point of the dynamic system being studied is carried out.

KEYWORDS: Manipulator. Dynamic model. Position control. Dynamic system. Stability.

1 INTRODUCCION

Una forma simple de especificar el movimiento de un manipulador es punto a punto, que consiste en determinar un conjunto de puntos en el espacio de trabajo del robot, por los cuáles se desea que pase el efector terminal a los efectos de realizar una tarea determinada, tal como se ilustra en Fig. 1. Este problema de control se basa en hacer pasar el extremo del robot por estos puntos (Barrientos, 2007). Otra manera para especificar el movimiento es el de trayectoria continua; en el cual se determina una curva parametrizada en el tiempo del espacio de trabajo.

Fig 1. Movimiento del efector terminal del robot en su espacio de trabajo.



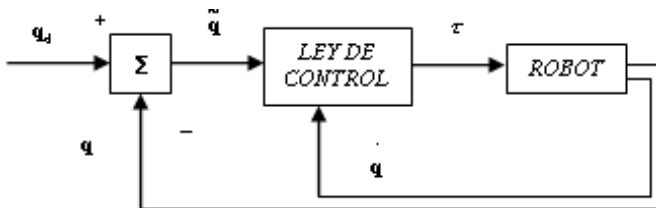
En este caso, el problema de control consiste en hacer pasar el efector terminal del manipulador por dicha trayectoria tan cerca como sea posible. El problema de control descrito en estos términos se denomina “control de movimiento” de robots; el cual consiste en la obtención de los pares τ aplicados a los servos actuadores que forman las articulaciones, a los efectos de que las posiciones asociadas a las coordenadas articulares del manipulador $q(t)$ sigan con la mayor precisión posible a la posición articular deseada $q_d(t)$. Un caso especial de control de movimiento es el de control de posición, en el que la trayectoria especificada en el espacio de trabajo del robot constituye un punto en dicho espacio (Reyes Cortes, 2011). De lo que se infiere que en el espacio articular, la posición deseada q_d es constante en el tiempo (set point). En este contexto, el problema de control de posición tiene como objetivo hallar una ley de control τ (función

vectorial) que suministre los pares que se deben aplicar a las articulaciones para que $q(t)$ se aproxime asintóticamente a q_d y la velocidad articular a cero $\dot{q}(t)=0$, sin importar las condiciones iniciales. También es habitual plantear el problema de control de posición en función del vector de errores de posicionamiento $q(t) = q_d - q(t)$. Ahora para que se cumpla el objetivo del control de posición, tanto el vector de errores de posicionamiento como el de velocidad articular deben tender a cero (Reyes Cortes, 2013). La ecuación (1) refleja estos conceptos en términos $\ddot{q}(t)$ y $\dot{q}(t)$.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} \ddot{q}(t) \\ \dot{q}(t) \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \forall t \geq 0 \quad (1)$$

En la Fig. 2 se ilustra el diagrama de bloques para un sistema de control de posición en lazo cerrado de un robot manipulador. La variable τ representa la ley de control y se refiere al par que se le debe suministrar a las articulaciones del manipulador, de forma tal que el efector terminal sea capaz de moverse desde su posición inicial a la posición deseada q_d . La posición instantánea del robot la suministra el sensor encoder, y por diferenciación numérica se puede obtener la velocidad.

Fig 2. Diagrama de bloques para control de posición en lazo cerrado.



2 MARCO TEORICO

Los modelos dinámicos de los manipuladores robóticos se caracterizan por ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales y no autónomas. De esta forma, las técnicas de diseño y los procedimientos de sintonía que se emplean en sistemas lineales, puedan ser aplicados de manera limitada en la síntesis de controladores con alto desempeño para estos dispositivos. Por tal razón, y en función de la elevada precisión y velocidad en los movimientos que requieren estos dispositivos, es que se emplean técnicas de control más elaboradas a los efectos de obtener controladores con mayor nivel de prestaciones. El diseño de algoritmos de control para un robot manipulador de “n” grados de libertad requiere conocer su modelo dinámico; en especial, cuando la técnica de diseño del controlador se sustenta en la estructura de dicho modelo, tal como es el caso de la

teoría de estabilidad de Lyapunov (Poliak, 2017). Por lo tanto, los conceptos de control clásico como Bode, root locus y Nyquist entre otros son específicos de sistemas lineales (Hernandez Gaviño, 2003); y, en consecuencia, no son aplicables a robots manipuladores, dado que su estructura es la de un sistema dinámico no lineal.

a. Modelo dinámico de robots manipuladores

Este modelo exhibe de manera explícita los principales fenómenos físicos presentes en la estructura mecánica del sistema – robot; tales como, fuerzas centrífugas y de Coriolis, efectos inerciales, par gravitacional y fenómenos de fricción (viscosa, Coulomb y estática). La descripción matemática del modelo dinámico de un robot manipulador de n grados de libertad, está dada por la ecuación diferencial no lineal (2):

$$r(t) = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F_f(q, \dot{q}, f_e) \quad (2)$$

Donde $\tau(t)$ es el vector de fuerzas o pares que se aplica a cada articulación, $q(t) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de posiciones articulares, $\dot{q}(t) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de velocidades articulares, $\ddot{q}(t) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de aceleraciones articulares, $M(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ es la matriz de inercia que representa el cambio de estado de movimiento del robot, $C(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ es la matriz de fuerzas centrífugas (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), $G(q) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de pares gravitacionales (vector gradiente de la energía potencial) y $F_f(q, \dot{q}, f_e) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de pares de fricción (viscosa, Coulomb y estática) de cada articulación del manipulador. Cabe señalar, que la expresión (2) es una ecuación diferencial compleja, multivariable con dinámica fuertemente acoplada y “no lineal” en el vector de estados $[\dot{q}^T, \ddot{q}^T]^T$; además de ser válida cuando el robot tiene una estructura en cadena cinemática abierta y que no incluye el fenómeno de elasticidad (Saltaren, 2014).

b. Formulación Lagrangiana

Las ecuaciones de movimiento de Lagrange constituyen una potente herramienta analítica para el modelado de robots manipuladores (Taylor, 2018); dado que permiten describir la dinámica del robot a partir de un balance de energía, la cual se expresa en términos de la energía cinética y potencial de sus eslabones. Para realizar la formulación Lagrangiana, es preciso contar con las expresiones de la cinemática directa del manipulador, que permite llevar a cabo cuatro procedimientos de cálculo: 1) cálculo de la energía cinética ($K(q(t), \dot{q}(t))$), 2) cálculo de la energía potencial ($U(q(t))$), 3) cálculo del Lagrangiano ($L = K(q(t), \dot{q}(t)) - U(q(t))$) y 4) formulación de las ecuaciones escalares dinámicas de movimiento de Lagrange para un robot manipulador de n grados de

libertad (gdl); las cuales se desarrollan para cada uno de ellos (3), y donde el miembro $r(t) - F_f(q, \dot{q}, e)$ se refiere a fuerzas o pares no conservativos en cada articulación.

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_i} \right] - \frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial q_i} = \tau(t) - F_f(q, \dot{q}, e) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

c. Sistemas dinámicos

Para el análisis y el diseño en robótica es habitual transformar el modelo dinámico a una ecuación diferencial de primer orden, haciendo uso de la representación en variables de estado. La estructura de una ecuación diferencial ordinaria de primer orden es como la (4), pudiendo ser la representación de un sistema mecánico con dinámica lineal y no lineal (Salgado, 2005).

$$\dot{x} = f(x) \quad (4)$$

Donde $x \in R^n$ es la variable de estado fase que suministra información interna acerca de la dinámica del sistema mecánico, siendo función continua del tiempo $x = x(t)$ y $n \in N$. La derivada temporal de la variable de estado existe y es continua en el tiempo: $\dot{x} \in R^n$ y $\dot{x} = \dot{x}(t)$. La función $f(x)$ es un mapeo vectorial $f: R^n \rightarrow R^n$ en la variable de estado $x(t)$. La estructura (4) se corresponde con un sistema dinámico autónomo, dado que el tiempo t como variable independiente está presente de forma implícita, es decir $x = x(t)$. Una gran mayoría de los sistemas mecánicos son de esta forma permanecen invariantes en la línea de tiempo.

d. Estabilidad en el sentido de Lyapunov

Esta teoría permite analizar el comportamiento de sistemas dinámicos lineales y no lineales de acuerdo a la ecuación (4); para lo cual, es necesario fijar ciertos conceptos:

- Punto de equilibrio: es un vector constante $x_e \in R^n$ del sistema (4) si $f(x_e) = 0 \quad \forall t \geq 0$. Como consecuencia de esta definición, si la condición inicial $x(0) \in R^n$ es un equilibrio ($x(0) = x_e \in R^n$), entonces se satisface $x(t) = x_e \quad \forall t \geq 0$ y $\dot{x}(t) = 0 \quad \forall t \geq 0$. Generalmente se asume que el origen $x = 0 \in R^n$ es un equilibrio de un sistema dinámico representado por la ecuación (4). El vector x_e constituye un ente dinámico en el cual todas las fuerzas del sistema hallan su equilibrio; siendo fundamental en control de robots analizar la estabilidad del vector x_e .
- Estabilidad del punto de equilibrio y zona de atracción: en la zona de atracción sucede que cada solución de la trayectoria $x(t)$ que comienza suficientemente cercana a 0, a partir de t_0 se aproxima al origen 0 a medida que $t \rightarrow \infty$. El origen

$x = 0 \in R^n$ es un punto de equilibrio asintóticamente estable en forma global si: 1) el origen es estable; esta condición se cumple si para cada número $\varepsilon > 0 \exists$ un número $\delta / \|x(0)\| < \delta \rightarrow \|x(t)\| < \varepsilon \forall t \geq 0$ y 2) el origen es atractivo en forma global; condición que se cumple si $\|x(t)\| \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow \infty \forall x(0) \in R^n$. La estabilidad asintótica global en sistemas dinámicos autónomos indica que el punto de equilibrio $x_e = 0 \in R^n$ es único y no depende de la condición inicial $x(0) \in R^n$. Por su parte, la estabilidad asintótica local significa varios puntos de equilibrio y la convergencia de la trayectoria $x(t)$ es con respecto a uno de esos puntos (origen de estados $x = 0 \in R^n$ en general) y, en consecuencia, sí depende de las condiciones iniciales dentro de la zona de atracción del origen de estados. En síntesis, la existencia de un único x_e es una condición necesaria para establecer sobre éste estabilidad asintótica en forma global (Ollero, 2001). Cabe señalar, que estos conceptos de estabilidad son propiedades intrínsecas deseables del punto de equilibrio x_e de un sistema dinámico caracterizado por la ecuación (4) $\dot{x} = f(x)$.

- Método directo de Lyapunov: el núcleo central de la teoría de estabilidad de Lyapunov asume que el punto de equilibrio de un sistema dinámico autónomo como el caracterizado por la ecuación (4), es estable si su energía total es una función definida positiva continuamente decreciente hasta alcanzar un estado de equilibrio, el cual está asociado con el mínimo global de la energía total. De esta forma, la derivada temporal de esta función de energía (potencia del sistema) es definida negativa hasta alcanzar el llamado equilibrio.

En síntesis, una función $V(x)$ para el equilibrio $x = 0 \in R^n$ es una función candidata de Lyapunov de la ecuación (4) si $V: R + x R^n \rightarrow R +$ si: $V(x)$ es una función definida positiva y $\frac{\partial V(x)}{\partial x}$ y $\frac{\partial V(x)}{\partial t}$ son funciones continuas respecto a x . De acuerdo a estos conceptos, se tienen dos teoremas fundamentales para el análisis de estabilidad en el sentido de Lyapunov. El primero establece que el origen $x = 0 \in R^n$ es un estado de equilibrio estable de la ecuación (4) si existe una función candidata de Lyapunov $V(x)$ con derivadas parciales continuas respecto a x y tal que su derivada temporal satisfaga $\frac{\partial V(x)}{\partial t} = \dot{V}(x) \leq 0 \forall t \geq 0 \forall x \in R^n$. Si esto se cumple, entonces $V(x)$ es una función decreciente y las soluciones $x(t)$ de un sistema dado por la ecuación (4) están acotadas para toda condición inicial $x(0) = \varepsilon \in R^n$. El segundo dice que el origen $x = 0 \in R^n$ es un estado de equilibrio estable en forma global de la ecuación (4) si existe una función candidata de Lyapunov $V(x)$ tal que su derivada temporal satisfaga $\dot{V}(0) = 0 \forall t \geq 0$ y $\dot{V}(x) < 0 \forall t \geq 0, \forall x \neq 0 \in R^n$. Por consiguiente, se cumple para la variable de estado $x(t)$ que $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0$.

e. Teorema de Lasalle

Para un sistema dado por la ecuación (4) cuyo origen $x = 0 \in R^n$, y aun cuando la función candidata de Lyapunov $V(x)$ presenta una derivada temporal semidefinida negativa, en ciertos casos se puede demostrar estabilidad asintótica global. Se define a un conjunto invariante Ω para un sistema dinámico como aquel en el cual cada trayectoria que comienza en Ω permanece en $\Omega \forall t \geq 0$. En este sentido, cualquier punto de equilibrio estable es ejemplo de un conjunto invariante, dado que ninguna trayectoria puede permanecer en forma indefinida en un punto distinto al de equilibrio estable. De esta manera, si es posible construir una función Lyapunov ($V(x)$), tal que sus derivadas a lo largo de las trayectorias del sistema son semidefinidas negativas, y no existe otra trayectoria del sistema que pueda permanecer indefinidamente en puntos donde las derivadas se disipan, entonces el punto de equilibrio presenta estabilidad asintótica en forma global. Más precisamente, definiendo el conjunto Ω en base a la expresión (5):

$$\Omega = \{x \in R^n: V(x) = 0\} \quad (5)$$

Si $x(0) = 0$ es la única condición inicial en Ω para la cual se cumple que $x(t) \in \Omega \forall t \geq 0$, entonces el origen $x(0) \in R^n$ es un equilibrio asintóticamente estable (Kelly, 2003).

f. Control PD en robot manipuladores

La ecuación en lazo cerrado conformada por el modelo dinámico del manipulador robótico y la estructura matemática del control proporcional derivativo (PD) con compensación de gravedad, posee un origen asintóticamente estable en forma global en términos del vector de estados $[\ddot{q}^T, \dot{q}^T]^T$. A tal efecto, se elige una función de Lyapunov conformada por la energía cinética del manipulador más una función cuadrática del error de posición, de forma tal que la derivada temporal sea semidefinida negativa. Y empleando el teorema de Lasalle, se demuestra estabilidad asintótica global del punto de equilibrio. El modelo dinámico de un robot manipulador de n gdl sin término de fricción, está dada por la ecuación (6); y la ley de control PD con compensación de gravedad por la ecuación (7):

$$\tau(t) = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (6)$$

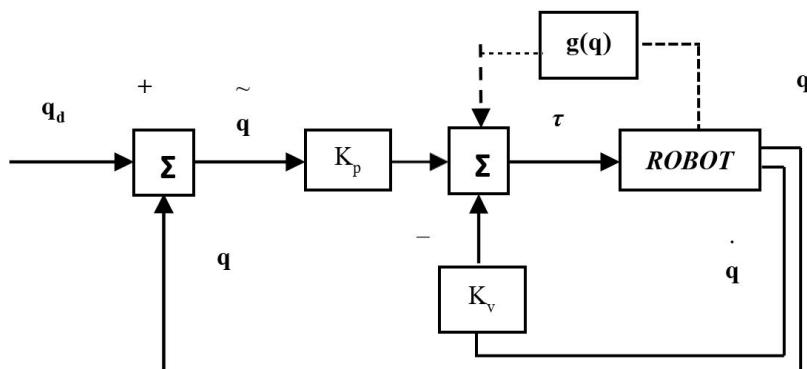
$$\tau(t) = K_p\ddot{q} - K_v\dot{q} + g(q) \quad (7)$$

En la (7) K_p y $K_v \in R^{n \times n}$ representan las ganancias proporcional y derivativa, y deben ser matrices definidas positivas para garantizar la estabilidad asintótica global del origen de la (7). Y $g(q)$ es el vector de pares gravitacionales, el cual se puede obtener como

$g(q) = \frac{\partial U(q)}{\partial q}$, siendo $U(q)$ la energía potencial gravitatoria del robot. El término $g(q)$ en la ecuación (7) del algoritmo de control, indica que el controlador hace uso en forma parcial del modelo dinámico del sistema robótico. El término de compensación de gravedad $g(q)$, junto con las condiciones establecidas para las matrices K_p y K_v , es fundamental para garantizar la unicidad del punto de equilibrio (Dorf, 2005). Combinando la (6) y (7) se obtiene la ecuación en lazo cerrado (8) en variables de estado que precisan el problema de control de posición; y en Fig. 3 se ilustra el diagrama de bloques para un control PD con compensación de gravedad.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{q} \\ M(q)^{-1} [K_p \ddot{q} - K_v \dot{q} - C(q, \dot{q}) \dot{q}] \end{bmatrix} \quad (8)$$

Fig 3. Diagrama de bloques de control PD con compensación de gravedad.

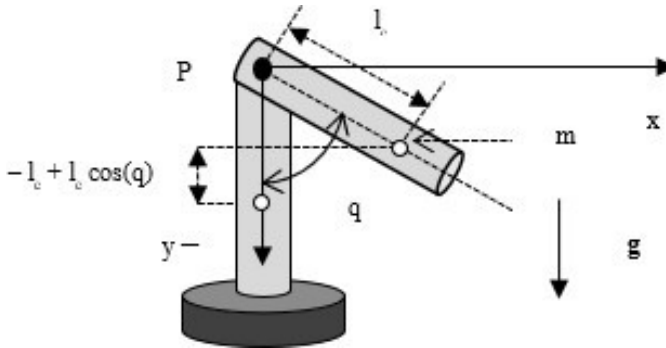


La posición articular $q(t)$ se retroalimenta formando la señal de error $\ddot{q}(t) = q_d - q(t)$. La velocidad articular $\dot{q}(t)$ actúa como inyección de amortiguamiento, de forma de dosificar la energía del término de control proporcional $K_p \ddot{q}$ mejorando así el funcionamiento.

3 ANALISIS DE CASO

Se analiza el caso de un robot de 1 gdl en 2 fases: en la 1^{ra} se obtiene la ecuación en lazo cerrado empleando un algoritmo de control PD con compensación de gravedad, siempre en términos de las variables de estado que definen el problema del control de posición; y en la 2^{da}, se lleva a cabo el análisis de estabilidad en el sentido de Lyapunov y la unicidad del punto de equilibrio. La Fig. 4 muestra los parámetros físicos del robot: la masa m , el centro de masa l_c , el momento de inercia $I_P = ml_c^2 + I$ y la posición articular variable en el tiempo q .

Fig 4. Movimiento del centro de masa l_c del robot manipulador.



1^{RA} Fase: se hace la formulación Lagrangiana obteniendo el modelo dinámico del robot, cuya cinemática directa la da (9):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_c \sin(q) \\ -l_c \cos(q) \end{bmatrix}; v = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_c \cos(q) \dot{q} \\ l_c \sin(q) \dot{q} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Se obtiene la energía cinética K mediante la ecuación y la energía potencial por medio de la (11).

$$K(q(t), \dot{q}(t)) = \frac{1}{2} [v^T v + I \dot{q}^2] = \frac{1}{2} [m l_c^2 + I] \dot{q}^2 \quad (10)$$

$$U(q) = m g l_c (1 - \cos(q)) \quad (11)$$

Se obtiene el Lagrangiano mediante la ecuación (12).

$$L(q, \dot{q}) = K(q, \dot{q}) - U(q) = \frac{1}{2} [m l_c^2 + I] \dot{q}^2 - m g l_c (1 - \cos(q)) \quad (12)$$

La (12) adquiere el formato de una ecuación escalar (13).

$$\tau = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}} \right] - \frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial q} + b \dot{q} \quad (13)$$

Se llega al modelo dinámico (14) combinando (12) y (13).

$$\tau = [m l_c^2 + I] \ddot{q} + b \dot{q} + m g l_c \sin(q) \quad (14)$$

El problema se focaliza en posicionar el brazo en un punto deseado q_d , desde una inicial como $q=0$. El modelo de control PD más compensación gravitatoria para este robot lo da la ecuación (15).

$$\tau = k_p \ddot{q} - k_v \dot{q} + m l_c \sin(q) \quad (15)$$

Es preciso transformar la ecuación (14) a una estructura de una ecuación diferencial de primer orden como la (4); a partir de escoger adecuadamente las variables de estado. En el presente estudio, el problema de posición del robot se define en términos de las variables de estado \dot{q} y \ddot{q} . De esta forma, se determina la ecuación en lazo cerrado (16) que vincula el modelo dinámico (14) con la estrategia de control (15).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{q} \\ \frac{1}{(m l_c^2 + I)} [k_p \ddot{q} - k_v \dot{q} + b \dot{q}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ \frac{k_p}{(m l_c^2 + I)} & -\frac{(k_v + b)}{(m l_c^2 + I)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} \quad (16)$$

2^{DA} Fase: analizando las componentes de la (16) se infiere:

La 1^{ra} componente de (16) indica que $-\dot{q} = -1 \dot{q} = 0 \leftrightarrow \dot{q} = 0$.

Empleando $\dot{q} = 0$ en la 2da componente de (16), se tiene que $[k_p + b] \ddot{q} = 0 \leftrightarrow \ddot{q} = 0 \wedge k_p \in R_+$; $b \in R_+$. Siendo que también se tiene que $k_p \ddot{q} = 0 \leftrightarrow \ddot{q} = 0 \wedge k_p \in R_+$. Se demuestra que el origen del espacio de estados es el punto de equilibrio y es único; a saber: $[\ddot{q}, \dot{q}]^T = [0, 0]^T$. Para el análisis de la estabilidad del punto de equilibrio (origen de estados) se propone la siguiente función de Lyapunov (17), teniendo en cuenta que $I_p = m l_c^2 + I$:

$$V(\ddot{q}, \dot{q}) = \frac{1}{2} I_p \dot{q}^2 + \frac{1}{2} k_p \ddot{q}^2 \quad (17)$$

Considerando que $q_d = \text{constante}$ y a partir de la 2^{da} componente de la (16), se tienen las expresiones (18) y (19):

$$\ddot{q}(t) = q_d - q(t) \rightarrow \ddot{q}(t) = \dot{q}_d - \dot{q}(t) \rightarrow \ddot{q}(t) - \dot{q}(t) \quad (18)$$

$$I_p \ddot{q} = k_p \ddot{q} - k_v \dot{q} - b \dot{q} \rightarrow I_p \ddot{q} \dot{q} = k_p \ddot{q} \dot{q} - [k_v + b] \dot{q}^2 \quad (19)$$

Se deriva con respecto al tiempo la (17) considerando las expresiones (18) y (19), llegando a la ecuación (20):

$$\dot{V}(\ddot{q}, \dot{q}) = I_p \ddot{q} \dot{q} + k_p \ddot{q} \dot{q} = I_p \ddot{q} \dot{q} - k_p \ddot{q} \dot{q} = k_p \ddot{q} \dot{q} - [k_v + b] \dot{q}^2 - k_p \ddot{q} \dot{q} \rightarrow \dot{V}(\ddot{q}, \dot{q}) = -[k_v + b] \dot{q}^2 \leq 0 \quad (20)$$

Esta derivada temporal de la función de Lyapunov es semidefinida negativa; habida cuenta de que depende solo de la variable \dot{q} , y dado que no se identifica en la (20) la otra variable de estado correspondiente al error \ddot{q} . Se concluye que $\dot{V}(\ddot{q}, \dot{q}) = 0$ si $\dot{q} = 0$ y el error \ddot{q} adopta un valor cualquiera. De esta forma, se demuestra estabilidad del punto de equilibrio. En virtud de que la expresión (20) no satisface las condiciones necesarias de estabilidad asintótica en forma global para la ecuación autónoma de lazo cerrado (16), el teorema de Lasalle permite demostrar la estabilidad global. En el caso presente, el conjunto Ω está dado por la expresión (21).

$$\Omega = \left\{ \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} \in R^2: \dot{V}(\ddot{q}, \dot{q}) = 0 \leftrightarrow \dot{q} = 0 \in R, \ddot{q} \in R \right\} \quad (21)$$

De (21) se infiere que $\dot{V}(\ddot{q}, \dot{q}) = 0 \leftrightarrow \dot{q} = 0 \wedge \ddot{q} \in R$. Una solución $[\ddot{q}(t), \dot{q}(t)]^T \in \Omega \forall t \geq 0$ si $\dot{q}(t) = 0 \forall t \geq 0$; en cuyo caso la posición articular $q(t)$ es una constante, siendo la misma la posición deseada q_d . Entonces el error de posición $\ddot{q}(t) = q_d - q(t) = 0$. En función de lo expuesto y observando en detalle la expresión (20), se tiene que $k_p \ddot{q} = 0 \leftrightarrow \ddot{q} = 0$; lo que $\rightarrow \ddot{q} = 0 \forall t \geq 0$. Esto significa que el conjunto $[\ddot{q}(t), \dot{q}(t)]^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \in R^2$ es la única condición inicial en Ω para la cual se cumple que $x(t) \in \Omega \forall t \geq 0$. De esta forma, mediante el teorema de Lasalle se demuestra estabilidad asintótica en forma global del origen (punto de equilibrio) de la ecuación en lazo cerrado (16).

A continuación, se muestra la simulación de un robot prototipo de 1 gdl, cuyo extremo se desea posicionar en 120° a partir de una posición inicial de 0° . Posee un servomotor con un torque máximo de 15Nm, una masa $m = 4$ Kg, la fricción viscosa $b = 0.2$ Nms/rad, centro de masa $l_c = 0.09$ m, longitud $l = 0.5$ m, y momento de inercia $I = 0.2$ Nms²/rad. La ganancia proporcional es de $k_p = 1.4$ y se adopta una ganancia derivativa de un 40% de k_p en esta primera prueba ($k_v = 0.4 \times 1.4 = 0.56$). La Fig. 5 ilustra como la posición articular $q(t)$ del brazo robótico converge hacia los 120° , con lo que la señal del error converge a 0° . Se observa que la fase transitoria para $q(t)$ se caracteriza por un comportamiento suave, con un pequeño sobre pico. Esto se debe a la energía que suministra el término de control proporcional $k_p \ddot{q}$. Esta energía se ve dosificada por la inyección de amortiguamiento que proporciona la acción de control derivativo, dada por el término $-k_v \dot{q}$, donde el signo menos en el modelo de control es el que dosifica la energía entregada por el término de control proporcional $k_p \ddot{q}$. Una vez que el brazo llega a la posición deseada $q_d = 120^\circ$, el 2do gráfico de la Fig. 5 refiere a que la velocidad articular es 0. Este hecho refiere a que el brazo permanece estático en el estado estacionario, lo cual indica que el mismo ingresa en la zona del atractor del punto de equilibrio. El robot

se mantiene de forma indefinida en esa posición; salvo que se re programe otra posición deseada o tenga lugar alguna acción perturbadora. Esto se plasma en el siguiente código de la función péndulo para la respuesta del robot de un grado de libertad, cuya grafica resultante se ilustra en la gráfica 5. En este programa se declara el vector de estados, la posición y velocidad articular; los parámetros del péndulo como la masa, centro de masa, gravedad, inercia, fricción, fricción viscosa, posición deseada; las ganancias de control, proporcional y derivativa.

```
function xp =pendulo(t, x)
%vector de estados %posición articular
q=x(1); %velocidad articular
qp=x(2); %parámetros del péndulo
m=4 %masa
lc=0.09; %centro de masa
g=9.81; %constante de aceleración gravitacional
I=0.2 %momento de inercia del rotor %momento de inercial total del péndulo
Ip=m*lc*lc+I; %fricción del péndulo
b=0.2 %coeficiente de fricción viscosa
qd=120*pi/180; %posicion deseada
qt=pi*qd/180-q; %error de posición %ganancias del algoritmo de control
kp=1.4; %ganancia proporcional
kv=0.4*kp; %ganancia derivativa %algoritmo de control proporcional derivativo PD
tau=kp*(qd-q)-kv*qp+m*g*lc*sin(q); % par aplicado al pendulo %aceleracion articular del
pendulo
qpp=(tau-b*qp-m*g*lc*sin(q))/Ip; %vector de salida
xp=[qp ; %xp(1)=qp=x(2) velocidad articular
qpp] ; %xp(2)=qpp aceleración articular end
```

Se definen la posición y velocidad articular respectivamente. Se declaran los parámetros, se implementa el algoritmo de control proporcional derivativo que proporciona la energía necesaria al péndulo para que se mueva a la posición deseada de 120° desde un inicial 0°. Se tiene el programa del control PD, el cual tiene definido los parámetros de compensación de la gravedad, ganancias proporcional y derivativa, error de posición, y esquema de control; a través del código principal, se lleva a cabo la simulación. En el cuadro siguiente, se muestra el código de la simulación, donde se determinan las condiciones iniciales, el tiempo de la simulación, el vector del tiempo, la simulación del péndulo. Se determinan la posición y velocidad articulares.

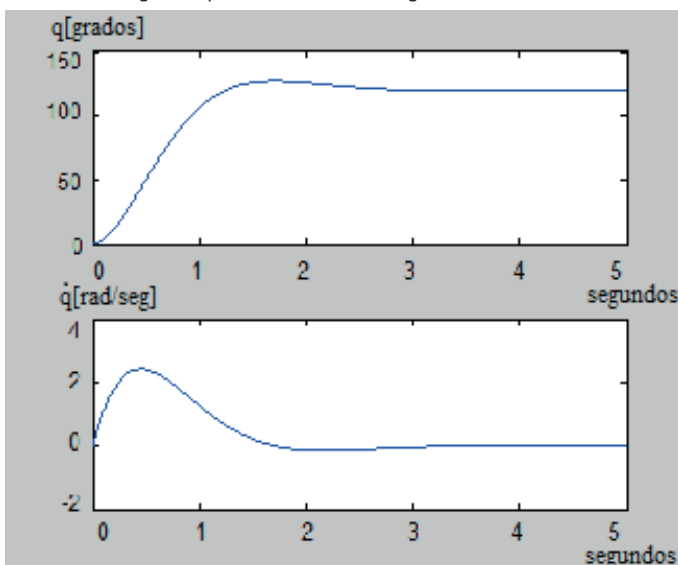
```

clear; close all; clc;
format short g %condicion inicial
x0=[0 0]; %tiempo de simulacion
ti=0; h=0.001; tf=5;
ts=ti:h:tf; %vector tiempo
opciones=odeset('RelTol',h,'InitialStep',h,'MaxStep',h);
%simulacion del pendulo
[t,x]=ode45('Pendulo',ts,x0,opciones); %posicion y velocidad articulares q=x(:,1);
%posicion articular
qp=x(:,2); %velocidad articular %grafica las variables de estado
subplot(2,1,1); plot(t, 180*q/pi)
subplot(2,1,2); plot(t, qp)

```

La posición $q_1(t)$ se une con la deseada a 120° aproximadamente a los 2,8 segundos, tal como se observa. El punto de equilibrio de la ecuación en lazo cerrado creado por el modelo dinámico del robot y el algoritmo del control PD tiene la propiedad de ser asintóticamente estable. Esto obedece a la naturaleza dinámica del punto de equilibrio. Otro aspecto a resaltar, es que el efecto de la acción del control D no se manifiesta en el estado estacionario debido a que la posición del robot $q_1(t)=q_{d1}$ es constante, por lo cual $\dot{q}(t) = 0$. En el caso de un nuevo cambio en los valores y la presencia de perturbaciones, la acción derivativa ejercerá su beneficio de amortiguamiento.

Fig 5. Respuesta del robot de un grado de libertad.



4 CONCLUSIONES Y FUTURA LINEA DE INVESTIGACION

a. Conclusiones

- Se analiza el control de posición de un robot manipulador en términos de las variables de estado error de posición y velocidad articular.
- Se obtiene la ecuación en lazo cerrado combinando la ley de control con la ecuación del modelo dinámico haciendo uso de un modelo de control PD con compensación de gravedad.
- Se observa que el término $-k_v \dot{q}$ amortigua la energía suministrada por el término de control proporcional $k_p \ddot{q}$; por lo que su acción central se manifiesta en el estado transitorio, eliminando así los sobrepicos.
- Se lleva a cabo el análisis de estabilidad del punto de equilibrio (origen del espacio de estados) mediante la función de Lyapunov.
- Se demuestra que el origen del espacio de estados es el único punto de equilibrio, y se aplica el teorema de LaSalle para demostrar estabilidad asintótica en forma global del origen de la ecuación en lazo cerrado (16).
- Se observa que una vez que el robot se detiene en el estado estacionario, la compensación de gravedad tiende a una constante ($g(qd) = mg \cos(qd)$) para mantener al robot en la posición deseada q_d .
- En estado transitorio la única energía que entrega el algoritmo de control es la del par gravitacional ($g(qd) = mg \cos(qd)$); de lo que se infiere la importancia de incluir esta componente en la ley de control, y así compensar parcialmente la dinámica del brazo.
- Cabe señalar que, de no ser así, dicho brazo se desplazaría hacia abajo aumentando el error de posición \ddot{q} , por lo que el controlador envía energía para volverlo a la posición deseada q_d (120° para el caso de estudio). Así el brazo podría quedar oscilando; y es el par gravitacional el que se requiere para que el manipulador se mantenga en los 120° .

b. Futura línea de investigación

- El grupo de investigación se encuentra analizando el control de posición y estabilidad para robot de 2 gdl.
- El grupo de investigación se encuentra analizando una ley de control adaptable que permita un análisis detallado de la sintonización de las ganancias.
- En este sentido, se encuentra en estudio el algoritmo de control PID con ciertas condiciones de sintonía.

- Se desarrollarán varios sistemas de ganancias y se verificará como se deteriora en términos de los sobre impulsos y fluctuaciones en el comportamiento del péndulo (robot de 1 grado de libertad) en el tiempo de menor calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Dorf, R., "Sistemas de Control Moderno". Ed. Alhambra, España, 2005.

Hernandez Gaviño, R., "Introducción a los Sistemas de Control". Ed. Pearson, México, 2003.

Kelly, R., "Control de Robots Manipuladores". Ed. Pearson Prentice Hall, España, 2003.

OlleroBaturone, A. "Robótica. Manipuladores y Robots Móviles". Ed. Marcombo, España, 2001.

Poliak, B., "Lyapunov Functions: An Optimization Theory Perspective". IFAC 2017.

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

Reyes Cortés, F., "Mecatrónica, Control y Automatización". Ed. Alfaomega, México, 2013.

Saltaren, R., "Robótica Aplicada. Analisis y Diseño de Robots Paralelos y Seriales con Matlab". Ed. Dextra, 2014.

Salgado, E. M., "Análisis de sistemas lineales". Ed. Pearson Education, 2005. Taylor, J., "Mecánica Clásica". Ed. Reverte, España, 2018.

CAPÍTULO 2

ESTRATEGIAS BASADAS EN LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADAS A LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE UNA EDIFICACIÓN¹

Data de submissão: 14/10/2024

Data de aceite: 28/10/2024

Daniela Gama Cruz

Veolia Environment S.A.

Ciudad de México, México

<https://orcid.org/0009-0008-8487-8430>

Ulises Loreto Gurrola

Aleatica S.A.B. de C.V.

Ciudad de México, México

<https://orcid.org/0009-0007-4264-2895>

RESUMEN: El sector de la construcción, a pesar de tener todo el potencial teórico para adoptar el modelo de Economía Circular, sigue siendo un proceso mayormente lineal, donde no existe una gestión de residuos destacable. La mayoría de los residuos de construcción después de una demolición terminan en vertederos permanentes, donde cualquier material que ingrese, difícilmente será recuperable y aprovechable. Es importante maximizar las oportunidades para la adopción integrada y rentable de estrategias de diseño, construcción y operación eficientes que enfatizan el objetivo de brindar beneficios

¹ Agradecemos a nuestra alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo financiero brindado a través de la "Beca Para Proyectos De Investigación para la UNAM Ciclo Escolar 2023-2024", que hace posible la publicación de este trabajo.

ambientales alineados a los principios de Economía Circular, considerando impactos, riesgos y compensaciones a largo plazo. Ya existen estudios que han demostrado que aplicar métodos de eficiencia, utilizando el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta de medición cuantitativa, ayuda a reducir los impactos ambientales de una edificación en sus diferentes etapas de vida, comparando un escenario convencional contra uno eficiente. La finalidad de este escrito es compilar una serie de propuestas elaboradas por los autores de este trabajo tomando como base los fundamentos, ventajas y limitantes que tiene la aplicación de la Economía Circular. En estas propuestas se pensó en los edificios residenciales y de oficinas pero su uso no está limitado a estos.

PALABRAS CLAVE: Economía Circular. Construcción. Vida Útil. Eficiencia. Análisis de Ciclo de Vida.

STRATEGIES BASED ON THE CIRCULAR ECONOMY APPLIED TO THE LIFE CYCLE PHASES OF A BUILDING

ABSTRACT: The construction sector has the theoretical potential to adopt a Circular Economic model. Despite this potential, construction remains primarily a linear process incorporating little notable waste management. Most construction waste produced by demolition ends up in permanent landfills, and this material is unlikely to be recoverable and reusable. It is important

to maximize opportunities for the integrated and cost-effective adoption of efficient strategies for design, construction, and operation, which will emphasize the goal of providing environmental benefits aligned with the principles of the Circular Economy. These strategies must take into account long-term impacts, risks, and trade-offs. Existing studies demonstrate that applying efficiency methods using Life Cycle Assessment as a quantitative measurement tool can help reduce the environmental impact of a building during its various life stages by comparing a conventional construction scenario with one which is more efficient. The purpose of this document is to compile a series of proposals developed by the authors of this work based on the principles, advantages, and limitations of applying the Circular Economy to the construction sector. These proposals were designed with residential and office building typologies in mind, but their use is not strictly limited to these types of buildings.

KEYWORDS: Circular Economy. Construction. Useful Life. Efficiency. Life Cycle Assessment.

1 LA ECONOMÍA CIRCULAR

La Economía Circular es un modelo que busca asemejar a los ciclos que ocurren de forma natural en los ecosistemas, en donde todos los residuos de los procesos son reintegrados en ese u otros ciclos, generando así un sistema cerrado que maximiza el ciclo de vida de los agentes que participan.

Para lograr este objetivo, el modelo se basa en tres pilares fundamentales: optimizar el rendimiento de los recursos a través de un diseño inteligente, recuperar el valor de los componentes del producto al final de su vida útil, y reducir al mínimo la generación de residuos.

Hasta ahora se había centrado la aplicación del modelo en la industria de los empaques, pero en realidad se puede aplicar a cualquier proceso productivo: la elaboración de una botella, la fabricación de un auto, o la construcción de un edificio.

2 EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

El ACV consiste en una evaluación de las fases que componen el ciclo de vida de un producto o material, analizando las entradas (consumo de energía, agua y materias primas) y salidas (producto, desechos y contaminación equivalente) de recursos, detectando oportunidades de mejora en los procesos productivos al asignarle datos de carga ambiental a cada uno.

Un edificio puede ser considerado un producto complejo, que involucra fases como: diseño, adquisición de materiales, construcción, operación y fin de vida útil. Cada una puede aumentar su desempeño ambiental, siguiendo estrategias alineadas con los principios de Economía Circular.

3 FASE DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Existen numerosas estrategias de Economía Circular que se pueden aplicar durante esta fase, que se refiere a la elaboración y conceptualización del edificio, así como todo el proceso de construcción. Las estrategias se van a dividir según en cual de estas subfases apliquen.

3.1 LOCALIZACIÓN

Durante la etapa de diseño, cuando se está pensando en las características que tendrá la edificación y donde va a estar ubicada, es recomendable que además de las especificaciones técnicas y arquitectónicas, se piense en el impacto que ciertas decisiones van a tener en los habitantes.

Se debe priorizar la conservación del terreno de vida silvestre y proteger las tierras agrícolas, promoviendo el desarrollo en áreas que ya cuenten con infraestructura en lugar de un terreno virgen. Lo más deseable es priorizar el construir o renovar espacios dentro de un edificio ya existente, antes de buscar expandirse hacia otras áreas de la ciudad.

Para poder escoger la localización, se debe hacer en base al uso que se quiere que tenga (residencial, oficinas, servicios, industrial), así como los años de vida que se pretende que se mantenga con ese mismo uso, y en consecuencia los mantenimientos y la recurrencia con la que se deben realizar. Así mismo, es necesario un estudio exhaustivo de los componentes bióticos, el clima y los fenómenos naturales de la zona, así como otros aspectos como la geomorfología, la calidad del agua y el suelo, identificando de qué forma se va a afectar a cada uno de ellos para posteriormente proponer medidas de mitigación cuando no sea posible evitar alterarlos. Un análisis del medio económico, permite identificar las principales actividades que se desarrollan en el área y los indicadores socioeconómicos que reflejen la calidad de la vida de la población en los alrededores del sitio, y reconocer a los efectos directos, indirectos, acumulativos y residuales de la construcción que se quiere realizar.

Otra consideración para la localización es que debe girar en torno a reducir las distancias de los desplazamientos hacia cualquier tipo de servicio que puedan requerir los usuarios, como farmacias, supermercados, centros comerciales, panaderías, etc. para reducir la contaminación asociada al tráfico. A su vez, sería importante que este tipo de lugares se adaptara mejor para recibir tráfico peatonal y no sólo vehicular, así como a la facilidad para llegar tomando cualquier tipo de transporte público. Tomando como ejemplo las plazas comerciales, sus accesos siempre se encuentran rodeadas de un espacio de estacionamiento bastante grande que hay que atravesar antes de llegar a

la puerta, mientras que si una persona llega en automóvil o en motocicleta podría bajarse prácticamente frente a esta.

3.2 INSUMOS DE LA EDIFICACIÓN

Según un estudio hecho por el World Watch Institute, la construcción consume el 40% de piedras brutas, gravas y arena, así como 25% de la madera virgen cada año. Es por eso que las estrategias de Economía Circular para la etapa de construcción del edificio giran en torno a reducir la cantidad de materiales que terminan en rellenos sanitarios, incineradores, vertederos y cualquier otro tipo de disposición final; a través de acciones de reducción, reúso y reciclaje, así como la revalorización de aquellos residuos que no se pueden dejar de generar.

Al momento de hacer la selección de materiales se debe considerar qué amenidades se van a tener y las necesidades energéticas e hidráulicas. Tomando esto en cuenta, investigar sobre las distintas alternativas disponibles en el mercado y elegir la que mejor se adapte a sus necesidades, preservando el entorno en donde va a ser utilizado, y siempre dando la preferencia a los productos de aquellas empresas responsables en su proceso de fabricación. No se trata solamente de buscar materiales fabricados de otros materiales reciclados, sino que también se pueden considerar como sustentables aquellos que reducen o eliminan la generación de residuos peligrosos durante su elaboración.

3.3 APROVECHAMIENTO HÍDRICO Y ENERGÉTICO

Para maximizar la eficiencia hidráulica se pueden utilizar plantas que no requieran de un sistema de irrigación continuo, así como un diseño óptimo de esta red. Si hay alguna piscina al aire libre se recomienda cubrirla cuando llueva, ya que de esta forma no se va a contaminar y no será necesario recircular el agua con mayor frecuencia. Para el consumo interno, la clave es que todos los muebles sean ahorradores: inodoros, regaderas, mingitorios, lavabos, etc. También el diseño interno de la red de distribución es sumamente importante, la selección de los accesorios que se van a utilizar en el sistema de tuberías, así como el acomodo de estas dentro de las instalaciones deben seguir un diseño que evite la mayor cantidad de pérdidas de energía por fricción, ya que de esta forma se estará ahorrando energía de las bombas pero también se eficiente el consumo de los muebles.

Para la climatización del edificio se sugiere que un porcentaje del agua que ingresa al sistema provenga de otras fuentes, es decir, que sea “agua reciclada”. Esta puede ser utilizada también en sistemas de humidificación. Las fuentes pueden ser aguas grises, de

lluvia, agua de mar tratada, entre otras. El agua de lluvia también puede servir para hacer las descargas de los WC, ya que se puede recolectar en la azotea o roof garden, siempre y cuando los registros por donde baja no estén cerca de un asador donde se pueda contaminar con aceites. Otras recomendaciones incluyen: la reutilización de las aguas grises, utilizar calentadores solares en lugar de gas, y la captación y tratamiento de agua de lluvia para utilizarla como potable.

Por otro lado, se puede maximizar el rendimiento energético a través de la instalación de paneles fotovoltaicos para la iluminación de áreas comunes y bombeo de agua, utilizar iluminación LED en lugar de los tubos fluorescentes T12, sobre todo en edificios de oficinas, tubos solares para aprovechamiento de luz natural, y aunque este ya no está incluido ahí, también se sugiere que no se utilicen refrigerantes que contengan clorofluorocarbonos (CFC) o hidroclofluorocarbonos, ya que se ha comprobado que estos tienen un potencial muy alto de depleción de la capa de ozono.

Lo más recomendable es encontrar una fuente de energía limpia generada in situ, que pueda estar produciendo de manera continua y almacenarla para utilizarla durante los horarios punta. Por ejemplo, a través de una bomba de calor geotérmica.

3.4 GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCDS)

Durante la etapa de planificación y diseño se define el rumbo del proyecto, pero es necesario contemplar qué va a suceder una vez el edificio llegue al final de su vida útil. Si bien es imposible prever con total exactitud en qué condiciones estará en ese momento, sí es posible hacer simulaciones y examinar distintos escenarios, a través de herramientas como el ACV. Existen varios caminos que se pueden tomar una vez llegado este tiempo, la rehabilitación, remodelación, o incluso si la elección es demoler parcial o totalmente un edificio, esto también deberá ser considerado en el análisis, como un apartado de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.

Hay ciertos “residuos” en las obras que pueden evitar la disposición final y reutilizarse en otras construcciones, como es el caso de ciertas cimbras. Y para el resto de materiales que serán transportados a otros destinos, es necesario tomar en cuenta que los residuos no compactados pueden incluir un 40% de aire, lo que incrementa los costos de los camiones que se los llevan, por lo que se recomienda saber con anterioridad cuánto se generó de cada tipo de residuo y evaluar cuál es la mejor estrategia para disponerlos.

4 OPERACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Para la fase de ocupación, y debido a que es la fase más larga por la que pasa un edificio, el centro de atención debe ser alargar su vida útil, aprovechando inteligentemente los recursos que ya fueron asignados con este fin, evitando la demolición temprana y los residuos asociados, según lo dictan los principios de Economía Circular.

Existen diversos aspectos desde donde podemos evaluar si la operación de nuestra edificación cumple las expectativas sustentables que buscamos, o en su caso, intervenir para asegurar que así sea, mediante estrategias relacionadas a los siguientes aspectos: adaptación local, eficiencia en el consumo de agua, optimización de los sistemas energéticos y mantenimiento.

4.1 ADAPTACIÓN LOCAL

Este primer aspecto evalúa el nivel de armonía que existe entre un edificio y su entorno, destinando esfuerzos para que este se adapte al ecosistema donde está ubicado. La ocupación física de esta construcción y sus vías de acceso implica la impermeabilización del suelo, causando: inundaciones pluviales, contaminación de la escorrentía, impactos en las fuentes de agua superficial, el ciclo de recargamiento de acuíferos y el efecto isla de calor, por la falta de humedad y la retención de la radiación solar en el área, sin mencionar el desplazamiento de flora y fauna.

En zonas urbanas, se ha demostrado que utilizar sistemas de biorretención y de infiltración mejoran el balance hídrico local al utilizar jardines de lluvia y materiales pétreos permeables respectivamente, redirigiendo la escorrentía a zonas verdes aprovechables o brindándole un tratamiento preliminar antes de pasar finalmente al alcantarillado, controlando el escape de contaminantes y aumentando el tiempo de concentración de los escurrimientos, ya que en zonas pavimentadas llega a existir un coeficiente de escurrimiento del 95%.

Estos sistemas tienen preferencia sobre los pozos de absorción o infiltración ya que son propensos a azolverse después de la primera temporada de lluvias. Además, recientemente se han desarrollado los pavimentos permeables que permiten el paso del agua a través de ellos por su alto nivel de porosidad, aunque por esa misma razón sólo permiten el paso de vehículos ligeros, ya que esta condición impacta directamente en la capacidad de carga del material.

Para el caso del efecto isla de calor, es posible contrarrestarlo remediando la falta de vegetación en edificaciones y áreas urbanas, especialmente en techos y

accesos, mejorando no sólo la estética y calidad del aire, sino la refrigeración natural del entorno por la retención de agua en lugar de calor, minimizando a su vez el uso de aire acondicionado y de consumo energético. Incluso, es posible cubrir los techos con sistemas de generación de energía (como turbinas eólicas y captadores solares) o materiales reflejantes (asegurándose de que no presenten deslumbramientos peligrosos para la salud o biodiversidad) para no dejar al descubierto del sol el concreto y asfalto.

4.2 EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA

La eficiencia de un recurso como el agua parte de la idea de demostrar que su consumo disminuye por lo menos 20% en comparación con un sistema convencional², no sólo por los muebles y accesorios ahorradores que se concibieron desde la etapa de diseño, sino teniendo además sistemas de captación pluvial, de tratamiento de aguas y/o de realimentación trabajando

Cabe recalcar que es difícil y costoso tener todos estos sistemas trabajando a la vez, sin embargo, muchos expertos en la materia recomiendan darle prioridad al tratamiento de aguas residuales debido a que se tiene una certeza mayor de obtener aguas residuales por el propio uso del edificio, a diferencia de los eventos pluviales que ocurren por temporadas, aprovechando así aguas grises y negras.

Una referencia que algunas empresas utilizan consiste en mandar el 30% de las aguas residuales al alcantarillado público, pero el 70% a la planta de tratamiento instalada en el mismo edificio basada sobre todo en procesos físicos, utilizando el agua tratada para riego de áreas verdes, descargas sanitarias, infiltración al subsuelo, lavado de patios y demás amenidades. Incluso se puede compartir el excedente de agua tratada con viviendas y edificios aledaños.

Además, existen otras estrategias como: sistemas de bombeo de recirculación para agua caliente, sustitución de hidroneumáticos, controles inteligentes de riego, etc.; todas disponibles para utilizarse según la necesidad de los usuarios. Lo cierto es que, aplicadas las mejoras de este apartado, se ha demostrado que se presenta también un ahorro económico, por la disminución de gastos de operación y agua utilizada, teniendo retornos de inversión a mediano plazo y aumentos de plusvalía de las propiedades.

² El consumo convencional debe ser calculado con base en la ocupación permanente, el consumo de agua considerando el tipo de clima y uso del edificio (comercial, oficina, residencia, salud, educación, recreación, etc.), y el agua pluvial anual potencialmente captable y aprovechable. Todo obtenido del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) para el caso de México.

4.3 OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS

La “envolvente” es el término clave para comprender cómo optimizar el sistema energético que alimenta un edificio, disminuyendo la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración, y en consecuencia: el consumo de energía, los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La envolvente de un edificio es la capa que separa el interior del edificio con el exterior, componiéndose de diversos elementos de construcción que actúan como protección contra factores ambientales y altas o bajas temperaturas. Un diseño inteligente de esta contribuye a mantener el confort térmico al interior, una buena calidad de aire y previene la generación de contaminantes a futuro. Este diseño es también conocido como arquitectura bioclimática, del cual existen recomendaciones populares, que van desde el uso de elementos arquitectónicos y sus ángulos de inclinación (para aprovechar la luz y calor del sol en invierno, y reducir la exposición en los veranos), hasta la utilización de materiales con cierto índice de aislamiento térmico, transparencia y opacidad, según convenga bajo el contexto del proyecto. Estas estrategias se pueden aplicar a elementos como techos, muros, pisos, puertas, ventanas, cortinas, aleros, pérgolas, porches, persianas y toldos, por mencionar algunos.

Para considerarse ahorro energético, se debe demostrar una disminución de por lo menos 10% de ganancia de calor bajo un contexto convencional, mientras para un edificio sustentable se requiere que 10% de la demanda energética provenga de energías renovables. Una vez optimizados los sistemas eléctrico y energético del edificio, también se deben instalar aparatos (refrigeradores, congeladores, luminaria, calentadores, acondicionadores, elevadores, etc.) que le hagan justicia y persigan la eficiencia energética según las normas aplicables.

4.4 MANTENIMIENTO

Para maximizar el tiempo de vida útil es crucial mantener en buenas condiciones el edificio, previendo futuras reparaciones más exhaustivas por medidas de conservación más simples, pero continuas. Es natural que una edificación se deteriore con el paso del tiempo hasta llegar al fin de su vida útil, pero las intervenciones de mantenimiento sin lugar a duda tienen la capacidad de otorgarle características de calidad y eficiencia cercanas a las que se tenían de inicio.

Por otro lado, la rehabilitación total se utiliza cuando se conserva la parte estructural pero se modifica el diseño para que el edificio pueda servir para otro propósito. Esto se aplica en toda la construcción y puede abarcar más que sólo el diseño estructural o de interiores, a diferencia de la rehabilitación parcial, ya que puede implicar una reorganización de los servicios de agua, energía, gas y alcantarillado que alimentaban al complejo.

Finalmente, está la demolición. Esta es la opción menos deseable y hay artículos que dicen que para que un edificio alcance el grado máximo de sostenibilidad será necesario eliminar esta posibilidad por completo. Aún así existen algunas recomendaciones para que aún cuando se elija esta alternativa se pueda asegurar el máximo retorno de valor a las cadenas productivas.

En primer lugar, se debe buscar la recuperación de la mayor cantidad posible de elementos no estructurales que puedan ser removidos con relativa facilidad y se encuentren en buen estado para poder ser utilizados en otras construcciones nuevas o en remodelación, por ejemplo, puertas, ventanas, elementos decorativos. Esto se conoce como desmantelamiento selectivo.

En segundo lugar está el reciclaje, que es valorizar a los residuos a través de algún tipo de proceso para que puedan ser utilizados nuevamente, los elementos que más se prestan para esto son aquellos compuestos por madera, metal, paneles de yeso, y elementos de concreto. Los últimos tienen la tasa más alta de reciclaje, puesto que se pueden triturar y transformar en agregados grueso y fino, adoquines o bloques.

Es muy importante resaltar que se debe evitar a toda costa que los residuos terminen en la disposición final (incineración, relleno sanitario, o peor aún, vertederos), y sólo debe aplicarse cuando las otras alternativas no sean viables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arenas Cabello, F. J. (2007). *El Impacto Ambiental en la Edificación: Criterios para una Construcción Sostenible*. Madrid: Edisofer.

Canal SUMe Sustentabilidad para México, A.C. (16 de febrero de 2023). *Webinar M.S.V. con Bioe: Actualización Sustentable para edificaciones existentes* [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xGnzDMUilfk>

Centro Mario Molina. (2014). *Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones* [Archivo PDF]

Chávez, P. J., Martini, I., & Franco, A. J. (01 de enero de 2018). *Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial*. [Tesis doctoral]

Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2018). *Economía Circular en el sector de la construcción*.

Revista Fundación CONAMA. CONAMA. http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%202018/6_final.pdf

Consejería del Medio Ambiente. (2000). *Manual de Gestión Ambiental y Auditoría: Sector de Construcción y Viviendas*. Madrid: Mundi-prensa.

Dwyer, B., & Efrón, A. (2017). *Eficiencia energética en la supply chain: Economía circular en la práctica*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Gama Cruz, D. & Loreto Gurrola, U. (2023). *Economía Circular aplicada a la edificación en México* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México].

Instituto Municipal de Planeación de Mérida. (2021). *Sistemas Urbanos de Drenaje Pluvial Sostenible para Mérida* [Archivo PDF].

Lores Medina, A., & Cárdenas Espitia, N. (2018). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO DE USO MIXTO VIVIENDA MULTIFAMILIAR Y COMERCIAL* [Archivo PDF].

Residuos profesional. (2015). La Importancia del Análisis del Ciclo de Vida en la Economía Circular. Residuos Profesional. Retrieved April 15, 2023, from: <https://www.residuosprofesional.com/analisis-de-ciclo-de-vida-economia-circular/>

Sánchez Pacheco, N. B. (2020). *REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN* [Archivo PDF].

Secretaría de Economía. (2013). *EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS*. (NMX-AA-164-SCFI-2013).

USGBC. (2023). *BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION* [Archivo PDF].

USGBC. (2021). *BUILDING OPERATIONS AND MAINTENANCE* [Archivo PDF].

Vallejo Aguirre, V. M. (2014). *LAS DIVERSAS CERTIFICACIONES APLICABLES A LOS EDIFICIOS SUSTENTABLES EN MÉXICO* [Archivo PDF].

Zabalza, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España* [Tesis de Doctorado, Universidad de Zaragoza] - Dialnet.

CAPÍTULO 3

VINCULACIÓN PROFESIONAL PARA EL MONITOREO DE SERVICIOS DE TICs UTILIZANDO BIG DATA

Data de submissão: 20/11/2024

Data de aceite: 26/11/2024

Marcelo Dante Caiafa

Departamento de Ingeniería e
Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de la Matanza
Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-6730-2041>

Ariel Rodrigo Aurelio

Departamento de Ingeniería e
Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de la Matanza
Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-3741-5296>

RESUMEN: La articulación entre la formación universitaria y la profesional es uno de los objetivos de nuestra labor educativa. El interés del trabajo es poner de manifiesto las competencias relevantes del ingeniero en un proceso concreto de vinculación entre el ambiente académico y el ambiente productivo. La investigación se basa en el desarrollo de herramientas para el monitoreo de servicios de los sistemas TIC (tecnología de la información y la comunicación). Esta articulación universidad-empresa utiliza tecnología Big Data para el procesamiento de un gran volumen de datos contenido en

los archivos generados por los sistemas de comunicaciones de una organización de servicios masivos, con miles de empleados y cientos de sucursales, que atiende a más de dos millones de clientes. Este trabajo pretende construir un tablero de control basado en tecnología de código abierto, que se nutre de los registros de detalle de llamada CDRs (Call Detail Records) generados por la plataforma de comunicaciones. El objetivo es identificar las competencias profesionales desarrolladas y validar si el dominio de las habilidades técnicas específicas es condición suficiente para lograr un adecuado desempeño profesional en un proyecto de estas características.

PALABRAS CLAVE: Big Data. Tecnología de la Información. Competencias Profesionales.

1 INTRODUCCIÓN

La generación de datos se ha incrementado tanto que su tratamiento con los sistemas tradicionales se complica. Este crecimiento hace que requiera de herramientas adecuadas para la comprensión de la información generada. De allí que el término Big Data es de los más abordados en la industria de las tecnologías de la información [Regunath, 2017]. Originalmente ha sido típicamente empleado para referirse a la solución al crecimiento exponencial de los

datos para su almacenamiento, procesamiento y análisis [Manyika, 2011]. Se enumeran algunos de sus beneficios [Routledge, 2013]:

- “Optimización del cálculo y la precisión algorítmica. para reunir, analizar, enlazar y comparar conjuntos de grandes cantidades de datos”.
- “Identificación de patrones para la toma de decisiones en distintos ámbitos (económico, social, técnico y legal)”.

Según otros autores, la definición de Big Data es un proceso de exploración, desarrollo y aplicación de algoritmos escalables, infraestructuras y herramientas para organizar, integrar, analizar y visualizar, grandes cantidades de datos, complejos y heterogéneos [Mutula, 2016]. La herramienta seleccionada para el desarrollo del presente trabajo tiene como motor de búsqueda Elasticsearch y de acuerdo a la clasificación [Turck, 2017] responde a big data analítica.

Por su diversidad los datos se agrupan en tres tipologías: estructurados, semiestructurados y no estructurados [Riahi, 2018]. Los primeros tienen formato específico, están etiquetados y son de fácil acceso. Los segundos cuentan con algún tipo de estructura, generalmente en formatos XML o HTML con etiquetas de texto y meta data. Los últimos no disponen de estructura [Soares, 2012].

La aplicación del Big Data en la generación de información referidos al análisis de grandes conjuntos de datos para ayudar en la toma de decisiones, entre las cuales se identifican [Machado, 2016].

- Óptimo almacenamiento de datos masivos.
- Integración de datos que provienen de distintos sistemas
- Análisis de la información para facilitar la detección de fallos.

El perfil del ingeniero está conformado por competencias técnicas y competencias genéricas [Hashim, 2016]. Para los profesionales que trabajan en el sector de las TICs, el análisis y la recopilación de datos genera oportunidades para ejecutar procesos de analítica, medición y diagnóstico de incidentes, etc. Estas nuevas competencias técnicas definen un nuevo especialista, conocido genéricamente como “científico de datos”. Este perfil requiere habilidades en el manejo de información y la mejora de la calidad y las relaciones entre conjuntos de datos [Morato, 2016]. Las principales se centran en el diseño de base de datos, desarrollo de procesos de extracción, transformación y carga de datos de múltiples fuentes. Este proceso conocido por sus siglas en inglés, ETL (extract, transform y load) [Dobre & Xahfra, 2014].

Según Pratt, las empresas “requieren personal para interpretar y construir tableros de visualización, de modo que la mesa ejecutiva pueda comprender la información que

contienen [Pratt, 2016]. Otros autores [Osorio & Villa, 2017] indican que entre los nuevos perfiles requeridos por el mercado laboral están:

Analista de datos: ejecuta análisis estadísticos sobre distintas fuentes.

Científico de Datos: aplica estadística y programación para examinar datos que provienen de fuentes variadas y desconectadas.

Gerente de datos (Chief Data Officer): un ejecutivo que actúa como responsable final de la gestión de datos y sus políticas de privacidad.

En las últimas décadas Argentina ha desarrollado el sector de Software y Servicios Informáticos con su dinámica permitiría aprovechar estos avances en el crecimiento y desarrollo del país [Barletta, 2013]. Según lo expresado por algunos autores, las empresas fomentan la creación de nuevas estrategias para la toma de decisiones. De allí que Big data se convierta en uno de los principales aspectos a considerar en los ámbitos comercial, científico y social, debido al gran impacto económico e innovador que representa [Barranco, 2013].

Según la Cámara de Empresas de Software y Servicios Informáticos, entre 2003 y 2012 la facturación del mercado de tic en la Argentina creció un 19,8% anual en promedio. El país cuenta con oportunidades para generar una plataforma para la industria de Big Data mediante la promoción de políticas adecuadas. Sin embargo, los resultados de la Encuesta Big Data 2014, muestra una demanda escasa explicada en parte por la falta de conocimiento y limitaciones en la infraestructura. De acuerdo al relevamiento del CIECTI (Centro interdisciplinario de estudios en ciencia, tecnología e innovación) las instituciones científicas revelan una desconexión entre la producción académica y los desarrollos de empresas locales [Malvicino, 2016].

2 PROBLEMÁTICA A INVESTIGAR

El presente trabajo, basado en la necesidad de consolidación de datos para aportar valor a la gestión de servicios de tecnología, pretende dar respuesta a la desconexión citada en el apartado anterior.

El estudio se enfoca en la articulación entre el mundo académico y el mundo profesional. Para ello estudia el proceso de construcción de una herramienta de gestión de los servicios de TICs basada en tecnología Big Data.

Algunos autores [Garousi, 2011], dentro de su propuesta de enseñanza-aprendizaje, incorporan proyectos reales, estrategias para desarrollar habilidades y métodos de evaluación en la enseñanza de ingeniería de software basada en la ejecución de proyectos universidad-empresa.

Los objetivos de la investigación apuntan a conocer sobre las habilidades puestas en práctica por el ingeniero que se desempeña en un proyecto de estas características. De allí surge la pregunta de investigación:

¿Al momento del abordaje de un proyecto que vincula Big Data con los servicios de TICs, es suficiente con el dominio de competencias técnicas específicas?

Se pretende aportar valor a la formación del perfil del profesional que trabaja en el sector TIC poniendo en relevancia las habilidades necesarias para lograr un eficiente desempeño en la explotación de datos de los sistemas de una empresa del mercado local. Los objetivos del estudio son:

1. Identificar los tipos de competencias profesionales requeridas para lograr un excelente desempeño en un proyecto de estas características.
2. Construir los indicadores, mediante la selección de parámetros a partir de los datos disponibles, de modo que reflejen las variables a medir.
3. Elaborar una herramienta para el monitoreo de los servicios de TICs a través de un tablero que consolide información para la toma de decisiones.

Como indican algunos autores, las TICs son relevantes al momento de considerar esfuerzos de analítica que procese datos masivos. Este tipo de proyectos no son sólo de implementación de infraestructura tecnológica, por su naturaleza y potencial impacto son estratégicos para sustentar la toma de decisiones basada en evidencia [Rodríguez, Palomino & Mondaca, 2017].

Por un lado, las tareas de integración de plataformas tecnológicas demandan un dominio de competencias técnicas o habilidades duras sobre cada una de ellas, es decir tanto de la tecnología de Big Data como de los sistemas de TICs.

Por otro lado, algunos autores que consideran el ambiente interno de las empresas indican que la relación entre tecnología y habilidades blandas en entornos de big data influyen positivamente en la adopción de nuevas tecnologías [Caputo, Cillo, Candelo & Liu, 2019].

3 PLATAFORMA TECNOLÓGICA

La plataforma tecnológica de Big Data seleccionada para este trabajo es el conjunto ELK (Elasticsearch-Logstash-Kibana) dada su versatilidad y sus características. Es una solución conformada por tres componentes de donde deriva su acrónimo ELK. (Elasticsearch, Logstash y Kibana).

Logstash: es pre-procesamiento, recoge datos y los procesa antes de almacenarlos en sus bases. Requiere Java Virtual Machine y corre sobre distintos

sistemas operativos. Elasticsearch es una base de datos distribuida, es tolerante a fallos y tiene alta disponibilidad. Kibana es la herramienta de presentación gráfica, donde se genera la visualización de la información con filtros y tableros de comando.

Figura 1: Plataforma tecnológica empleada.



Fuente: Elasticsearch B.V.

Los tres componentes definen un conjunto de herramientas de código abierto que se combinan para crear una herramienta de administración de registros permitiendo la monitorización, consolidación y análisis de archivos de texto en múltiples servidores. Uno de los motivos que llevaron a su adopción son: funcionalidades con bajo costo técnico, disponibilidad de optimización y escalabilidad. El presente trabajo utilizó ELK versión 7.10.0 corriendo Windows 10 JVM versión 8.0 sobre un nodo único.

4 DESARROLLO DEL TRABAJO

El desarrollo del trabajo se estructura en cinco etapas fundamentales de ejecución secuencial. En la primera etapa se realizaron las tareas de relevamiento de infraestructura de red, el detalle del direccionamiento IP y la arquitectura del sistema de comunicaciones para conocer la fuente de datos. En la etapa dos se obtienen los registros CDR, se identifican los parámetros relevantes y se elabora un diccionario de datos para la correcta interpretación de los datos. La tercera trata de la indexación de la base de datos. A cada campo seleccionado del CDR se le asigna un tipo de parámetro específico para que el motor de búsqueda pueda procesarlo pasando de archivo de texto a documento Json. La cuarta y última etapa ejecuta el proceso ETL. Se elabora un archivo de texto a partir del cual se configura el módulo Logstash para la ingesta de datos.

4.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA FUENTE DE DATOS

Para alcanzar el objetivo propuesto se utilizó como fuente de datos los registros CDRs, generados por los sistemas de comunicaciones de una organización con más de dos millones de clientes dedicada al servicio masivo. Está compuesta por miles

empleados con cientos de sucursales. El diccionario de datos sirve para dar significado a cada campo del registro CDR.

Estos registros se generan cada vez que se realiza o se recibe una llamada. Su ciclo de vida comienza con la generación de una llamada y se actualiza con los eventos que ocurren durante la misma (inicio, duración, final, transferencia, etc). Estos registros presentan distintos formatos acordes a la tecnología empleada y pueden ser utilizados para los procesos de carga, liquidación, facturación, eficiencia de la red, detección de fraude, servicios de valor agregado, inteligencia de negocios, etc. [Agrawal, Bernstein, Bertino, Davidson & Dayal, 2017].

4.2 INDEXACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para generar la base de datos es preciso crear un índice en Kibana. Se definen los campos necesarios para dar formato a la estructura de datos que se espera recibir. La figura muestra parte del archivo utilizado:

Figura 2: Indexación de la base de datos.

```
PUT /cdr2020DBv2 {
  "mappings": {
    "properties": {
      "cdrRecordType":{"type":"integer"},
      "globalCallID_callManagerId":{"type":"integer"},
      "globalCallID_callId":{"type":"integer"},
      "origLegCallIdentifier":{"type":"integer"},
      "dateTimeOrigination" : {"type":"integer"},
      /se utiliza tipo entero porque de acuerdo al
      diccionario de datos la fecha y hora están en formato
      UNIX (cantidad de segundos transcurridos desde 01/01/1970)
      "dateTimeOrigination_formatted" : {"type":"date"},
      /se realiza la transformación del campo a partir
      del tipo de archivo .conf del proceso ETL.
      "dateTimeConnect_formatted" : {"type":"date"}
      "origNodeId" : {"type":"integer"},
      "origSpan" : {"type":"integer"},
      "origIdAddr" : {"type":"integer"},
      "origIpv4v6Addr" : {"type":"ip"},
      /se utiliza tipo IP, en lugar del tipo entero ya
      que Kibana permite discriminar rangos de IP.
      "destIpv4v6Addr":{"type":"ip"},
      "callingPartyNumber" : {"type":"integer"},
      "callingPartyNumberPartition" : {"type":"text"},
      /se utiliza tipo texto porque es el formato en que
      se espera recibir el nombre origen de llamada.
      "origNodeId":{"type":"integer"},
      "callingPartyUnicodeLoginUserID":{"type":"text"},
      "origCause_location":{"type":"integer"},
      "dateTimeImport":{"type":"date"},
      "origCause_value":{"type":"integer"},
      "origMediaPrecedenceLevel":{"type":"integer"},
      "origMediaTransportAddress_IP" : {"type":"integer"},
    }
  }
}
```

Fuente: Elaboración propia.

4.3 PROCESO ETL

El proceso ETL (Extract, Transform and Load) es el proceso de toma de datos, la adaptación de sus campos y tipos, y la carga de datos a la base. Se identifican claramente tres instancias. La primera es la entrada (input), que consiste en indicar la ruta del archivo de donde se extraen los datos.

Figura 3: Proceso ETL.

```
input {file {
  path => "C:/Users/unlam/CDR2020.txt"
  start_position => "beginning"}
}
filter {csv {columns => ["cdrRecordType",
  "globalCallID_callManagerId",
  "origLegCallIdentifier",
  "dateTimeOrigination",".....",
  "origVideoCap_resolution_Channel2"]}
}
date {match => ["dateTimeOrigination","UNIX"]}
target => ["dateTimeOrigination_formatte"]
date {match => ["dateTimeConnect", "UNIX"]}
target => ["dateTimeConnect_formatted"]
date {match => ["dateTimeOrigination","UNIX"]}
target => ["dateTimeOrigination_formatte"]
date {match => ["dateTimeConnect", "UNIX"]}
target => ["dateTimeConnect_formatted"]}
output {stdout {}
  elasticsearch {index => "cdr2020Bv2"} }
```

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es el filtro donde se listan todos los campos que contendrá en formato separado por comas. En el caso particular de las fechas, se pueden convertir los datos que se reciben en formato UNIX a un tipo dato. Por último, se tiene la salida (output) que indica el nombre del índice donde quedarán cargados los datos.

4.4 DEFINICIÓN DE INDICADORES

A partir de las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones [ITU, 2016] se definen los indicadores más relevantes:

International outgoing traffic: Tráfico saliente a destino internacional

Outgoing Mobile Traffic: Tráfico saliente a celulares

Outgoing Long-Distance Traffic: Tráfico saliente a destino Nacional

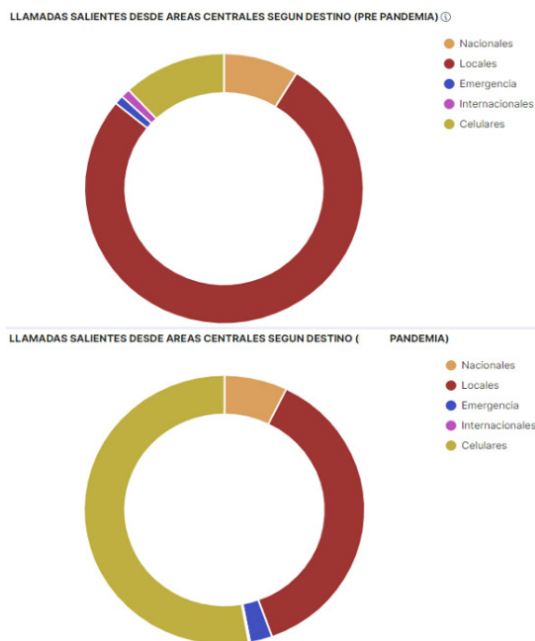
Donde el tráfico es la cantidad de llamadas por unidad de tiempo.

Duración: es la cantidad de tiempo que transcurre durante la interacción total.

5 RESULTADOS OBTENIDOS

El parámetro finalCalledPartyNumber se utilizó para clasificar el tráfico de voz según las categorías: Locales, Nacionales, Emergencia, Internacionales y Celulares. Esto permite registrar la distribución del tráfico y el costo operativo. El filtro se aplicó a diferentes períodos para evidenciar las restricciones y comparar períodos pre-pandemia (Nov/Dic 2019) y durante pandemia (Nov/Dic 2020).

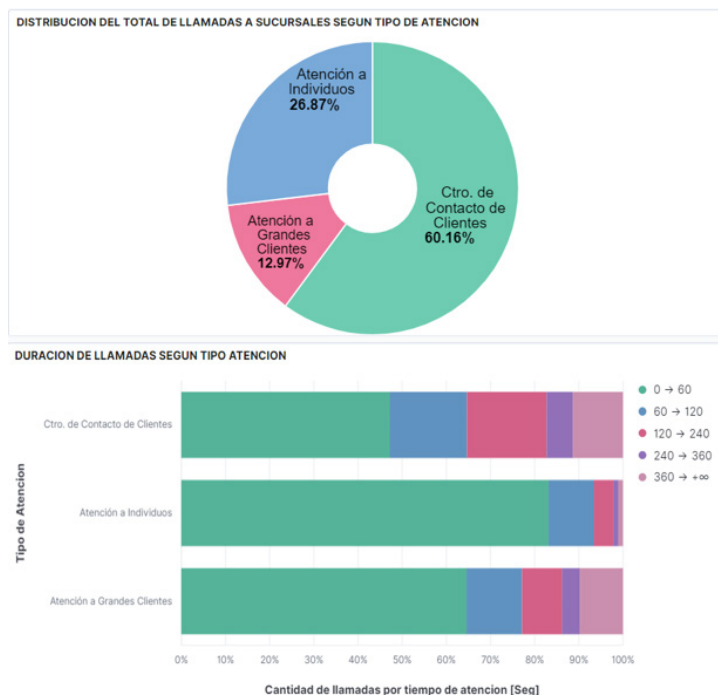
Figura 4: Distribución del tráfico saliente.



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron dos gráficos para construir el tablero que mide el nivel de calidad de atención al cliente y se muestra en la figura. El gráfico superior tiene la distribución de llamadas entrantes clasificadas por tipo de atención. La atención se conforma en tres grupos: centro contacto con clientes, atención a individuos y grandes clientes. El gráfico inferior detalla la duración de las llamadas en grupos segmentados por minuto.

Figura 5: Indicadores de atención al cliente.



Fuente: Elaboración propia.

6 CONCLUSIONES

El trabajo permitió valorar la experiencia de enseñanza a través de la participación de estudiantes en un proyecto concreto de articulación academia-empresa, donde la industria aportó datos del contexto productivo y especialistas técnicos y de negocio.

Respecto a los costos operativos del servicio de telefonía, comparando los mismos meses de 2019 (preCovid-19) frente al último 2020 (durante Covid-19) se observa un incremento del 320% para la categoría destino Celulares y una reducción del 50% de la categoría destino Locales. Esto refleja de que manera afectaron los cambios impuestos por las restricciones de la pandemia, que redujo la concurrencia de personal a sucursales a cambio de utilizar teléfonos celulares, con el respectivo incremento de costo generado.

En el tablero de atención del cliente se observa que los atendidos por el centro de contacto (CC) representan un 60% del total de llamadas a sucursales. El tráfico restante se distribuye en dos tercios para el sector individuos y uno a grandes empresas.

En el CC el 45% de las llamadas duran menos de 1 minuto. El personal del CC suele ajustar su comportamiento a niveles de productividad. Comparando las llamadas

respondidas por oficiales en sucursal con duración mayor a 5 minutos, se observa que grandes empresas tienen un 10% del total, mientras que individuos es sólo 1%.

Las tareas de vinculación con el ambiente productivo, si bien requieren de competencias técnicas, pone de manifiesto la necesidad de habilidades blandas para la adecuada interpretación de los datos y la capacidad de indagación eficiente sobre el contexto de la información.

Desde el punto de vista de los estudiantes, el análisis de esta experiencia permitió identificar como ventaja la aplicación de los conocimientos técnicos en ambientes profesionales y el reconocimiento de las habilidades blandas como factores críticos de éxito dentro del proyecto. Estas últimas resultaron clave particularmente en la etapa de contextualización de datos.

Como futuros trabajos se propone el estudio de metodología la evaluación Esta propuesta constituye un primer insumo para la valoración del desarrollo de habilidades blandas en los estudiantes a partir de la definición de rúbricas. Estas habilidades se desarrollan al aplicarse en distintas actividades con estudiantes, tales como: exposiciones, elaboración de informes, y en entrevistas con clientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, Bernstein, Bertino, Davidson & Dayal, "Challenges and Opportunities with Big Data". USA, CYBER CENTER TECHNICAL REPORTS, 2011. <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=cctech>

Barletta F & M. Pereira, V. Robert y G. Yoguel (2013), "Argentina: dinámica reciente del sector de software y servicios informáticos". Revista cepal, N° 110, agosto. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/11618>

Barranco, R. (2013): "¿Qué es big data?". IBM, México [citado 15 agosto, 2013]. Disponible en: <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/que-es-big-data/>

Caputo, Cillo, Candelo & Liu, Y. (2019). Innovating through digital revolution: The role of soft skills and Big Data in increasing firm performance. *Management Decision*, 57(8), 2032–2051.

Dobre & Xhafa. *Parallel programming paradigms and frameworks in Big Data Era*. 2014. International Journal of Parallel Programming. 42(5), pág. 710-738.

Garousi V. Incorporating real-world industrial testing projects in software testing courses: opportunities, challenges, and lessons learned. En Software Engineering Education and Training (CSEE&T 2011), 24th IEEE-CS Conference on, pp. 396-400. IEEE.

Hashim & Olanrewaju. "CDR Analysis using Big Data Technology". 2016. Publicado por International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/document/7381414>

ITU. List of indicators included in the World Telecommunication/ICT Indicators database, December 2016. International Union of Telecommunications. https://www.itu.int/en/ITUUD/Statistics/Documents/statistics/2016/WTID_2016_ListOfIndicators.pdf

- Machado M. *Applications of Big Data for Development*. 2016 Disponible en <https://www.engineeringforchange.org/news/applications-of-big-data-fordevelopment/>
- Malvicino F & Yoguel G (2016), "Big Data. Avances recientes a nivel internacional y perspectivas para el desarrollo local. CIECTI. <http://www.ciecti.org.ar/wpcontent/uploads/2017/07/DT3-BigData-avances-y-perspectivas-de-desarrollo-local.pdf>
- Manyika K. *Big Data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*," McKinsey Global Institute, 2011.
- Morato, Sanchez Cuadrado, & Fernández Bajón. 2016. *Trends in the technological profile of information professionals*. *El Profesional de La Información*, 25(2),169-178. Disponible en: <https://doi.org/10.3145/epi.2016.mar.03>
- Mutula S. *Big Data Industry: Implication for the library and information sciences*. 2016. *African Journal of Library Archives and Information Science*, 26(2), 93–96. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/ajlais/article/view/167425>
- Osorio M & Villa M. 2017. "Uso de las plataformas de big data como herramienta en inteligencia de negocio". 2017.
- Pratt M. "Hottest Tech Skills for 2016". *Computer World*, (diciembre 2015), 29–34. Disponible en <http://bit.ly/2oPyDeD>
- Regunath J. *Real-Time intrusion detection system for Big Data*. *International Journal of Peer to Peer Networks (IJP2P)*, vol. VIII, nº 1, 2017. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-015-1615-5>
- Riahi, S. "Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies". *International Journal of Research and Engineering, IJRE | Vol. 5 No. 9*, pág 525. 2018
- Rodríguez, Palomino & Mondaca. *El uso de datos masivos y sus técnicas analíticas para el diseño e implementación de políticas públicas en Latinoamérica y el Caribe*. BID. Sector de Conocimiento y Aprendizaje. 2017.
- Routledge J. *Critical questions for Big data*. Cambridge: Danah Boyd & Kate Crawford. 2013 Disponible en <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1369118X.2012.678878>
- Soares S, 2012. *Big Data Matchmaker*. Five Data Types You Need To Explore Today. Disponible en <https://www.dataversity.net/not-your-type-big-data-matchmaker-on-five-data-types-you-need-to-explore-today/>
- Turck, M. Firing on All Cylinders: The 2017 Big Data Landscape. 2020. Disponible en <http://mattturck.com/bigdata2020/>

CAPÍTULO 4

EL PERFIL IDEAL DEL INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA REESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA EDUCATIVO

Data de submissão: 12/11/2024

Data de aceite: 22/11/2024

José Luis Gutiérrez Liñán

Dr. en Educación

Profesor de Tiempo Completo

Centro Universitario UAEM

Zumpango, México

<https://orcid.org/0000-0003-3589-2750>

Carmen Aurora Niembro Gaona

Dra. en Educación

Profesora de Tiempo Completo

Centro Universitario UAEM

Zumpango, México

<https://orcid.org/0009-0008-2582-7692>

Alfredo Medina García

Maestría en Educación

Profesor de Tiempo Completo

Facultad de Ciencias Agrícolas

UAEMéx

Jorge Eduardo Zarur Cortés

Dr. en C. y A.D

Profesor de tiempo Completo

Centro Universitario UAEM

Zumpango, México

<https://orcid.org/0000-0001-8349-6993>

RESUMEN: El Ingeniero Agrónomo en Producción es el profesionalista de las Ciencias Agropecuarias que busca la eficiencia de la productividad agrícola y pecuaria, mediante el uso óptimo de los recursos naturales, materiales, económicos y humanos con los que cuenta cada unidad de producción agropecuaria a fin de minimizar las pérdidas en toda la cadena de producción-consumo, aumentar los ingresos netos y responder a la demanda de una mayor cantidad de alimentos que satisfagan las necesidades mínimas y básicas de la población humana en cuestión de alimentación, usos secundarios de las materias primas, así como uso decorativo y ornamental. Para lograrlo el Ingeniero Agrónomo en Producción se enfrenta al reto de manejar los recursos naturales, renovables y no renovables bajo un enfoque de sostenibilidad, administrar eficientemente los recursos materiales y económicos, así como brindar asistencia técnica, capacitación y organización a los agentes humanos involucrados en la productividad agrícola y pecuario.

PALABRAS CLAVES: Perfil. Ingeniero. Reestructuración. Programa.

1 INTRODUCCIÓN

En este documento es la narrativa de los trabajos que se realizaron durante la reestructuración del Programa Educativo de Ingeniero Agrónomo en Producción

2023, después de realizar un exhaustivo análisis de la información proporcionada por empleadores, egresados, revisión de planes de estudios de las principales Universidades a Nivel nacional e Internacional en la formación de recursos humanos en las Ciencias Agropecuarias, planes de desarrollo nacional, estatal, municipal, así como la Agenda 2030, este trabajo se realizó en forma conjunta como miembros de comité curricular de la licenciatura, el trabajo de reestructuración duró a aproximadamente dos años, hasta obtener la versión mixta 2023, aprobada por el H. Consejo Universitario en el mes de febrero del año 2023, logrando obtener el siguiente perfil de egreso para los ingenieros Agrónomos en Producción, que buscar la eficiencia de la productividad agrícola y pecuaria, mediante el uso óptimo de los recursos naturales, materiales, económicos y humanos con los que cuenta cada unidad de producción agropecuaria a fin de minimizar las pérdidas en toda la cadena de producción-consumo, aumentar los ingresos netos y responder a la demanda de una mayor cantidad de alimentos que satisfagan las necesidades mínimas de la población humana.

2 ANTECEDENTES

La agronomía, como profesión y como campo de conocimiento, nació a finales del siglo XIX en Europa y Estados Unidos, inspirada en los logros de las primeras disciplinas científicas que comenzaban a ser aplicables en la agricultura, específicamente en las ciencias naturales y exactas, cuyos avances en el conocimiento de las plantas, los animales, el suelo, el agua y la maquinaria, prometían mejorar los métodos de producción (Arce, 1982). En ese mismo período se comenzaban a consolidar los grandes estados nacionales americanos y prevalecían corrientes de pensamiento político-social de corte positivista (Cleaves, 1988).

Ante tal situación, se comienza a destacar la necesidad de la educación agrícola con la intención introducir tecnología e investigación a la agricultura. Así en 1833, el Gobierno decreto que dentro de la instrucción pública se incluyan las siguientes cátedras: “Una Botánica, una Agricultura Práctica y una de Química Aplicada a las Artes (Industrial), que fueron impartidos por Lucas Alamán quien concibió la creación de una escuela teórica y práctica. (Gómez 2009).

La agronomía fue severamente cuestionada en sus orígenes y tuvo problemas de matrícula. En pleno periodo porfirista, hubo años, entre 1893 y 1906 en que ningún agrónomo terminó la carrera. La costeabilidad de la educación agropecuaria fue pública y duramente criticada, pues los resultados hasta el momento no eran visibles ni considerados por el uso de los recursos naturales que hasta el momento el país tenía.

Sus clientes potenciales (los hacendados), sentían desconfianza hacia los jóvenes egresados y se quejaban de que exigían salarios muy altos, desde entonces “se señaló que el país no necesitaba Ingenieros Agrónomos y que era suficiente con formar gente medianamente ilustrada que no aspirarán a un salario alto” El papel del agrónomo en el mejoramiento de la producción agropecuaria era motivo de constantes debates, estrechamente relacionados con los sistemas de producción agropecuaria (Zepeda,1982).

En México la agronomía surgió de un proyecto educativo, se legitimó profesionalmente dentro de un proyecto político nacionalista después de la Revolución, se consolidó durante la revolución verde y entro en crisis como parte del aparato burocrático del Estado a inicios de la década de los 80's. A inicios de la década de los 90's hubo cambios importantes de carácter normativo e institucional, afectaron los espacios profesionales de los agrónomos, tanto los tradicionales como los emergentes. Estos cambios han puesto en evidencia los conflictos entre el sector agropecuario y las instituciones de Educación Agrícola superior por cumplir con las exigencias de un profesional que dé respuesta a los problemas del sector.

Por lo anterior las Instituciones de Educación Agrícola Superior ofrecen una educación de calidad, cuyo objetivo sea formar recursos humanos en las Ciencias Agropecuarias, cuyo perfil de egreso sea dar respuesta a la problemática o necesidades del campo laboral con la formación de profesionales que tengan, los conocimientos, habilidades, actitudes, destrezas y de forma general las características que permitan desarrollar digna y responsablemente su profesión, por lo que todo trabajo de modificación, actualización o reestructuración del Programa Educativo va encaminado a estas características, con ello se deben ofrecer unidades de aprendizaje con contenidos, que generen conocimientos y desarrollo de habilidades que les permita dar respuesta a las necesidades y los avances en las ciencia y tecnología y con ello tomar decisiones y resolver los problemas que se presenten en su campo laboral.

Es necesario definir que el perfil de egreso de los Ingenieros Agrónomos, es la formación integral especializada basada en la práctica, investigación e innovación, que busca garantizar el desarrollo de competencias y habilidades en los estudiantes para desenvolverse de manera ética, eficiente y eficaz en su práctica como profesionistas de las Ciencias Agropecuarias y que responda a las demandas del campo mexicano.

Por lo que el Ingeniero Agrónomo deberá tener las competencias que le permitan identificar y desarrollar las potencialidades productivas existentes en las comunidades rurales, de modo que actúe como agente de cambio y promotor del desarrollo. La formación de contenidos significativos, para mantener actualizada la currícula, requiere

alimentarse de la propia realidad de la región, investigar los problemas, las limitantes y las potencialidades para alcanzar un desarrollo sostenible y equitativo en el sector agropecuario (Ramírez, et.al, 2004).

La carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción se ofrece en el Centro Universitario UAEM Zumpango desde hace treinta y siete años de su creación, y se ha posicionado como un espacio donde se ofrece estudios de licenciatura con calidad educativa con 11 programas educativos en la parte noroeste del Estado de México y al hablar de la Licenciatura de Ingeniero Agrónomo en Producción, que es una de las fundadoras, que inició labores en 1987 con Diseño Industrial, Enfermería, Sociología y Ciencias Políticas y Administración Pública.

El plan de estudios de la licenciatura inició en su modalidad rígida, que estuvo impartándose desde 1987 a 2004, teniendo como característica el mismo tronco común que las especialidades de Fitotecnia, Industrias y Zootecnia de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, aprobado en el ciclo 1984-1985, y en el año de 2004 entra en vigencia el plan de estudios con su versión flexible por competencias, ya tiene trece años de impartirse, por lo que en la actualidad no se ha realizado ninguna modificación al mismo, actualmente han egresado 8 generaciones de su versión flexible (Gutiérrez, 2017). Para el 2023 es aprobado su versión mixta, misma que para el 2024 se aplica en su segunda generación y se avanza de forma paulatina con los estudiantes que ingresaron en el 2023.

Es necesario recordar que el programa educativo de Ingeniero Agrónomo en Producción tiene como objetivo formar íntegramente a un profesional que analice, interprete y proponga alternativas de solución a los factores limitantes de la producción, abasto, distribución y comercialización de los sistemas de producción agropecuarios. Proporcionar al estudiante los conocimientos y desarrollo de habilidades y destrezas necesarias que le permitan planear, diseñar y operar un sistema de producción, conservación, distribución y comercialización con un enfoque sustentable y con pensamiento humanístico, crítico y propositivo. En este sentido la educación agrícola superior debe contar con programas de estudio actualizados, flexibles centrados en el desarrollo integral del alumno, apoyado con programas de becas y de movilidad nacional e internacional (Plan de Desarrollo de IAP, 2017). Para ofrecer una educación de calidad, se debe contar con un soporte humano y la infraestructura adecuada para garantizar el cumplimiento de las funciones de Docencia, Investigación, Difusión, Extensión y Vinculación.

El impacto que ha tenido el PE de Ingeniero Agrónomo en Producción en la región desde su creación y su visión ha sido buscar el mejoramiento de la cultura general,

para desarrollar las capacidades necesarias para identificar necesidades personales y comunitarias, que le permita visualizar oportunidades y limitaciones, por lo que es necesario preparar de manera más completa a los nuevos recursos humanos y dotarlos de las herramientas precisas como aprender aptitudes y habilidades que sean transferibles para moverse en un gran abanico de ambientes sociales y culturales, todo empieza desde que los estudiantes tienen que realizar su servicio social y Estancias Académicas en las dependencias del sector Federal y Estatal como Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México (SEDAGRO), y en las direcciones de Desarrollo Agropecuario de los H. Ayuntamientos de los Municipios circunvecinos a la institución, así como en la iniciativa privada, por lo que siempre está latente la preocupación de que sus egresados destaquen en el campo laboral y poner a la Universidad Autónoma del Estado de México.

3 METODOLOGÍA

El presente documento tiene la finalidad de divulgar los resultados obtenidos en la reestructuración del plan de estudios del programa Educativo de Ingeniero Agrónomo en Producción con sede en el Centro Universitario UAEM Zumpango como parte de su proceso de formación profesional, la metodología con la cual se presenta el trabajo se establece con un método descriptivo ya que pretende la narración y explicación de los resultados obtenidos de los análisis de la información proporcionada por empleadores, egresados, revisión de planes de estudios de las principales Universidades a Nivel Nacional e Internacional en la formación de recursos humanos en las Ciencias Agropecuarias, planes de desarrollo nacional, estatal, municipal, así como la Agenda 2030.

4 RESULTADOS

Actualmente las instituciones de Educación Agrícola Superior tienen un gran desafío que es fortalecer la vinculación con el mercado laboral, el cual marca la pauta hacia el perfil de egreso, donde sus egresados deben contar una visión multidisciplinaria, y su formación cuyo perfil se oriente no solo a obtener elementos y herramientas que incidan en la parte productiva de la agricultura, lo cual es básico e importante, sino también en la formación integral que comprenda conocimientos y habilidades en el ámbito de los agronegocios y aptitudes para los procesos de planeación, implementación y administración agroempresarial, actitudes para dar y mantener la competitividad y la vinculación al mercado de manera favorable a las agroempresas, dándonos un agrónomo,

proactivo, propositivo, creativo y comprometido con lo que hace y con quién lo hace (Niembro y Navarro, 2013), a continuación se colocan los resultados de las encuestas aplicadas a los diferentes sectores para obtener el perfil de egreso:

Los empleadores consideran necesarios que sus unidades de aprendizaje o materias consideren los siguientes contenidos de los requerimientos de calidad en los productos, enfermedades, lectura de fichas técnicas, uso y manejo de pesticidas, con respecto al nivel de inglés, se sugiere incorporar que los alumnos cuenten con un nivel más alto del idioma.

De acuerdo con la opinión de los expertos, las actividades que debe desempeñar el Ingeniero Agrónomo en Producción son: tener la capacidad de aplicar e integrar tecnologías agronómicas en los sistemas de producción tanto animal como vegetal a nivel nacional mediante el dominio técnico, respetando el ambiente en la producción de alimentos, de manera inocua, indudablemente, diagnóstico de plagas y enfermedades, investigación, manejo de Sistemas de Producción para obtener soluciones a los problemas específicos que enfrentan los productores, brindar la asesoría a productores agrícolas y pecuarios, manejar el proceso industrial y comercial de los productos obtenidos del campo.

Con respecto a las áreas en las que se debe desarrollar el Ingeniero Agrónomo en Producción son genética, microbiología, diseños experimentales, administración, sistemas de riego, manejo integrado de plagas, química, biotecnología, edafología, fisiología vegetal, sustentabilidad, composteo y sustentabilidad agrícola, uso y manejo del suelo, sistemas de producción pecuarios, realizar investigación en los elementos de sistemas de producción, en ventas y negocios, comercialización y mercadotecnia, así como en la agroindustria.

En cuanto a los egresados de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción cuentan con los recursos teóricos y desarrollo de habilidades y destrezas que les proporciona las diferentes unidades de aprendizaje que conforman el plan de estudios, no obstante, se hace necesario la revisión periódica de diversas unidades de aprendizaje sobre todo optativas para la actualización y desarrollo de temas de actualidad, acordes con los cambios en sistemas de producción tanto agrícolas como pecuarios. Así mismo, es necesario revisar el cambio de carácter de algunas Unidades de Aprendizaje optativas para que pasen a obligatorias como son Producción intensiva en invernaderos, Hidráulica, Diagnóstico Nutricional, Agronegocios, Producción de Forrajes, Parasitología Animal, Introducción a la Farmacología, Estancia y dos niveles de inglés.

El análisis de planes podemos mencionar que, si bien existe congruencia entre las funciones profesionales, los objetivos del programa educativo, objetivos de las áreas

curriculares y sus contenidos, es necesario incorporar en los objetivos y funciones aspectos relacionados con la sustentabilidad, Inocuidad y seguridad Agroalimentaria con la intención de seguir siendo una oferta educativa a nivel superior en la zona noroeste del Estado de México.

Por lo anterior se obtuvo el siguiente perfil de egreso del Ingeniero Agrónomo en Producción:

- Administra los recursos naturales y materiales bajo un enfoque sustentable, a fin de eficientar la productividad agrícola y pecuaria.
- Evalúa la productividad agrícola y pecuaria a fin de minimizar las pérdidas en toda la cadena de producción-consumo y aumentar los ingresos netos.
- Evalúa la viabilidad económica de los procesos de producción.
- Maneja de forma eficiente los productos terminales de los sistemas de producción.
- Propone esquemas de vinculación y organización entre los agentes responsables de la producción y comercialización de los productos agropecuario.

Con este perfil de egreso de los Ingenieros Agrónomos en Producción, se pretende contribuir a satisfacer o resolver las necesidades del campo mexicano de acuerdo con el Programa de Estudios de la Licenciatura 2023, como a continuación se menciona:

- ✓ Contribuir a mantener y mejorar el patrimonio fitozoosanitario y de inocuidad agroalimentaria implementando medidas que reduzcan y prevengan la presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos en las unidades de producción.
- ✓ Promover el uso sustentable de los recursos naturales que intervienen en la producción agropecuaria.
- ✓ Incrementar la producción de alimentos en las unidades de producción agropecuarias mediante el establecimiento de sistemas agrícolas y pecuarios más integradores y eficientes a nivel local y nacional.
- ✓ Fortalecer la resiliencia de los medios de subsistencia basados en la agricultura frente a los múltiples riesgos.
- ✓ Minimizar las pérdidas en toda la cadena de producción y consumo a fin de aumentar los ingresos netos.
- ✓ Promover el acceso de las mujeres productoras en el sector rural a los servicios de financiamiento, asistencia técnica y mercados.

- ✓ Brindar capacitación, asistencia técnica y organización a los productores para lograr su integración en esquemas de comercialización.
- ✓ Adoptar innovaciones tecnológicas y su apropiación y validación, así como participar en la transferencia de tecnología a los productores, adecuándolas a un desarrollo sustentable.
- ✓ Gestionar la adquisición de maquinaria, equipos e instalaciones innovadoras en los sistemas de producción agropecuarios.
- ✓ Promover el desarrollo de capacidades empresariales y de autogestión de las y los productores en los territorios rurales para la creación de micro, pequeñas y medianas empresas.
- ✓ Brindar asistencia técnica para elevar la calidad, eficiencia, productividad y competitividad de sistemas de producción agropecuarios.
- ✓ Fomentar políticas, programas y acceso al financiamiento formal a fin de obtener recursos para la producción agropecuaria.
- ✓ Realizar investigación básica y aplicada para la resolución de problemas en los sistemas de producción agropecuaria.

En el ámbito profesional

- ✓ Manejo sustentable de sistemas de producción agrícola y pecuarios.
- ✓ Producción, conservación y utilización de forrajes para alimentación de ganado.
- ✓ Producción, distribución, conservación, comercialización y promoción para el consumo de productos y subproductos para la alimentación humana.
- ✓ Alimentación del ganado de interés zootécnico.
- ✓ Técnicas de reproducción y mejoramiento genético de plantas y animales.
- ✓ Prevención y tratamiento de enfermedades de las plantas y animales.
- ✓ Obtención de alimentos de origen animal y vegetal inocuos de calidad.
- ✓ Gestión, administración y ejecución de proyectos agrícolas y pecuarios.
- ✓ Asesoría técnica en las unidades de producción agrícolas y pecuarios con un enfoque sustentable.

5 CONCLUSIONES

Actualmente la educación agrícola en México, es una gran responsabilidad de la instituciones de Educación Agrícola Superior, que debe plantear perfiles de egreso con una visión integradora de manera multidisciplinar, que al realizar una modificación o reestructuración de sus programa educativos, los comités curriculares deberán tener

presente que debe enfocarse a una educación que genere competencias profesionales, es decir analizar los contenidos temáticos de todas las unidades de aprendizaje que conformarán el programa educativo con una visión transversal.

La formación del Ingeniero Agrónomo en Producción es una gran responsabilidad para la Institución donde se oferta, al formar recursos humanos que satisfagan las necesidades reales de una sociedad en constante evolución, por lo que su formación debe estar fundamentada en tres pilares: una parte técnica, una parte académica y una científica, lo que dará origen a un perfil de egreso que cumpla con las expectativas del campo laboral con una sensibilidad y compromiso social para garantizar el desarrollo rural del campo mexicano.

La agronomía debe ser arte, viéndolo desde este enfoque, los profesionales de la agronomía deberán ser hombres y mujeres con una visión de sustentabilidad y esta manera seguirá posicionándose la licenciatura en la región Noroeste del Estado de México, como una oferta educativa de calidad.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

El Dr. en Ed. José Luis Gutiérrez Liñán. Es profesor de tiempo completo en el Centro Universitario UAEM Zumpango de la Universidad Autónoma del Estado de México. Su licenciatura es Ingeniero Agrónomo en Producción, su Maestría en Fitomejoramiento y Doctor en educación. Su línea de Investigación es Educación Agrícola, es Profesor con reconocimiento Deseable ante la SEP, Líder del Cuerpo Académico Gestión de la Educación e Investigación Sustentable. Ha escrito 9 libros y más de 10 capítulos de libros, ha impartido diferentes ponencias en encuentros académicos a nivel nacional como internacional, asesor de proyectos de titulación.

La Dra. en Ed. Carmen Aurora Niembro Gaona. Es profesora de tiempo completo en el Centro Universitario UAEM Zumpango. Su maestría es en Docencia y administración de la Educación Superior y Doctora en Educación. Su línea de Investigación es Educación, Integrante del Cuerpo Académico Gestión de la Educación e Investigación Sustentable, instructora de cursos a docentes de educación básica y educación Media Superior. Escritora de 3 Libros y 9 capítulos de libro, escritora de varias ponencias, asesora de proyectos productivos y de emprendedurismo. Es profesora con Reconocimiento Deseable ante la SEP.

El M. en Edu. Alfredo Medina García, Es Profesor de tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del estado de México, es integrante del Cuerpo Académico Gestión de la Educación e Investigación Sustentable, autor de varios capítulos de libro, ponente en diferentes eventos académicos a Nivel Nacional e Internacional.

El Dr. en C.y A.D. Jorge Eduardo Zarur Cortés. Profesor de Tiempo Completo, Centro Universitario UAEM Zumpango, en la Licenciatura de Diseño Industrial, es Profesor con reconocimiento Deseable ante la SEP, autor de varios capítulos de libro, ponente en diferentes eventos académicos a Nivel Nacional e Internacional.

REFERENCIAS

Arce G. F., M. Bazant, A. Staples, D. Tanck E., J. Zoraida V. (1982). Historia de las profesiones en México, El colegio de México, México, 406 p.

Aldape T. (2008). Desarrollo de las competencias del docente: Demanda De La Aldea Global Siglo XXI. Libros EnRed.

Alfa Tuning América Latina: Innovación Educativa y Social (2011-2013).

Barrón Tirado, M. C. (2000). La educación basada en competencias en el marco de los procesos de la globalización. En M. A. Valle (coord.) Formación de competencias y certificación profesional, (pp. 23-31), CESU-UNAM.

Barroso, R, C (2006). Acercamiento a las nuevas modalidades educativas en el IPN. Innovación Educativa, 6(30),5-16. ISSN: 1665-2673. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179420843002>

Bosco, H, M & Cabello, B. V.F. (2016) Perspectivas sobre la Educación Abierta y a Distancia: algunos retos educativos del mundo actual. México: INFOTEC. Recuperado de: <https://www.infotec.mx/work/models/Infotec/Publicaciones/Perspectivassobre-la-educacion-abierta-y-a-distancia-algunos-retos-educativos-del-mundo-actual.pdf>

Centro Universitario UAEM Zumpango. (2004). Proyecto Curricular de la Licenciatura de Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma del Estado de México.

Centro Universitario UAEM Zumpango. (2023). Proyecto Curricular de la Licenciatura de Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma del Estado de México.

Cleaves P. (1988). Las profesiones y el estado: el caso de México, Serie Jornada del Colegio de México, México, 244p.

Gómez, S. L.G. (2009). Escuelas y Enseñanza Agrícola en Jalisco, 1920 – 1924. X Congreso Nacional de Investigación Educativa. Área 9: historia e historiografía de la educación. Memoria electrónica, Veracruz, México.

Gutiérrez L. J.L. (2017) Plan de Desarrollo de la Licenciatura de Ingeniero Agrónomo en Producción, Centro Universitario UAEM Zumpango, UAEM 2017-2020.

Martínez, S. T. (2009). Documentos para la historia agrícola de México. revista de Geografía Agrícola, núm. 42, enero-junio, pp.109-113. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Mata, G. B. (1992). La formación del Agrónomo necesario. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, 135p.

Niembro G. C.A.; Navarro S. L. 2013. Tendencias Actuales de la Formación del Ingeniero Agrónomo. Capítulo de Libro III del Libro Profesionalización y Campo Laboral de la Educación Agrícola, Editorial Parentalia ediciones, México. ISBN 978-607-96160-2-1.

Ramírez, L. V.; Flores L. G.J. (2004). Pertinencia social, evaluación y acreditación del agrónomo mexicano. *Tiempo de Educar*, vol.5, núm. 10, julio-diciembre, p.p.113-134. Universidad Autónoma del estado de México, Toluca, México.

Zepeda Del Valle. J.M. (2002). *La Educación Agrícola Superior en México: nuevos contextos, nuevos desafíos*. CEIBA. Volumen 43 (1): 87-124, enero- junio, Chapingo, México.

Zepeda J.M. (1988). *Estudio Histórico de la Educación Agropecuaria en México*, textual Vol. 3 No.10, diciembre de 1982, Universidad autónoma de Chapingo, México.

CAPÍTULO 5

FORTALECIMIENTO DE LA COMPETENCIA COMUNICATIVA EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA: ESTRATEGIAS Y DESAFÍOS

Data de submissão: 14/10/2024

Data de aceite: 05/11/2024

Marta Graciela Caligaris

Grupo Ingeniería & Educación
Facultad Regional San Nicolás
Universidad Tecnológica Nacional
San Nicolás de los Arroyos
Buenos Aires, Argentina
<https://www.frsn.utn.edu.ar/gie/~mcaligaris>

Georgina Beatriz Rodríguez

Grupo Ingeniería & Educación
Facultad Regional San Nicolás
Universidad Tecnológica Nacional
San Nicolás de los Arroyos
Buenos Aires, Argentina
<https://www.frsn.utn.edu.ar/gie/~grodriguez>

Lorena Fernanda Laugero

Grupo Ingeniería & Educación
Facultad Regional San Nicolás
Universidad Tecnológica Nacional
San Nicolás de los Arroyos
Buenos Aires, Argentina
<https://www.frsn.utn.edu.ar/gie/~llaugero>

RESUMEN: En la actualidad, las competencias técnicas son esenciales para la inserción y el desempeño en el mercado laboral, pero también es fundamental el dominio de competencias

blandas. Estas últimas son cada vez más valoradas en el ámbito del trabajo. Por ello, en la formación de los futuros profesionales, resulta imprescindible integrar actividades en el aula que promuevan el desarrollo de las mismas. En las cátedras de Análisis Numérico de algunas carreras de Ingeniería de la Facultad Regional San Nicolás, perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional, a partir del año 2019, y en concordancia con las competencias de egreso establecidas por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, se decidió incorporar el desarrollo de competencias blandas dentro del currículo. Particularmente, la competencia comunicativa, tanto oral como escrita, adquirió un papel central. Así, el objetivo no fue solo asegurar el dominio de los contenidos específicos de la materia, sino también preparar a los estudiantes para expresarse con claridad y precisión en contextos académicos y profesionales. Para lograr este propósito, se introdujeron diversas modificaciones en la dinámica de la asignatura, incorporando actividades como exposiciones orales, debates, trabajos en grupo y redacción de informes técnicos. También, se diseñaron instrumentos de evaluación específicos para medir el desarrollo de la competencia en cuestión. Estas actividades no sólo permitieron a los estudiantes fortalecer y mejorar su competencia comunicativa, sino que también les ofrecieron oportunidades para recibir retroalimentación, reflexionar sobre su progreso y detectar áreas de mejora. Este trabajo describe en detalle los cambios

implementados para alcanzar el objetivo propuesto, así como las rúbricas desarrolladas para las actividades planteadas. Además, se reflexiona sobre los desafíos encontrados durante la implementación de estas estrategias, con el fin de ofrecer una mirada crítica y constructiva sobre la enseñanza de competencias blandas en carreras de ingeniería.

PALABRAS CLAVE: Competencias blandas. Comunicación escrita. Comunicación oral. Formación ingenieril. Análisis Numérico.

STRENGTHENING COMMUNICATIVE COMPETENCE IN ENGINEERING STUDENTS: STRATEGIES AND CHALLENGES

ABSTRACT: Nowadays technical skills are essential for insertion and performance in the job market, but the mastery of soft skills is also fundamental. These competencies are increasingly valued in the work environment. Therefore, in the training of future professionals, it is essential to integrate activities in the classroom to promote their development. In Numerical Analysis courses from some engineering careers at Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, since 2019, and in accordance with the graduation competencies established by the Federal Council of Deans of Engineering, the development of soft skills was included into the curriculum. Particularly, communication skills, both oral and written, assumed a central role. Thus, the goal was not only to ensure mastery of the specific content of the subject but also to prepare students to express themselves clearly and accurately in academic and professional contexts. To achieve this purpose, many adjustments were introduced in the course's dynamics, incorporating activities such as oral presentations, debates, teamwork, and drafting of technical reports. Additionally, specific evaluation instruments were designed to measure the development of the targeted competency. These activities not only allowed students to strengthen and improve their communication skills but also provided them with opportunities to receive feedback, reflect on their progress, and identify areas for improvement. This work details the changes implemented to achieve the proposed objective, as well as the rubrics developed for the suggested activities. Furthermore, some considerations on the challenges encountered during the implementation of these strategies are presented, with the aim of providing a critical and constructive perspective on the teaching of soft skills in engineering careers.

KEYWORDS: Soft Skills. Written Communication. Oral Communication. Engineering Training. Numerical Analysis.

1 INTRODUCCIÓN

El antiguo paradigma de formación de profesionales basado en la enseñanza como simple esquema de transferencia de conocimientos que el alumno oportunamente sabrá abstraer, articular y aplicar, ha ido perdiendo espacio en la realidad actual. La sociedad de hoy requiere de egresados universitarios competentes, capaces de ejercer su profesión en la realidad que lo rodea (Giordano Lerena y Cirimelo, 2013). Tal como sostienen Arana Ercilla y Batista Tejeda (1999):

La búsqueda de una cultura integral es un objetivo estratégico en el mundo de hoy, así un humanista que no sepa de los avances científicos tecnológicos puede poseer una elevada cultura humanista y ser un ignorante ante las nuevas formas de vida imperantes. De la misma manera, un científico o un tecnólogo que posea elevados conocimientos y habilidades profesionales, tiene que saber conducirlas desde y para la sociedad, lo que se expresa en saber trabajar en grupo, interpretar social y económicamente las necesidades y demandas; dirigir procesos a través de la participación, el diálogo y la comunicación, en busca de información valiosa para la competitividad. (p.13)

En este contexto, es fundamental implementar en el aula metodologías de enseñanza que preparen a los futuros profesionales para integrarse al mercado laboral y enfrentar sus desafíos con éxito. Para lograrlo, es esencial incluir actividades que fomenten tanto el dominio de conocimientos técnicos como el desarrollo de competencias blandas. Es por ello que, a partir el año 2019, la cátedra de Análisis Numérico de las carreras de Ingeniería Mecánica, Electrónica e Industrial de la Facultad Regional San Nicolás de la Universidad Tecnológica Nacional ha integrado el desarrollo de competencias blandas en su currículo, alineándose con las competencias de egreso definidas por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. Dentro de estas competencias, la comunicación, tanto oral como escrita, ha adquirido un rol destacado.

En general, la competencia comunicativa es un aspecto poco trabajado en la formación de los futuros ingenieros. Una de las principales causas se debe a que aquellas disciplinas tradicionalmente relacionadas con la ingeniería se desarrollan explícitamente; mientras que las áreas que fomentan la formación integral de un ingeniero, sólo se trabajan de manera general. Por esa razón, se decidió que el objetivo de la materia no fuera sólo asegurar el dominio de los contenidos específicos, sino también preparar a los estudiantes para expresarse con claridad y precisión en contextos académicos y profesionales.

Para alcanzar el propósito establecido, se realizaron modificaciones en la dinámica de la asignatura, incorporando actividades como presentaciones orales, debates, trabajos en equipo y la redacción de informes técnicos. También se crearon herramientas de evaluación específicas para medir el desarrollo de la competencia comunicativa.

Este trabajo tiene como objetivo compartir la experiencia realizada en Análisis Numérico. Se describen los cambios implementados para cumplir con el objetivo planteado y los instrumentos de evaluación diseñados para las distintas actividades. Además, se analizan los desafíos encontrados durante la aplicación de estas estrategias, proporcionando una visión crítica y constructiva sobre la enseñanza de competencias blandas en carreras de ingeniería.

2 LAS COMPETENCIAS GENÉRICAS DE EGRESO

Según el Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI), hay consenso en cuanto que el ingeniero no sólo debe saber, sino también saber hacer. El saber hacer no surge de la mera adquisición de conocimientos, sino que es el resultado de la puesta en funciones de una compleja estructura de conocimientos, habilidades y destrezas que requiere ser reconocida en el proceso de aprendizaje para que la propuesta pedagógica incluya las actividades que permitan su desarrollo (Giordano Lerena, 2016).

El diseño por competencias ayuda a vigorizar el saber hacer requerido a los ingenieros recién recibidos. En este sentido, la formación de grado debe desarrollar aquellas competencias que el recién graduado tiene que poseer, en un nivel de desarrollo adecuado, para una efectiva inserción laboral.

El CONFEDI contempla diez competencias genéricas, complejas e integradas, relacionadas con saberes (teórico, contextual y procedimental), que se vinculan con el saber hacer, están referidas al contexto profesional, apuntan al desempeño profesional e incorporan la ética y los valores en el perfil del profesional que se busca formar. Estas competencias son:

- **Competencias tecnológicas.**
 - a) Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
 - b) Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.
 - c) Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería.
 - d) Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.
 - e) Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.

- **Competencias sociales, políticas y actitudinales.**
 - a) Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.
 - b) Comunicarse con efectividad.
 - c) Aprender en forma continua y autónoma.
 - d) Actuar con espíritu emprendedor.
 - e) Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.

2.1 LA COMPETENCIA COMUNICATIVA

Labrador y Morote (2015) definen la competencia comunicativa como la capacidad para transmitir conocimientos, expresar ideas y argumentos de manera clara, rigurosa y convincente, tanto en forma oral como escrita, empleando los recursos y medios más apropiados según la situación y el público destinatario. Estas autoras señalan también que las diversas situaciones académicas que enfrentan los estudiantes, así como las que enfrentarán en su vida profesional, llevan a considerar como relevante a la competencia comunicativa. Con la finalidad de poder desarrollarla, es necesario que el alumno posea un cierto grado de confianza en sí mismo y se adapte al entorno para poder realizar una comunicación eficiente.

2.1.1 La importancia de la comunicación en la ingeniería

En el ámbito de la ingeniería, se estima que los profesionales dedican entre el 50% y el 75% de su tiempo a actividades relacionadas con la comunicación. Por ello, desarrollar en los futuros ingenieros habilidades vinculadas a la comunicación es sumamente importante debido a que en su ámbito de trabajo deberán definir problemas, soluciones y resultados, establecer procesos de negociación, participar en sesiones de trabajo o traducir la información técnica a una forma simple y clara de entender, aunque sea numéricamente rica (Vega González, 2013).

3 LOS CAMBIOS EN LA FORMA DE ENSEÑAR ANÁLISIS NUMÉRICO

Para que un estudiante desarrolle la competencia comunicativa es necesario exponerlo a prácticas que permitan el desarrollo de la misma. Si bien desde el año 2019 las docentes a cargo de la cátedra Análisis Numérico vienen proponiendo actividades vinculadas a la comunicación efectiva en los alumnos, recién en el ciclo 2021 efectuaron cambios sustanciales en la forma de enseñar la materia. Uno de los primeros cambios fue la modificación de las cartillas de actividades de los distintos temas que se estudian en la materia, agregándoles situaciones problemáticas donde el alumno, apelando al marco teórico dado, debe justificar, fundamentar o explicar distintas situaciones. A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra algunas de las actividades diseñadas para fomentar la comunicación oral en la unidad correspondiente a Integración Numérica.

Figura 1. Actividades de la unidad Integración Numérica.

- 1) El docente, de manera aleatoria, seleccionará a seis alumnos del grupo clase.
- 2) Cada alumno seleccionado deberá explicar al resto de sus compañeros, según su criterio, cuáles son las principales ventajas y desventajas de los métodos numéricos estudiados para resolver una integral definida:
 - regla de los trapecios.
 - regla de 1/3 de Simpson.
 - regla de 3/8 de Simpson.
 - cuadratura de Gauss - Legendre.
- 3) Cada expositor contará con un tiempo máximo de cinco minutos para hacer su presentación.
- 4) El docente, como moderador, comunicará al resto de los alumnos el tema que se va a tratar e indicará las reglas que se seguirán. Además, será la persona encargada de ceder la palabra a cada uno de los expositores y de controlar el tiempo que cada uno de ellos emplea para hacer su presentación.
- 5) Una vez finalizadas las exposiciones, el docente realizará en el pizarrón un resumen de las ventajas y desventajas mencionadas por los distintos alumnos expositores y destacará las diferencias y coincidencias más notorias que se hayan mencionado.
- 6) Por último, el docente invitará al grupo clase a realizar preguntas a los alumnos expositores. Cada uno podrá realizar una sola intervención.

- 1) Formar grupos de cuatro estudiantes.
- 2) Cada grupo, deberá resolver la situación problemática que se muestra a continuación.

Si se conoce la distribución de la velocidad de un fluido a través de una tubería, es posible calcular la rapidez del flujo Q (es decir, el volumen de agua que pasa a través de la tubería por unidad de tiempo) mediante la integral:


$$Q = \int_0^{r_2} v \cdot (2\pi r) \cdot dr$$

donde r es la distancia radial medida desde el centro de la tubería. Si la distribución de la velocidad está dada por:

$$v = 2 \cdot \sqrt{1 - \frac{r}{r_2}}$$

donde r_2 es el radio total. Aproximar el valor de Q si se considera que $r_2 = 2$ cm.

Para ello, se podrá utilizar la aplicación personalizada disponible en el sitio web correspondiente a la unidad.

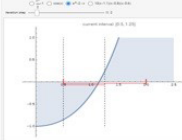

- 3) Cada grupo deberá preparar un escrito donde se detalle el proceso de resolución del problema y elegir un representante.
- 4) Cada representante deberá mostrar y explicar a sus compañeros el proceso de resolución del problema realizado por su grupo.
- 5) El docente, como moderador, permitirá que los miembros de los otros grupos le realice al grupo que está exponiendo un máximo de tres preguntas. Estas preguntas serán contestadas por los otros tres miembros del grupo expositor.
- 6) Entre todos los miembros de los distintos grupos, se elaborará en el pizarrón un resumen de los aspectos más importantes del proceso de resolución del problema propuesto.

- 1) Formar grupos de cinco integrantes como máximo.
- 2) Cada grupo investigará sobre algún problema ingenieril, de su especialidad, que requiera la resolución numérica de una integral definida. Tendrán un plazo de 20 días para resolver ese problema aplicando alguno de los métodos numéricos estudiados. Los alumnos podrán realizar las consultas que sean necesarias a los docentes de la cátedra durante el proceso de resolución.
- 3) Cada grupo realizará una exposición oral de una duración de entre 15 y 20 minutos donde explicará el problema propuesto y la forma en que el mismo fue resuelto. Para poder llevar adelante la exposición, podrán utilizar presentaciones digitales y/o pizarrón. La exposición oral deberá ser efectuada por todos los integrantes del grupo.

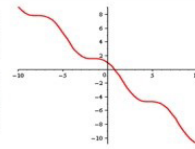
Mientras que en la Figura 2, se presentan algunas de las actividades que se elaboraron para afianzar o desarrollar en los estudiantes la comunicación escrita en la unidad de Resolución de ecuaciones no lineales.

Figura 2. Actividades de la unidad Resolución de ecuaciones no lineales.

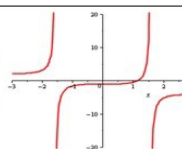
Utilizando el CDF disponible en la página <https://demonstrations.wolfram.com/BisectionMethod/>, explicar la forma en que el método de la bisección trabaja para obtener una aproximación de la solución real de la ecuación $e^x - x - 2 = 0$ con una cierta precisión.



Se quiere calcular una aproximación de la solución real de la ecuación $\cos(x) - x = 0$. La gráfica de la derecha muestra la representación de la función asociada a esa ecuación. Tomando en cuenta las características que presenta dicha función, selecciona la información necesaria para poder iniciar el proceso iterativo utilizando el método de la bisección, Newton, secante y Regula-Falsi. En cada caso, justificar la elección realizada.



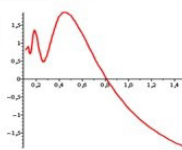
La siguiente tabla muestra las aproximaciones obtenidas al resolver la ecuación $\tan(x) - x + 1 = 0$ por medio del método de Regula Falsi, tomando como puntos iniciales $x_0 = 0,5$, $x_1 = 1,5$ y una tolerancia de 0,01. Explicar, en el foro del aula virtual de la materia, qué es lo que sucede cuando se aplica el método. ¿Por qué? ¿Qué se podría hacer para mejorar la eficiencia del mismo? Ejemplificar.



Iteración	Aproximación	Iteración	Aproximación
1	0,5759609	20	1,0976854
2	0,6443014	21	1,1026221
3	0,7053630	22	1,1068597
4	0,7599278	23	1,1104959
5	0,8082052	24	1,1136148
6	0,8508176	25	1,1162892
7	0,8882861	26	1,1185819
8	0,9211188	27	1,1205468
9	0,9498016	28	1,1222305
10	0,9743944	29	1,1236730
11	0,9965122	30	1,1249087
12	1,0153521	31	1,1259671
13	1,0316637	32	1,1268736
14	1,0457638	33	1,1276498
15	1,0579356	34	1,1283145
16	1,0684303	35	1,1288836
17	1,0774696	36	1,1293708
18	1,0852484	37	1,1297880
19	1,0919374	38	1,1301451

La siguiente tabla muestra la salida que se obtuvo al resolver la ecuación $1 - 2 \cdot x \cdot \sin(2 \cdot x^3) = 0$ por medio de un procedimiento del método de Newton, utilizando distintos valores iniciales y una tolerancia de 0,01. Indicar y justificar qué es lo que sucede en cada uno de los casos, sabiendo que en ambos ejemplos el procedimiento, cuyo pseudocódigo se detalla, se detuvo luego de una cierta cantidad de iteraciones.

Aproximación	Método de Newton
	$x_0 = 0,4$ $x_0 = 0,48$
1	0,02832 1,17599
2	-0,10186 0,62636
3	-0,06941 0,79599
4	-0,09154 0,80809
5	-0,11391 0,80822
6	-0,09864 -
7	-0,00461 -



```

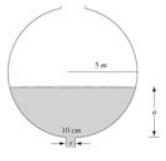
NEWTON (func, p0, tol, itmax)
i ← 1
mientras i ≤ itmax hacer
    p ← fp(p0)
    si |p - p0| < tol entonces
        mostrar "La raíz aproximada es", p
        PARAR
    si no
        p0 ← p
        i ← i + 1
fin si
fin mientras
si i >= itmax entonces
    mostrar "El método fracasó después de", itmax, " iteraciones"
fin si
FIN
    
```

A lo largo del desarrollo de la asignatura, se promueve también la realización de trabajos prácticos en los que, además de aplicar conocimientos matemáticos, los estudiantes deben poner en práctica sus competencias comunicativas. Estas actividades están diseñadas para fortalecer la capacidad de transmitir de manera clara y efectiva el proceso de resolución de problemas.

En la Figura 3, se presentan ejemplos de algunos enunciados de estos trabajos prácticos. En ellos, se solicita a los estudiantes:

- grabar un video en el que expliquen detalladamente los pasos seguidos para llegar a la solución del problema planteado,
- elaborar un informe escrito que describa de manera exhaustiva las distintas etapas del proceso de resolución,
- realizar una exposición oral grupal en la que presenten y defiendan el trabajo realizado, promoviendo el intercambio de ideas y el uso de un lenguaje técnico adecuado.

Figura 3. Enunciados de los trabajos prácticos.

<p>Para un gas ideal, se cumple la ley:</p> $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ <p>donde V es el volumen de gas, P la presión, n el número de moles del gas, R la constante universal de los gases y T es la temperatura en grados Kelvin.</p> <p>Si los gases fueran ideales el producto $P \cdot V$ debería ser constante a todas las presiones, pero todos los gases se desvían de este comportamiento en la mayor parte de las condiciones. Generalmente, la curva $P \cdot V$ en función de P de un gas real pasa por un mínimo. En los gases muy ligeros, como hidrógeno y helio, y en todos los gases a temperaturas muy superiores al punto de ebullición, no se observa este mínimo. En todos los gases existe una temperatura conocida como temperatura de Boyle en la que desaparece el mínimo de la curva $P \cdot V = f(P)$. Sin embargo, el mínimo se hace muy visible cerca de la temperatura de condensación.</p> <p>Se han propuesto distintas ecuaciones para predecir el comportamiento de gases reales. La más conocida es la ecuación de Van der Waals. Esta es una ecuación de estado para gases reales que tiene en cuenta las fuerzas de atracción y repulsión entre las moléculas. Así, se transforma la ecuación de los gases ideales, $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$, en:</p> $\left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = R \cdot T$ <p>donde V es el volumen de un mol. Los valores a y b pueden determinarse a partir de las constantes críticas de los gases.</p> <p>Encontrar, utilizando el método de Newton, una aproximación del valor de V sabiendo que el gas considerado es el nitrógeno, $P = 10 \text{ atm}$, $T = 800 \text{ K}$, $a = 1,38 \text{ atm litro}^2 / \text{mol}^2$, $b = 0,0394 \text{ litro} / \text{mol}$ y que para iniciar el proceso iterativo se utiliza el valor que se obtiene al emplear la ecuación de los gases ideales corregida:</p> $V_1 = b + \frac{R \cdot T}{P}$ <p>Realizar un video explicativo, con una duración máxima de diez minutos, de las distintas etapas de la resolución del problema.</p>	<p>En un tanque cilíndrico de 5 m de radio, como se muestra en la Figura 1, se encuentra un líquido a un nivel de 4 m. Teniendo en cuenta las características del tanque, se logró determinar que la variación del nivel g en función del tiempo t (medido en segundos) está dada por la expresión:</p> $\frac{dg}{dt} = \frac{-4,895 \cdot g^2 \cdot \sqrt{g}}{4 \cdot (10 - g^2)}$ <p>Se requiere estimar el tiempo necesario que se debe mantener abierta la válvula del fondo, cuyo diámetro d es de 10 cm, para que el nivel baje a 3 m.</p>  <p>Realizar un informe explicando las distintas etapas de la resolución del problema.</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formar grupos de tres a cuatro integrantes. 2. Cada grupo deberá seleccionar algún problema ingenieril cuya modelización esté relacionada con alguno de los temas estudiados en la asignatura durante el primer cuatrimestre: <ul style="list-style-type: none"> • Ecuaciones no lineales • Sistemas de ecuaciones lineales • Integración Numérica • Interpolación y ajuste de curvas. <p>Luego deberá resolverlo aplicando todos los métodos numéricos estudiados posibles.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Cada grupo deberá exponer en forma oral el trabajo realizado, al resto de los compañeros. En la exposición deberán, según su criterio, exponer cuáles son las principales ventajas y desventajas de los métodos numéricos aplicados para obtener la solución del problema elegido. 4. Cada grupo contará con un tiempo máximo de diez minutos para hacer su presentación. Para realizar la exposición, podrán utilizar presentaciones digitales y/o pizarrón. Todos los integrantes del grupo deberán participar en la exposición oral. 5. Los docentes serán las personas que cederán la palabra a cada uno de los grupos y quienes controlarán el tiempo de las exposiciones. 6. Los docentes podrán hacer intervenciones al finalizar la exposición de cada grupo, en caso que se hubieran detectado errores o se hayan planteado dudas.

Es importante resaltar que, para guiar la organización de los trabajos prácticos, las docentes proporcionan a los estudiantes indicaciones sobre los aspectos fundamentales a considerar. Estos son:

- planteo del modelo matemático que describe el problema.
- especificación del tipo de problema matemático, lo que permite determinar los métodos numéricos más adecuados para su resolución.

- selección del método numérico más apropiado, tomando en cuenta las particularidades del problema y la eficiencia del método en su aplicación.
- obtención de una solución válida, garantizando que los resultados sean coherentes con el planteo inicial.
- presentación de la solución de manera clara.

4 EL PROCESO DE EVALUACIÓN

Una manera útil de organizar los criterios de evaluación, establecidos a partir de los resultados de aprendizaje, para la corrección, es mediante una rúbrica. Precisamente, una rúbrica es un registro evaluativo que posee ciertos criterios o dimensiones a evaluar y lo hace siguiendo ciertos niveles o gradaciones de calidad y tipificando los estándares de desempeño (Cano, 2015). Uno de los principales beneficios de su uso se basa en el valor formativo y formador que tienen. Tal como sostienen Torres y Perera (2010):

La rúbrica tiene un doble valor en el uso que le damos cuando trabajamos con ella en nuestra práctica educativa. De una parte, es una herramienta de evaluación que debe entenderse en un contexto diferente al de la evaluación convencional. La rúbrica no sólo pretende evaluar los conocimientos del alumnado, sino que, además, debe servir como herramienta de reflexión que le permita tomar conciencia de lo aprendido. De otra parte, también sirve al alumnado como guía para cumplimentar las partes en las que se estructura una actividad. Precisamente, esta última función apoya la acción tutorial del docente (p. 148).

Mediante la publicación de la rúbrica, los estudiantes pueden conocer cómo van a ser evaluados sus trabajos y qué cuestiones deben tener en cuenta para mejorar los resultados en las distintas instancias evaluativas.

4.1 RESULTADO DE APRENDIZAJE VINCULADO A LA COMUNICACIÓN

Los resultados de aprendizaje son enunciados acerca de lo que se espera que el estudiante conozca, comprenda y/o sea capaz de hacer al final de un proceso de aprendizaje (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, 2013). En la cátedra de Análisis Numérico, con respecto a la competencia comunicativa, se planteó el siguiente resultado de aprendizaje: identifica los resultados relevantes del trabajo realizado para poder comunicarlos, tanto de forma escrita como oral, en un lenguaje pertinente al contexto de la situación e intención comunicativa.

4.2 LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Los criterios de evaluación describen lo que se quiere valorar y lo que el alumno debe lograr (Pérez Hernández et al., 2017).

En la Tabla 1, a modo de ejemplo, se muestran los criterios de evaluación considerados para analizar el grado de concreción del resultado de aprendizaje relacionado con la comunicación en el trabajo práctico de exposición oral grupal.

Tabla 1: Criterios de evaluación propuestos.

Criterios de evaluación
C1: Presentan la información que se quiere comunicar de manera organizada.
C2: Confeccionan una presentación empleando de manera adecuada las normas gramaticales y ortográficas.
C3: Realizan una presentación con un diseño original y creativo.
C4: Explican el proceso de resolución del problema propuesto de manera ordenada, comprensible y detallada.
C4: Emplean un vocabulario adecuado al contexto de la situación e intención comunicativa en su exposición oral.
C6: Utilizan en su exposición de forma adecuada las normas gramaticales y no realizan repeticiones innecesarias de palabras.
C7: Emplean en su explicación un tono de voz y ritmo pertinente para mantener el interés de quien lo mire.
C8: Mantienen contacto visual con la audiencia durante la explicación realizada.
C9: Efectúan una exposición que demuestra que todos los integrantes del grupo han colaborado en la resolución del problema.
C10: Confeccionan una presentación con una duración según el tiempo establecido.

4.1 RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN ORAL GRUPAL

La Tabla 2 presenta la rúbrica diseñada para la evaluación del trabajo práctico de exposición oral grupal. Esta rúbrica fue elaborada siguiendo los criterios de evaluación establecidos, con el objetivo de poder determinar el nivel de desarrollo de la competencia comunicativa en los estudiantes.

Tabla 2: Rúbrica elaborada considerando el segundo resultado de aprendizaje.

	Debe mejorar (2 puntos)	Bueno (6 puntos)	Avanzado (10 puntos)
C1 (15%)	No realizan una presentación bien estructurada del proceso de resolución del problema.	Realizan una presentación poco estructurada del proceso de resolución del problema.	Realizan una presentación bien estructurada del proceso de resolución del problema.
C2 (5%)	En la presentación, no respetan las normas gramaticales y ortográficas.	En la presentación, no respetan en algunos casos las normas gramaticales y ortográficas.	En la presentación, respetan las normas gramaticales y ortográficas.

C3 (5%)	La presentación no tiene un diseño atractivo para mantener la atención de la audiencia.	La presentación tiene un diseño poco atractivo para mantener la atención de la audiencia.	La presentación tiene un diseño atractivo para mantener la atención de la audiencia.
C4 (15%)	No realizan una explicación clara, minuciosa y bien organizada del proceso de resolución del problema.	Realizan una explicación clara pero poco minuciosa y no muy bien organizada del proceso de resolución del problema.	Realizan una explicación clara, minuciosa y bien organizada del proceso de resolución del problema.
C5 (5%)	No utilizan en su explicación un vocabulario pertinente y técnico.	Utilizan en su explicación un vocabulario pertinente y poco técnico.	Utilizan en su explicación un vocabulario pertinente y técnico.
C6 (5%)	En la explicación no emplean adecuadamente las normas gramaticales y utilizan latiguillos	En la explicación emplean de forma poco adecuada las normas gramaticales y utilizan latiguillos.	En la explicación emplean adecuadamente las normas gramaticales y no emplean latiguillos.
C7 (5%)	No usan en su explicación un tono de voz y ritmo adecuado para mantener la atención de la audiencia.	Usan en su explicación un tono de voz y ritmo poco adecuado para mantener la atención de la audiencia.	Usan en su explicación un tono de voz y ritmo adecuado para mantener la atención de la audiencia.
C8 (5%)	Los miembros del grupo no miran a la audiencia mientras realizan las explicaciones y leen de la presentación.	Los miembros del grupo sólo a veces miran a la audiencia mientras realizan las explicaciones y leen parte de la presentación.	Los miembros del grupo siempre miran a la audiencia mientras realizan las explicaciones.
C9 (5%)	Uno de los integrantes del grupo es quien realiza la explicación del proceso de resolución del problema.	Algunos de los integrantes del grupo participan en la explicación del proceso de resolución del problema.	Todos los integrantes del grupo participan en la explicación del proceso de resolución del problema.
C10 (5%)	La duración de la presentación no se ajusta en absoluto al tiempo establecido.	La duración de la presentación no se ajusta al tiempo establecido pero el desfase no es considerable.	La duración de la presentación se ajusta de manera precisa al tiempo establecido.

Esta rúbrica fue publicada junto con el trabajo práctico propuesto en la plataforma Moodle, utilizada para el desarrollo de los cursos en el Campus Virtual Global de la FRSN. Al conocer con antelación los criterios que se tendrían en cuenta durante la evaluación, los alumnos pudieron orientar su trabajo práctico, asegurándose de abordar los aspectos más relevantes.

Después de la corrección, los estudiantes recibieron retroalimentación detallada que les permitió identificar posibles mejoras a realizar en sus presentaciones, lo cual es fundamental para contribuir al desarrollo de la competencia en cuestión.

Es importante destacar que la suma de los porcentajes asignados a los criterios de evaluación presentados en la Tabla 1 no alcanza el 100%, ya que en este trabajo sólo se está mostrando la parte de la rúbrica que se centra en aspectos relacionados con la competencia comunicativa.

5 CONCLUSIONES

En el mundo laboral actual, la competencia comunicativa es fundamental para un adecuado desempeño profesional. Por esta razón, uno de los grandes retos que tiene la educación superior, se basa en desarrollar esta competencia de manera efectiva en los futuros profesionales. Tal como sostienen Kindelán y Martín (2008):

Las destrezas comunicativas son, pues, indispensables para transmitir los conocimientos y la información, intercambiar ideas y hacer llegar los resultados del trabajo a un público determinado. Cada vez más empresarios necesitan reclutar trabajadores que sean capaces de utilizar estas destrezas en todos los niveles jerárquicos de una organización o empresa a fin de lograr un trabajo en equipo coordinado y eficaz; trabajadores que posean habilidades y destrezas de un alto nivel como el análisis, la síntesis, la crítica constructiva y la capacidad de interacción con otras partes interesadas, todo ello con el único fin de hacer progresar la organización. Por tanto, las destrezas comunicativas han de ser objetivo inmediato de la formación académica y profesional del individuo en este nuevo siglo. (p. 733)

Los resultados obtenidos en las distintas actividades realizadas muestran que, aunque los estudiantes reconocen la importancia de expresarse correctamente para su futuro profesional y académico, muchos de ellos aún presentan dificultades, por ejemplo, al explicar claramente el proceso de resolución realizado o al utilizar un vocabulario adecuado. Por esta razón, es necesario trabajar más en este aspecto para lograr que la totalidad de los alumnos logre un nivel aceptable de desarrollo de la competencia comunicativa.

Si bien en este trabajo se han descrito los cambios que se realizaron en una cátedra particular, uno de los grandes desafíos es integrar el desarrollo de la competencia comunicativa en todo el currículo de la carrera. Esto requiere una coordinación horizontal y vertical entre las distintas asignaturas, así como la implementación de instrumentos de evaluación que permitan seguir la evolución de los estudiantes en esta área. Sólo de esta manera se podrán formar ingenieros con las competencias necesarias para afrontar los desafíos profesionales y comunicativos que exige el mundo laboral actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. (2013). *Guía de apoyo para la redacción, puesta en práctica y evaluación de los resultados de aprendizaje*. ANECA.

Arana Ercilla, M. & Batista Tejeda, N. (1999). La educación en valores: una propuesta pedagógica para la formación profesional. *Pedagogía Universitaria*, 4 (3).

Cano, E. (2015). Las rúbricas como instrumento de evaluación de competencias en educación superior: ¿uso o abuso? *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 19 (2), 265-280.

Giordano Lerena, R. & Cirimelo, S. (2013). Competencias en ingeniería y eficacia institucional. *Ingeniería Solidaria*, 9 (16), 119 – 127.

Giordano Lerena, R. Compilador (2016) *Competencias y perfil del Ingeniero Iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación*. ASIBEI.

Kindelán, M. & Martín, A. (2008). Ingenieros del siglo XXI: importancia de la comunicación y de la formación estratégica en la doble esfera educativa y profesional del ingeniero. *Arbor. Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 184 (732), 731–742.

Labrador, M. & Morote, P. (2015). La competencia comunicativa en la Universidad. En Celma Valero, M., Gómez del Castillo, M. y Morán Rodríguez, C. (Eds). *Memoria del I Congreso Internacional de la Asociación Europea de Profesores de Español*, (pp. 360 – 370). Burgos: Universidad Isabel I de Castilla.

Pérez Hernández, A., Méndez Sánchez, C., Pérez Arellano, P. & Yris Whizar, H. (2017). Los Criterios de Evaluación del Aprendizaje en la Educación Superior. *Perspectivas Docentes*, 63, 60 – 68.

Torres, J. & Perera, V. (2010). La rúbrica como instrumento pedagógico para la tutorización y evaluación de los aprendizajes en el foro online en educación superior. *Revista de Medios y Educación*, 36, 141-149.

Vega González, L. (2013). La educación en Ingeniería en el contexto global: propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del Siglo XXI. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14 (2), 177 – 190.

SOBRE O ORGANIZADOR

El Ing. Guillermo Daniel Rodríguez se graduó como Ingeniero en Electrónica en la Universidad Nacional de La Plata, donde actualmente cursa su Doctorado en Ingeniería. A lo largo de su carrera, ha destacado por su participación en diversas áreas de investigación y desarrollo, así como por su labor docente en cursos de postgrado y perfeccionamiento. Ha dictado cursos sobre **Tecnología de Antenas**, *Instrumentación para la Caracterización Ionosférica* y **Radar de Dispersión Incoherente**, compartiendo su amplio conocimiento en tecnologías avanzadas.

Actualmente, el Ing. Rodríguez ocupa el cargo de *Profesor Adjunto con Dedicación Exclusiva* en la *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata* (FCAG-UNLP), donde sigue desarrollando actividades de investigación. Desde 2024, es *Director del Grupo de Investigación y Desarrollo en Radiofrecuencias e Instrumentación (GIDRI - FCAG - UNLP)*, cargo que ejercerá hasta 2027.

A lo largo de su carrera, Rodríguez ha participado en proyectos conjuntos de gran envergadura, como *Co-director del desarrollo de antenas para Radiómetros en bandas K y Ka para el satélite SACD*, en colaboración con el **Jet Propulsion Laboratory (NASA)**, la **CONAE** y la **UNLP**.

Además, fue *Consultor de la Sociedad Argentina de Radioprotección (SAR)* y *Co-director de proyectos en el ámbito de RAPEAS* (Red Argentina Para el Estudio de la Atmósfera Superior), vinculado al **CONICET**.

También ha tenido experiencia en gestión y liderazgo, desempeñándose como *Coordinador para Desarrollos Instrumentales y Tecnologías Asociadas en RAPEAS* hasta 2016 y como **Gerente de la misma red hasta 2013**.

*Principales Publicaciones y Contribuciones: *El Ing. Rodríguez ha participado activamente en numerosos estudios científicos y congresos internacionales. Entre sus contribuciones más destacadas se encuentran:

- "Estudio de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur con datos satelitales de precipitación de partículas" (Reunión AAGG, 2024)
- "Curva del día tranquilo para riómetro: análisis y comparación de métodos" (Space Weather, Ushuaia, 2023)
- "Diseño de antena dual banda y polarizada para radar meteorológico con análisis de modos característicos" (IEEE Biennial Congress of Argentina, 2022)
- "Parámetros de radar meteorológico obtenidos mediante simulación MOM validados con datos reales de hidrometeoros" (IEEE Congreso Bienal de Argentina, 2020)
- "Telemetría en tiempo real para satélites de órbita baja basados en comunicaciones Máquina a Máquina y constelación Inmarsat" (2nd IAA Latin American Symposium on Small Satellites, 2019)

Gracias a su experiencia académica y de investigación, el Ing. Rodríguez se ha consolidado como un referente en el estudio de tecnologías de radar e instrumentación espacial y para estudios ionosféricos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análisis de Ciclo de Vida 16, 17, 25, 26

Análisis Numérico 49, 50, 51, 53, 56

B

Big Data 27, 28, 29, 30, 36, 37

C

Competencias blandas 49, 50, 51

Competencias profesionales 27, 30, 46

Comunicación escrita 50, 54

Comunicación oral 50, 53

Construcción 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 29

Control de posición 1, 2, 3, 8, 14

E

Economía Circular 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26

Eficiencia 16, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 32, 38, 39, 45, 56

Estabilidad 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14

F

Formación ingenieril 50

I

Ingeniero 1, 27, 28, 30, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 51, 52, 60

M

Manipulador 1, 2, 3, 4, 7, 9, 14

Modelo dinámico 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 14

P

Perfil 28, 30, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 46, 52, 60

Programa 12, 24, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

R

Reestructuración 38, 39, 40, 42, 45

S

Sistema dinámico 1, 4, 5, 6, 7

T

Tecnología de la Información 27

V

Vida útil 16, 17, 20, 21, 23, 24