



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista Científica

Numero 33(3)

Septiembre-Diciembre de 2018

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ciencias y Educación

ISSN 0124-2253
e-ISSN 2344-2350

Rector

Dr. Ricardo García Duarte

Vicerrector académico

Dr. William Fernando Castrillón Cardona

Director Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico

Dr. Nelson Libardo Forero Chacón



Centro de
**INVESTIGACIONES Y
DESARROLLO CIENTÍFICO**

EDITORIA

Dra. Adriana Patricia Gallego Torres

COMITÉ EDITORIAL/CIENTÍFICO

Dr. Vicente A. Talanquer
University of Arizona (Estados Unidos)

Dra. Stephanye Zarama Alvarado
University of Massachusetts Amherst (Estados Unidos)

Dr. Marco Antonio Moreira
Universidad Federal de Río Grande del Sur (Brasil)

Dra. Tania Pérez Bustos
Universidad Nacional de Colombia (Colombia)

Dra. Johanna Camacho González
Universidad de Chile (Chile)

Dr. Rubén González Crespo
Universidad Pontificia de Salamanca (España)
(Colombia)

Dr. Luis Fernando Martínez Arcade
Ecole nationale d'Ingénieurs de Tarbes (Francia)

Mg. Edwin Millán Rojas
Universidad de la Amazonia (Colombia)

Dr. Jaime Duvan Reyes Roncancio
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
(Colombia)

Dr. Agustín Aduriz Bravo
Universidad Autónoma de Buenos Aires (Argentina)

Dr. Charbel Nino El Hani
Universidade Federal da Bahia (Brasil)

Dra. Amparo Vílchez
Universidad de Valencia (España)

Dr. Mario Quintanilla Gatica
Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)

Graciela Utges
Universidad de Rosario (Argentina)

Dr. Carlos Furio Mas
Universidad de Valencia (España)

Dr. Roberto Figueroa Molina
Universidad del Atlántico (Colombia)

COMITÉ TÉCNICO

Ingri Gisela Camacho Triana
Gestor editorial

David Mauricio Valero Gonzalez
Diagramación y fotografía de portada

Fabián Gullavan
Corrector de estilo

Xpress Estudio gráfico y digital
Impresión

NATURALEZA REVISTA CIENTÍFICA

Periodicidad

La Revista Científica tiene una periodicidad cuatrimestral, los números circulan los meses de enero, mayo y septiembre.

Misión y naturaleza

La Revista Científica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas es auspiciada por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico; la revista es acceso abierto completo. La misión es difundir artículos originales, de alta calidad técnica y científica producidos por miembros de la comunidad académica en el **área de las ciencias naturales** (física, química, biología, matemáticas, ciencias de la computación, ciencias ambientales y educación científica).

Indexación

Bases de datos

- Publindex Categoría C
- Academic Journal Database
- Emerging sources citation index- Thomson Reuters
- EBSCO Fuente Academica Premier Plus
- EBSCO Academic Search Premier
- Google metrics
- Google Scholar
- MIAR
- Informe Académico (GALE)
- Proquest

Catálogos, Directorios y Repositorios

- Latindex
- DOAJ (Directory of Open Access Journals)
- Dialnet
- Sherpa/Romeo
- Dulcinea
- Redib (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)
- Actualidad Iberoamericana
- Periodica
- Clase
- Base
- Journal TOCS
- Suncat
- NEBIS (recherche Zürich)
- find ejournal(Universidad de Chicago)
- ent (Universidad de Strasbourg)
- BIU Santé
- Wilbert (Wildauer Bücher+E-Medien Recherche-Tool)
- Erih plus
- (OAJI)
- WorldCat

Dirección postal

Carrera 7 # 40-53, piso 3, Bogotá, Colombia

Correo electrónico:

revcientifica-cidc@correo.udistrital.edu.co

Página web:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/index>

CONTENIDO

EDITORIAL

- Las nuevas apuestas de la educación científica "La epistemología digital" 228-229
Adriana Patricia Gallego-Torres

CIENCIA E INGENIERÍA

- The Challenges of Dealing with Nitrogen Pollutants in Groundwater 230-242
Los desafíos de tratar con contaminantes nitrogenados en aguas subterráneas
Stephanye Zarama-Alvarado
- La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión 243-253
Teledetection in ecological research as support for the conservation of biodiversity: a review
Baltazar Sánchez-Díaz
- Ancho de banda en superficies selectivas en frecuencia tipo cruz de dipolo 254-264
Bandwidth in Cross Dipole Frequency Selective Surfaces
Mario Alberto Rodríguez-Barrera, Walter Pereira Carpes-Jr
- Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales 265-274
Improving the quality of energy with photovoltaic systems in rural zones
Maria Rodríguez Gámez, Antonio Vázquez Pérez, Alcira Magdalena Velez Quiroz, Wilber Manuel Saltos Arauz
- Influencia de la soldabilidad de un acero inoxidable austenítico 275-286
Influence of the safety of a sustainable stainless steel
Ernesto Camargo-Suarez, Leonardo Bohórquez-Espinosa, Mónica Katherine Sánchez-Alarcón

EDUCACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

- Comprensión de la probabilidad de jóvenes con discapacidad intelectual 306-315
Understanding the probability at young with intellectual disability
José Marcos López-Mojica
- Diseño del trabajo de aula: un proceso fundamental hacia la profesionalización de la acción docente 316-331
Classroom Work Design: A Fundamental Process towards the Professionalization of Teaching Action
Álvaro García-Martínez, Rubinsten Hernandez Barbosa, Leonardo Abella-Peña
- Modelo para la evaluación de habilidades profesionales en un sistema de laboratorios a distancia 332-343
Model for the evaluation of professional skills in a System of Remote Laboratories
Omar Mar Cornelio, Jorge Gulín González
- Comprensión de futuros profesores de ciencia sobre aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en cuatro controversias de historia de la ciencia 344-355
Pre-service science teachers' understanding of epistemic aspects of the nature of science in four controversies from the history of science
José Antonio Acevedo-Díaz, María del Mar Aragón-Méndez, Antonio García-Carmona



LAS NUEVAS APUESTAS DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA “LA EPISTEMOLOGÍA DIGITAL”

La educación científica ha venido cambiando desde mediados del siglo XX. Las principales corrientes se han centrado en el diseño de propuestas basadas en la naturaleza del conocimiento científico, el uso de la historia de la ciencia, los aspectos socioculturales y ambientales y la comprensión pública de la ciencia.

Entrado el siglo XXI, estas apuestas han tomado un corte sociocultural que busca una aproximación más sociológica a la educación científica. Esto implica que tanto estudiantes como profesores tengan una visión crítica y reflexiva de las problemáticas actuales, lo que asume a su vez el desarrollo de competencias en la construcción de actitudes e intereses en la formación científica ciudadana.

Desde esta óptica, se hace necesario que los docentes y los estudiantes adquieran una perspectiva actualizada de la naturaleza del conocimiento científico que incluye el uso de las controversias científicas, nuevas metodologías basadas en la práctica científica y la necesidad de trabajar el pensamiento crítico para que los estudiantes sean capaces de tomar decisiones informadas y responsables sobre los impactos de la ciencia y la tecnología en la humanidad.

Desde este paradigma, las nuevas apuestas de los investigadores en educación en ciencias se han planteado desde ya hace un tiempo qué tipo de ciencia enseñar, lo que supondría empezar a reflexionar si es necesario trabajar en el aula un conocimiento científico escolar o desarrollar una educación científica ciudadana. Discusiones que se vienen dando desde la incorporación de la Alfabetización Científica en los años cincuenta, donde este término adquirió una gran importancia, sobre todo desde su aparición en el documento de Estándares Nacionales de Educación Científica (National Research Council [NRC], en 1996). El cual se construyó alrededor la alfabetización científica como concepto troncal.

Las diferentes revisiones realizadas al concepto y su postura metodológica muestran que no ha dado los resultados esperados, algo similar a las propuestas construidas a partir del lanzamiento del primer Sputnik, donde se apuntó a la necesidad de elaborar currículos con un alto componente teórico.

Las apuestas de hoy en día no echan por tierra lo avanzado desde el aprendizaje por investigación, la educación científica para todos y ahora una educación socio-crítica. Lo que se propone es un híbrido de las tres perspectivas, no podemos centrarnos solo en la necesidad de formar ciudadanos o solo científicos y mucho menos sociólogos de la ciencia.

Necesitamos acudir a nuevos enfoques en los que se conjuguen las tres perspectivas, ya que para comprender el mundo que nos rodea es necesario tener una base científica sólida que permita transpolar estos conocimientos hacia los problemas socioculturales; es necesario, también, comprender la importancia de que las

nuevas generaciones tienen otras prioridades y otra forma de ver y pensar el mundo y la ciencia. Lo que nos obliga a plantear la educación científica desde otra epistemología, “la epistemología digital”, donde la construcción del conocimiento se hace a partir de plataformas educativas, bases de datos, videos educativos y páginas web. Los milenials aprenden a otros ritmos y con otros intereses, muy alejados de las discusiones y los estándares propuestos por las comunidades académicas del siglo pasado.

Los colegios y las universidades han intentado adaptarse a estas nuevas generaciones incorporando las tecnologías de la información, pero lo que aún falta es comprender los nuevos estilos de aprendizaje que estos han desarrollado de la mano de las innegables habilidades tecnológicas, que han dejado a maestros y científicos un paso atrás en las propuestas curriculares y la concepción y representación que de la naturaleza de la ciencia y la tecnología han edificado en la última década.

La revista en su número 33 les presenta el último número del año en curso e invita a los lectores y autores a seguir contribuyendo con la difusión del conocimiento científico y tecnológico.

PhD. Adriana Patricia Gallego Torres
Editora



The Challenges of Dealing with Nitrogen Pollutants in Groundwater

Los desafíos de tratar con contaminantes nitrogenados en aguas subterráneas

Os desafios de tratar com poluentes nitrogenados em águas subterrâneas

Stephanye Zarama-Alvarado¹

Received: june de 2017

Accepted: august de 2018

Citation: Zarama-Alvarado, S. (2018). The Challenges of Dealing with Nitrogen Pollutants in Groundwater. *Revista Científica*, 33(3), 230-242. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13545>

Abstract

Nitrogen compounds are being injected into the environment by human activities, which are altering the global nitrogen cycle and, thus, water systems. There is principally serious growing concern about the actual environmental consequences of the nitrogen pollutants in groundwater since a safe supply of clean water is needed for human consumption. Recent observations in the field of measurements and studies in the laboratory suggest that there are limitations of effective methods that detect and quantify biogeochemical reactions of nitrogen loss occurred in this aquatic body. This review explores our understanding of nitrogen pollutants on groundwater, taking into consideration the biogeochemical reactions of nitrogen cycle, and the limitations and advantages of analytical methods used in the detection of nitrogen compounds.

Keywords: analytical methods, groundwater, isotopic labeling, nitrogen cycle, pollutants.

Resumen

Los compuestos de nitrógeno son diseminados en el medio ambiente por actividades humanas que alteran el ciclo del nitrógeno y, con ello, los sistemas de agua. Hay una creciente preocupación sobre las consecuencias ambientales de los contaminantes nitrogenados en aguas subterráneas debido a que el abastecimiento seguro de agua potable limpia es requerido para el consumo humano. Recientes observaciones en campo y estudios en el laboratorio sugieren que hay limitaciones de métodos efectivos que detecten y cuantifiquen las reacciones biogeoquímicas de la pérdida de nitrógeno ocurrida en este manto acuífero. Esta revisión explora nuestra comprensión de los contaminantes de nitrógeno en aguas subterráneas, tomando en consideración las reacciones biogeoquímicas del ciclo del nitrógeno y las limitaciones y ventajas de los métodos analíticos utilizados en la detección de los compuestos nitrogenados.

Palabras clave: agua subterránea, contaminantes, nitrogen cycle, marcador isotópico, métodos de análisis.

¹ University of Massachusetts Amherst. szaramaalvar@umass.edu

Resumo

Os compostos nitrogenados estão sendo injetados no meio ambiente por atividades humanas que alteram o ciclo do nitrogênio e, com ele, os sistemas hídricos. Existe uma crescente preocupação com as consequências ambientais dos poluentes nitrogenados nas águas subterrâneas, porque o fornecimento seguro de água potável é necessário para o consumo humano. Em observações recentes no campo de medições e estudos em laboratório, eles sugerem que existem limitações de métodos efetivos que detectam e quantificam as reações biogeoquímicas da perda de nitrogênio ocorridas neste manto aquífero. Esta revisão explora nossa compreensão de contaminantes nitrogenados em águas subterrâneas, levando em consideração as reações biogeoquímicas do ciclo do nitrogênio, e as limitações e vantagens dos métodos analíticos usados na detecção de compostos nitrogenados.

Palavras-chaves: águas subterrâneas, ciclo de nitrogênio, marcador isotópica, métodos de análise, poluentes.

Introduction

The right nitrogen compounds circulating in Earth determine the existence of life. Human activities are causing the alteration of the global nitrogen circulation, because increasing quantities of nitrogen compounds are being introduced into air, soil and aquatic ecosystems in the last few years (Ghaly and Ramakrishnan, 2015; Fields, 2004). In the planet, nitrogen is found in non-reactive and reactive forms. The non-reactive form of nitrogen is N_2 , which does not contribute to environmental impact. In contrast, reactive forms of nitrogen that come from the fixation of N_2 can be the root of strong environmental effects. The accumulation of reactive nitrogen compounds, due to especially the production of fertilizers and by-products of combusting fossil fuels, may cause grave impacts on human health, smog, acid rain, soil, forest die-back, biodiversity, global warming and water quality (Castner *et al.*, 2017; Fields, 2004).

Particularly, the infiltration of reactive nitrogen in drinking water is carried out through runoff from

livestock and fertilizers, which arrives to the aquifers that are the principal reservoirs of groundwater (Sampat, 2000). The growing pollution of groundwater sources by reactive nitrogen concentrations has been reported in the last three decades (Castner *et al.*, 2017; Rivett, Buss, Morgan, Smith and Bemmet, 2008). This has set alarm bells ringing about the need to prevent the increase of reactive nitrogen concentrations in groundwater due to the effects on human health in most industrialized nations (Kobus and Kinzelbach, 1989). In order to preserve drinking water, the quantification of nitrogen loss rates in groundwater is paramount. However, the complex and dynamic biogeochemical network of groundwater has not enabled the development of effective methods that measure its nitrogen processes. Therefore, the aim of this review is to examine how nitrogen pollutants, principally nitrate and ammonium, are affecting the microbiological processes of the nitrogen cycle in groundwater and the strengths and weakness of developing effective methods for their detection.

Nitrogen pollutants: nitrate and ammonium

The pollution in groundwater caused by nitrate (NO_3^-) has been becoming an emerging concern worldwide since the 1970s (Spalding, Exner, Martin, and Snow, 1993; Rivett *et al.*, 2008). Even though nitrate in lower concentrations is non-toxic in drinking water, the risk from long exposure may cause health problems such as hypertension, stomach cancer and methemoglobinemia in human infants (baby blue disease) (Almasri and Kularachchi, 2004) since it is suspected carcinogen (Kendall, Elliott, and Wankel, 2007). To improve the drinking water quality, the World Health Organization (WHO) established a limit of 10 mg-N/l for nitrate concentrations in 1993 (U.S EPA, 2017). Different developed countries have taken important steps; Germany, for instance, monitors the nitrate concentrations of potable water setting a limit value of 15 mg/l at 15% of all groundwater control points (UBA, 2014). In the case of developing

countries, nitrate concentrations are not constantly monitored. Nitrate is also the most studied pollutant compared to ammonium (NH_4^+) in groundwater (McMahon and Böhlke, 2006) due to low levels of ammonium in this natural waterbody (Schilling, 2002). For instance, the United States Environmental Protection Agency (U.S EPA) has not established a maximum contaminant level (MCL) for ammonia in drinking water. However, the National Academy of Science recommends, and many European nations have adopted, a drinking water standard of 0.5 mg/l (Twort *et al.*, 2000). Ammonium levels are regulated via oxidation to nitrate in the unsaturated zone and attenuated by biological uptake and sorption (Schilling, 2002). According to Aravena and Robertson (1998), the high ammonium levels initially present in raw sewage cease to exist in shallow groundwater plumes emanating from septic system. The disinfection efficiency of drinking water systems may be altered by ammonium due to the formation of nitrite producing odour and taste problems on the water (Canter, 1996). The WHO reported that natural ammonium levels produced by the decay of buried organic matter are frequently less than 0.2 mg-N/l in groundwater (U.S EPA, 2017). Elevated ammonium levels in natural waters may indicate pollution caused by anthropogenic sources such as sewage effluent, leaking manure lagoons, and landfill leachate (Christensen *et al.*, 2001). For instance, the high ammonium concentrations of about 61 mg/l are found on a leachate from the KL landfill in Kalamazoo, Michigan (Kehew and Passero, 1990). The primary consequence of the high ammonium concentration in groundwater is the alteration of the chemical and biological properties of water by a frequent eutrophication and hypoxia (Vitousek *et al.*, 1997).

The principal sources contributing to the increase of nitrate and ammonium levels in groundwater are the agricultural practices such as mineralization of urea, degradation of organically bound nitrogen and dissociation of ammonium nitrate fertilizer (Clark *et al.*, 2008), which also cause emission of greenhouse gases (i.e. N_2O) and climate change

(Almasri and Kaluarachchi, 2004). There are other sources from localized activities that might contribute to the pollution of groundwater by nitrate and ammonium. They include septic effluent (Aravena and Robertson, 1998) atmospheric deposition, spreading of manure and sewage (Wakida and Lerner, 2005) and municipal wastewater (Christensen *et al.*, 2000). Previous studies have reported that the attenuation of nitrate and ammonia is masked by dilution through dispersion and mixing (Domenico and Schwartz, 1998). For instance, the elevated nitrate and ammonium levels decrease over time in groundwater from North America, Caribbean and Europe during the time periods of one to thirty years (Widory *et al.*, 2004). Furthermore, new reports suggest that denitrification and anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) as the major responsible processes involved in the removal of these N-compounds in the nitrogen cycle, based on molecular and geochemical evidences (Clark *et al.*, 2008; Seitzinger *et al.*, 2006). Although denitrification has been extensively studied, the significance of anammox may have been largely overlooked. A better understanding of the nitrogen elimination in groundwater is essential to determine the potential impact of contaminants on water supplies, which is extremely important for public health, drinking water providers and society.

Nitrogen cycle

The global nitrogen cycle is defined by microbial processes produced in oxic and anoxic conditions, which maintain a small pool of fixed nitrogen in continuous exchange with the atmospheric N_2 reservoir (figure 1) (Thamdrup and Dalsgaard, 2002).

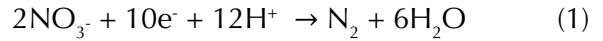
Redox reactions include the transfer of electrons between molecules by means of changing the molecular oxidation state. Groundwater involves a series of the redox reactions facilitated by microorganisms. Biologically, mediated redox reactions lead to nitrogen isotope fractionation and regulate complex nitrogen dynamics and release gases in soils as do lightning and biomass burning.

The availability of nitrogen is principally represented by the existence of nitrate, nitrite, ammonium and organic nitrogen, which are generally grouped together as fixed N. Denitrification, anammox, dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA), and nitrification are the microbial processes involved in the removal of nitrogen in the nitrogen cycle.

A) Denitrification

Biological denitrification is considered to be the most significant primary mechanism of nitrate mass removal through a series of intermediate gaseous nitrogen oxide products performed by a large group of heterotrophic bacteria in anaerobic conditions (eq.1) (Burt, Matchett, Goulding, Webster and Haycock, 1999). The study of this process has been principally investigated in soils for more than

a century in comparison with groundwater, which started only some decades ago (Korom, 1992).



The nitrate oxidation is mediated by a denitrifying bacteria that uses oxidized forms of nitrogen as a terminal electron acceptor for organic carbon metabolism during respiration (Seitzinger *et al.*, 2006). Four key enzymes carry out the sequence of nitrate reduction to nitrogen gas, which are nitrate reductase, nitrite reductase, nitric oxide reductase and nitrous oxide reductase (Codispoti and Richards, 1976). Nitrate reductase converts nitrate to nitrite (NO_2^-), nitrite reductase reduces nitrite to nitric oxide (NO), which itself is reduced to nitrous oxide (N_2O) via nitric oxide reductase, and finally nitrous oxide reductase converts nitrous oxide to dinitrogen (eq. 2).

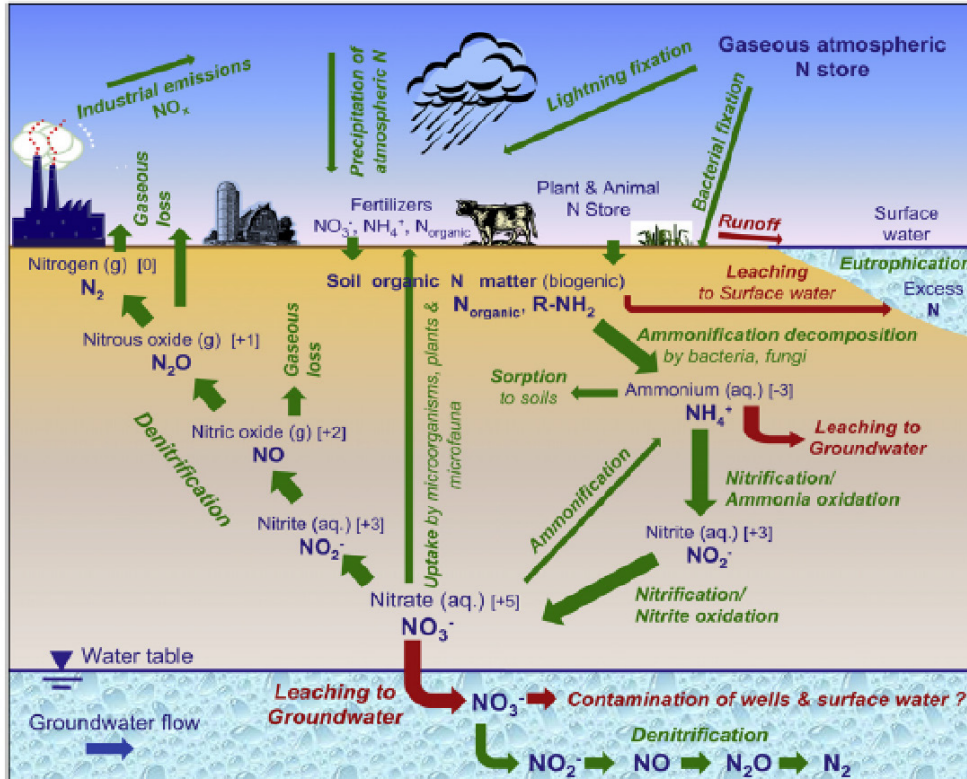
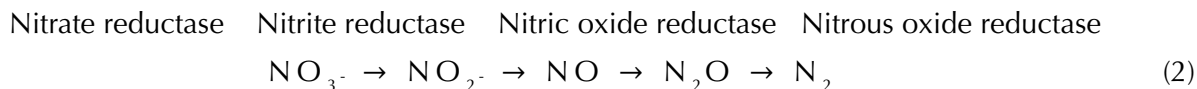


Figure 1. Microbial nitrogen cycle and its influence upon the water environment.

Source: Rivett *et al.* (2008).



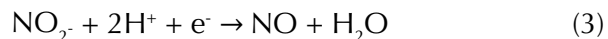
Furthermore, there are other ways of nitrate reduction. For instance, the conversion of nitrate to nitrite and nitrous oxide gas by abiotic reactions in surface water (Rivett *et al.*, 2008). Therefore, the ultimate end product of denitrification is the biologically inert form of nitrogen gas, but other intermediate gaseous forms of nitrogen, including N_2O , exist and are contributing to air pollution due to their chemical properties, defining them as greenhouse gases. The denitrification rates performed by these denitrifiers are greater than $1.5 \text{ kg-N/m}_3/\text{day}$ (Korom, 1992). These denitrifying microbes are found at great depths in aquifers: in limestone (depth: 185 m) (Morris, Whiting, and Chapelle, 1988), in granite (depth: 450 m) and in clayey sands (depth: 289 m) (Francis, Slater, and Dodge, 1989). Due to the beneficial role of denitrification in decreasing NO_3^- , the Waste Water Treatment Plant (WWTP) has used it as a strategy to treat sewage or animal residues of high nitrogen content, thereby reducing the undesirable health consequences caused by the structural changes of drinking water.

B) Anaerobic Ammonia Oxidation

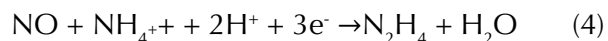
Anammox reduces nitrite under anaerobic conditions, coupled to ammonia oxidation, producing nitrogen gas by anammox bacteria that belong to the *planctomycetes* phylum (Strouss, Van Gerven, Zhen, Kuenen, and Jetten, 1999). In 1994, anammox bacterium, '*Candidatus Brocadia anammoxidans*', was observed in anoxic bioreactors of WWTP (Schmidt *et al.*, 2002; Mulder, Van de Graaf, Robertson and Kuenen, 1995). These particular bacteria have been identified in a variety of anoxic environment including contaminated groundwater (Moore *et al.*, 2011), soils (Zhu *et al.*, 2011), anoxic tropical freshwater lakes (Schubert *et al.*, 2006), wetlands (Eler, Eyre, and Davison, 2008), oxygen minimum zones (Dalsgaard, Canfield, Petersen, Thamdrup, and

Acuña-González, 2003) and marine, freshwater, and estuarine sediments (Dale, Tobias, and Song, 2009). Evidence confirms that Anammox bacteria possess a distinctive organelle called anammoxosome that is thought to have the function of protection against toxic intermediates of the anammox reaction (Fuerst and Sagulenko, 2011). Three identified enzymes perform the anammox reaction: nitrite reductase, hydrazine hydrolase and hydrazine dehydrogenase. Nitrite reductase converts the nitrite to nitric oxide, which afterwards reacts with ammonium via hydrazine oxidoreductase forming hydrazine as an intermediate, that is a toxic compound, and finally it gets converted into dinitrogen by hydrazine oxidoreductase (eq. 3-5).

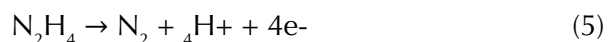
Nitrite reductase



Hydrazine hydrolase



Hydrazine oxidoreductase

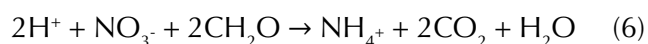


Anammox bacteria live in low abundance and grows slowly with a rate of $0.4 \text{ kg-N/m}^3/\text{day}$ at -2 to $43 \text{ }^\circ\text{C}$ in pH levels of 6.7 to 8.3 (Mulder *et al.*, 1995). Although the anammox process is generally considered to be less important than denitrification, new evidences however show that 60% - 80% of N-loss in some benthic sediments are produced by anammox (Thamdrup and Dalsgaard, 2002) and therefore suggest that anammox is an essential process in the global nitrogen cycle. The identification of anammox is accomplished by the estimation of decreasing ammonium and

nitrate concentrations, the observation of appropriate redox conditions and presence of anammox microorganisms *in vivo*, as well as stable isotope techniques. The study of anammox *in situ* provides challenges due to the necessity of understanding all the sources involved in groundwater. Nitrite is used and produced during anammox, denitrification, and nitrification processes, while ammonium is used and produced during anammox and DNRA.

C) Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium

Two different processes of nitrate reduction are contained within the nitrogen cycle: denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. According to Korom (1992), the term “assimilatory reduction” refers to the incorporation of a compound into organic material as part of its reduction, in comparison to the dissimilatory reduction, which performs the reduction of a compound for its yield to a different inorganic compound. DNRA is known as a short circuit in the biological nitrogen cycle (Cole and Brown, 1980) due to the direct conversion of nitrate and nitrite to ammonium (eq. 6) by passing nitrogen fixation and denitrification by a group of heterotrophic organisms in anaerobic conditions. In DNRA, nitrate and nitrite reduction are catalysed by fermentative bacteria belonging to the genre *Thioplota* and *Thiomargarita* (Korom, 1992).



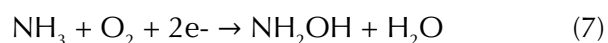
Although the DNRA is an alternative pathway of nitrate reduction, studies have reported that DNRA in groundwater is less common than denitrification. The availability of organic matter plays an important role in the partitioning of nitrate between denitrification and DNRA. Studies suggest that there is a preference for denitrification when carbon (electron donor) supplies are limited and for DNRA when nitrate (electron acceptor) supplies are limited (Korom, 1992). One of the most important differences between denitrification and DNRA is the obtained product of the nitrate conversion. While

denitrification conserves nitrogen in the ecosystem, DNRA converts nitrate into another mineral N-form less mobile as ammonium (Tiedje, 1988). Understanding the function of DNRA as producer of ammonium decreasing nitrate concentrations in groundwater has been an advantage from a remediation perspective.

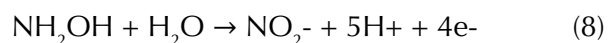
D) Nitrification

Nitrification has been extensively investigated in natural environments such as soils, estuaries, lakes and open ocean environments due to its importance in the global nitrogen cycle (Sumner, Rolston, and Bradner, 1998). There are two steps of nitrification, which convert ammonia to nitrate by distinct types of microorganisms in anaerobic conditions. No known organism is able to execute both reactions. In the first step, the oxidation of ammonia to nitrite is performed by two groups of aerobic ammonia oxidizers such as ammonia-oxidizing bacteria (AOB) and ammonia-oxidizing archaea (AOA) that belong to the *Nitrosomonas* and *Thaumarchaeota* genus (Clark *et al.*, 2008). The equation (7) and (8) are shown the ammonia oxidation that produces a very small quantity of energy via intermediate hydroxylamine (NH_2OH) by using two different enzymes known as ammonia monooxygenase and hydroxylamine oxidoreductase (Vajjala *et al.*, 2013).

Ammonia monooxygenase



Hydroxylamine oxidoreductase



In the second step, the oxidation of nitrite into nitrate is carried out by nitrite oxidizing bacteria belonging to the genus *Nitrobacter* and *Nitrospira* (eq. 9) (Simonin *et al.*, 2015). Similar to the first step, the energy generated by the nitrite oxidation is very small (Vajjala *et al.*, 2013). Due to the

important function of nitrification by using specific enzymes in the nitrogen cycle, ammonia and nitrite oxidizers play a fundamental role in wastewater treatment facilities by removing elevated levels of ammonium, which produce the pollution of drinking water.



Analytical methods in nitrogen compounds

The quantification of the mechanisms of nitrogen processing presupposes a critical role in determining the influence of groundwater nitrogen sources (Tobias, Macko, Anderson, Canuel, and Harvey, 2001). The study of biogeochemical reactions in groundwater, particularly denitrification and anammox, becomes a challenging task due to the difficulty of accessing or detecting the reaction sites, where the specific pathways that result in retention or accelerated losses of nitrogen by multiple ammonium and nitrate sources establish a complex and dynamic microbiological network. Unfortunately, the development of effective methods that guarantee adequate measurements of the involved microbiological processes has not been established so far. Available methods have shown serious drawbacks such as changes in substrate concentrations, lack of sensitivity, disturbances in the physical settings of the process, high spatial and temporal variation of the process or high background concentration (Jahangir *et al.*, 2013). The identification of reaction rates from free living bacteria in groundwater has been enriched by new molecular and analytical approaches through the last years. Although the genetic characterization of new species established a possibility to understand the organism's function in groundwater, for instance quantitative PCR (qPCR), the measurements require to be calibrated as proxies for the reaction rate, and therefore, these rates do not necessarily correlate with their activity influenced by environment conditions (Song and Tobias, 2011). Therefore, chemists and hydrogeologists have tried

to address the derivation of the reaction rates by different approaches. The examination of changes in chemical ratios along flow paths from stoichiometrically-related chemical concentrations of reactants and products is an analytical method to identify processes that are involved in groundwater. This method is not always sufficient due to the fact, that the chemical ratios do not provide insight into the sources of pollution.

Another analytical approach to derive reactions rates is the use of in situ tracer experiments coupled to advection-dispersion models, which are focused on the measurement of mass transport of compounds (Böhlke, Smith, and Miller, 2006). Isotope analysis is one such approach used to identify the relative importance of sources that are isotopically distinct such as nitrate and ammonium and the changes of isotope ratios that often occur in the biological cycling of nitrogen in predictable directions (Kendall, Elliott, and Wankel, 2007). However, there are some problems on the implementation of isotopes analysis that evoke controversy, such as the overlapping of isotopic compositions in different sources, the spatial and temporal variations in isotopic composition and the blurring of distinctive isotopic composition by isotope fractionation. New approaches try to minimize these problems, as in the case of a multi-isotope–multi tracer approach that tracks trace elements to different sources of nitrate giving a myriad of environmental variability inherent to natural systems (Kendall *et al.*, 2007).

There are two different approaches applying nitrogen stable isotopes on groundwater, which are complementarity used: natural abundance and tracer methods, also known as ^{15}N labeling experiments. The natural abundance approach reveals intrinsic information through rates of the predominant biogeochemical processes of the nitrogen cycle that incorporate large spatial and temporal variation of the processes with minimal alteration of the studied system (Hamilton and Ostrom, 2007). On the contrary, tracer methods offer primarily the study of rates experiments of elemental cycling on short incubations, which add around 10% of the

ambient source concentration of ^{15}N -compound and are often best conducted in situ with the aim to avoid any contamination of the samples (Hamilton and Ostrom, 2007). Studies have reported the use of ^{15}N labelling experiments in a wide range of aquatic ecosystems (Mulholland *et al.*, 2004). The discovery of anammox was also accomplished in natural systems by using direct $\delta^{15}\text{N}$ tracer measurements. Currently, this ^{15}N isotopic labelling has become a powerful tool to trace denitrification and anammox rates (Holtappels, Lavik, Jensen and Kuypers, 2011), but it cannot be used in the environment. The denitrification and anammox processes establish a unique labelling pattern, where anammox produces dinitrogen by one to one pairing of nitrogen from nitrite and ammonium (Strous *et al.*, 1999), while denitrification generates nitrous oxide and dinitrogen through random pairing of nitrogen atoms during reduction of nitrogen oxide (Holtappels *et al.*, 2011). Therefore, denitrification and anammox activity may be proved with the formation of $^{15}\text{N}^{14}\text{N}$ ($^{29}\text{N}_2$) rather than $^{15}\text{N}^{15}\text{N}$ ($^{30}\text{N}_2$) in the laboratory (Dale *et al.*, 2009). It is important, however, to develop an analytical tool by using a natural label of ^{15}N and ^{14}N isotopes for the determination of these processes without disturbance in natural systems.

In addition, the invention of right analytical method becomes more complicated since the availability of NO_2^- pool may also cause the partitioning of nitrite between denitrification and DNRA. Thus, DNRA processes can be involved in anoxic tracer incubations due to the direct conversion of nitrite to ammonium in where the production of $^{30}\text{N}_2$ may occur via anammox whether there is significant rates of DNRA by combining the DNRA substrate $^{15}\text{NO}_2^-$ with the DNRA product $^{15}\text{NH}_4^+$ (Kartal *et al.*, 2007). The coupled DNRA-anammox may occur in two forms: intracellular coupled DNRA-anammox in which DNRA and anammox are effectuated within the same cell and intercellular coupled DNRA-anammox where distinct organisms carry out the coupled DNRA-anammox by using a small ambient ammonium pool (Holtappels *et al.*, 2011).

In order to understand the complexity of nitrogen tracer experiments, it is important to clarify that there are ten known nitrogen isotopes, the majority of them being radioactive. The stable ones are ^{14}N and ^{15}N with concentrations of 99.634% and 0.368% of the global nitrogen pool of the earth's atmosphere (Holtappels *et al.*, 2011). Stable isotope compositions are defined in terms of delta (δ) values that are established in parts per mil (‰) according to equation (10).

$$\delta = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000\text{‰} \quad (10)$$

The δ value is calculated by the comparison of the ratio (R) between the sample and standard. By convention, R is the ratio of the heavy (less abundant) to the light isotope (most abundant) (i.e. $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ for nitrogen). The ratio standards are determined by the reference standard such as Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) or Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW). The sample and standard have often very similar ratios of the two stable isotopes, which give a value very close to 1. To emphasize this difference, the deviation from the value 1 is represented in per mil. For instance, the nitrogen isotopes ratios are calculated as the ‰ difference to atmospheric N_2 having a constant $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ of 272 ± 0.3 (Coplen, Krouse, and Bohlke, 1992). The isotopes from an element contain mass differences, which may be interpreted as a mass-dependent isotope fractionation effect (Kendall and Caldwell, 1998). Equilibrium isotope exchange reaction and kinetic processes produce isotopic fractionations. The equilibrium fractionation processes are involved in reversible equilibrium reactions redistributing isotopes of an element to various compounds. The equilibrium fractionation factor α is used to express the fractionation associated with the equilibrium exchange reaction between two substances as shown in equation (11) where k is the equilibrium constant and n the number of exchanged atoms. Kinetic fractionation processes are associated with irreversible unidirectional kinetic reactions such as evaporation, dissociation,

biologically mediated reactions and diffusion that establish the difference in the motility of the isotopic species. The kinetic isotope fractionation factor α describes the relative difference in the reaction rates constants (k) of heavy and light isotopologues during the reaction, as shown in equation (12) for $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{14}\text{N}$ (Mariotti *et al.*, 1981).

$$\alpha_{\text{eq.}} = k_1 / k_2 \quad (11)$$

$$\alpha = 14k_1 / 15k_2 \quad (12)$$

Most biological reactions discriminate against the heavier isotope. Therefore, the definition of an isotope enrichment factor (ϵ) is more convenient considering that it clearly highlights the range of variation (eq. 13):

$$\epsilon = (\alpha - 1) \times 1000 \quad (13)$$

Many studies have taken advantage of isotope analysis of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and subsequently, of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) over the last decades (Kendall, 1998; Clark *et al.*, 2008). Whereas the use of only nitrogen isotopes analysis is challenging, as the $\delta^{15}\text{N}$ values of fertilizers and atmospheric deposition of existing nitrate and nitrate in soil are similar to the nitrogen forms in the aquatic ecosystems, the combination of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ analysis provides an important insight of nitrate sources involved in the nitrogen cycle (Kendall, 1998). Studies have reported the nitrogen isotopes fractionation of the different microbiological processes performed in the nitrogen cycle over the last decades. The fractionation of nitrification is often calculated from the rate determining step, which is the slower oxidation of ammonium to nitrite having a large $\delta^{15}\text{N}$ value ranging from 38 to -14 ‰ (Mariotti *et al.*, 1981). The transformation of nitrate to nitrogen gas via denitrification results in isotopic fractionations from +15 to +30‰ (Böttcher, Strebel, Voerkelius, and Schmidt, 1990). The reports of DNRA fractionation are lacking a range of isotopic effects (Kendall *et al.*, 2007), whereas (McCready, Gould, and

Barendregt, 1983) used a kinetic fractionation demonstrating that produced ammonium has a lower $\delta^{15}\text{N}$ value than nitrate. There is little knowledge about the isotopic fractionation of anammox, but it is assumed that anammox and denitrification may have similar isotope fractionation. However, new evidences show that anammox preferentially removes dinitrogen from the ammonium pool with an isotope effect of + 23.5 to + 29.1 ‰ in marine ecosystems according to Brunner *et al.* (2013).

Conclusions

Bearing in mind the issues described in the parts of this review, it is evident that more research on the detection of biogeochemical reactions of the nitrogen cycle in groundwater is needed in order to determine the impact of nitrogen pollutants on water supplies for human consumption. However, the field of measurements in environmental chemistry has shown that despite the limitations of effective methods that detect and quantify microbiological processes of nitrogen loss, there are some advances on the quantification of the rates of nitrogen elimination in groundwater by developing new analytical methods in the last few years. While the first methods for measurement of nitrogen compounds involved in the nitrogen cycle that came to light evidenced serious drawbacks, the use of ^{15}N -labelling experiments including in situ tracer experiments and multi-isotope-multi tracer approach has become a powerful tool investigating regulations of microbial redox reactions in the present. Nevertheless, although very elegant, this artificial isotopic labeling cannot be used in the environment, since introducing, for instance, $^{15}\text{NH}_4^+$ or $^{15}\text{NO}_x^-$ in sufficient quantities into aquifers is practically impossible in natural conditions. As anammox and denitrification processes in the nitrogen cycle are the principal responsible in the removal of nitrogen compounds, the study of these processes are a priority, principally anammox reaction, which has not largely been explored. In addition, further research to estimate the kinetic

rate parameters of the biogeochemical transformations in this complex reactions environment by using numerical models would be beneficial to establish new critical insight for the development of new methods for anammox and denitrification determination in groundwater and other natural systems.

References

- Almasri, M. N. and Kaluarachchi, J. J. (2004). Assessment and management of long-term nitrate pollution of groundwater in agriculture-dominated watersheds. *Journal Hydrology*, 295, 225-245.
- Aravena, R. and Robertson, W. D. (1998). Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in ground water: study of nitrite from a large-flux septic plume. *Journal Groundwater*, 36(6), 975-982.
- Böhlke, J. K., Smith, R. L. and Miller, D. N. (2006). Ammonium transport and reaction in contaminated groundwater: Application of isotope tracers and isotope fractionation studies. *Journal Water Resources Research*, 42, 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005WR004349>
- Böttcher, J., Strelbel, O., Voerkelius, S. and Schmidt, H. L. (1990). Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. *Journal Hydrology*, 114, 413-424. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(90\)90068-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(90)90068-9)
- Brunner, B., Contreras, S., Lehmann, M. F., Mantantseva, O., Rollog, M., Kalvelage, T., Klockgether, G., Lavik, G., Jetten, M. S. M., Kartal, B. and Kuypers, M. M. (2013). Nitrogen isotope effects induced by anammox bacteria. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(47), 18994-18999. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1310488110>
- Burt, T. P., Matchett, L. S., Goulding, K. W. T., Webster, C. P. and Haycock, N. E. (1999). Denitrification in a riparian buffer zones: the role of floodplain hydrology. *Journal Hydrology Process*, 13, 1451-1463. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199907\)13:10<1451::AID-HYP822>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199907)13:10<1451::AID-HYP822>3.0.CO;2-W)
- Canter, L.W. (1996). *Nitrates in groundwater*. Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers Inc.
- Castner, E., Leach, A., Leary, N., Baron, J., Compton, J., Galloway, J., Hastings, M., Kimiecik, J., Lantz-Trissel, J., De la Reguera, E. and Ryals, R. (2017). The nitrogen footprint tool network: a multiInstitution program to reduce nitrogen pollution. *Mary Ann Liebert, Inc*, 10(2), 79-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1089/sus.2017.29098.eac>
- Clark, I. D., Timlin, R., Bourbonnais, A., Jones, K., Lafleur, D. and Wickens, K. (2008). Origin and Fate of Industrial Ammonium in Anoxic Ground water: ¹⁵N Evidence for Anaerobic Oxidation Anammox. *Journal Monitoring and Remediation*, 28, 73-82. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.2008.00206.x>
- Christensen, T. H., Bjerq, P. L., Banwarth, S. A., Jakobsen, R., Heron, G. and Albrechtsen, H. J. (2000). Characterization of redox conditions in groundwater contaminant plumes. *Journal Contaminant Hydrology*, 45, 165-241.
- Christensen, T. H., Kjeldsen, P., Bjerq, P. L., Jensen, D. L., Christensen, J. B., Baun, A., Albrechtsen, H. J. and Heron, G. (2001). Review: Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Journal Applied Geochemistry*, 16(7-8), 659-718.
- Codispoti, L. A. and Richards, F. A. (1976). An analysis of the horizontal regime of denitrification in the eastern tropical North Pacific. *Journal Limnology and Oceanography*, 5, 379-388.
- Cole, J. A. and Brown, C. M. (1980). Nitrite reduction to ammonia by fermentative bacteria: a short circuit in the biological nitrogen cycle. *FEMS Microbiology Letters Journal*, 7, 65-72.
- Coplen, T. B., Krouse, H. R. and Böhlke, J. K. (1992). Reporting of nitrogen isotope abundances-(Technical report). *Journal Pure and Applied Chemistry*, 4(6), 907-908.

- Dale, O. R., Tobias, C. R. and Song, B. (2009). Biogeographical distribution of diverse anaerobic ammonium oxidizing (anammox) bacteria in Cape Fear River estuary. *Journal Environmental Microbiology*, 11(5), 1194-1207. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01850.x>
- Dalsgaard, T., Canfield, D. E., Petersen, J., Thamdrup, B. and Acuña-González, J. (2003). N₂ production by the anammox reaction in the anoxic water column of Golfo Dulce, Costa Rica. *Journal Nature*, 422, 606-608.
- Domenico, P. A. and Schwartz, F. W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology*. New York: Wiley.
- Erlor, D.V., Eyre, B. D. and Davison, L. (2008). The contribution of anammox and denitrification to sediment N₂ production in a surface flow constructed Wetland. *Journal Environmental Science and Technology*, 42(24), 9144-9150.
- Fields, S. (2004). Global Nitrogen: Cycling out of Control. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), A556-A563.
- Francis, A. J., Slater, J. M. and Dodge, C. J. (1989). Denitrification in deep sub-surface sediments. *Journal Geomicrobiology*, 7(2), 103-116. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490458909377853>
- Fuerst, J. and Sagulenko, E. (2011). Beyond the bacterium: planctomycetes challenge our concepts of microbial structure and function. *Journal Nature Reviews Microbiology*, 9, 403-413.
- Ghaly, A. E. and Ramakrishnan, V. V. (2015) Nitrogen Sources and Cycling in the Ecosystem and its Role in Air, Water and Soil Pollution: A Critical Review. *Journal Pollution Effects & Control*, 3(2), 2375-4397.
- Hamilton, S.K., and Ostrom, N.E. (2007). Measurement of the stable isotope ratio of dissolved N₂ in ¹⁵N tracer experiments. *Journal Limnology and Oceanography*, 5, 233-240.
- Holtappels, M., Lavik, G., Jensen, M. and Kuypers, M. (2011). ¹⁵N Labelling Experiments to Dissect the Contributions of Heterotrophic Denitrification and Anammox to Nitrogen Removal in the OMZ Waters of the Ocean. In *Methods in Enzymology* edited by Martin G. Klotz, Burlington: Academic Press, 486, 223-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381294-0.00010-9>
- Jahangir, M. R., Johnston, P., Addy, K., Khalil, M. I., Groffman, P. M. and Richards, K. G. (2013). Quantification of In Situ Denitrification Rates in Groundwater Below an Arable and a Grassland System. *Journal Water Air Soil Pollution*, 224(9), 1693-1701.
- Kartal, B., Kuypers, M. M., Lavik, G., Schalk, J., Op den Camp, H. J. M., Jetten, M. S. M. and Strous, M. (2007). Anammox bacteria disguised as denitrifiers: nitrate reduction to dinitrogen gas via nitrite and ammonium. *Journal Environmental Microbiology*, 9(3), 635-642. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01183.x>
- Kehew, A. E. and Passero, R. N. (1990). pH and redox buffering mechanisms in a glacial drift aquifer contaminated by landfill leachate. *Journal Groundwater*, 28, 728-737.
- Kendall, C. (1998). Tracing Nitrogen Sources and Cycling in Catchments. In C. Kendall and J. J. McDonnell (eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* (pp. 519-576). Elsevier Science.
- Kendall, C. and Caldwell, E. (1998). Fundamentals of Isotope Geochemistry. In C. Kendall and J. J. McDonnell (eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* (pp. 51-86). Elsevier Science.
- Kendall, C., Elliott, E. M. and Wankel, S. D. (2007). Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems. In R. H. Michener and K. Lajtha (eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* (pp. 375-449). Blackwell Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470691854.ch12>
- Kobus, H. E. and Kinzelbach, W. (1989). *Contaminant Transport in Groundwater*. A.A. Rotterdam: Balkema.
- Korom, S. F. (1992). Natural denitrification in the saturated zone: A review. *Journal Water Resources Research*, 28(6), 1657-1668.

- Lindenblatt, C. and Horn, H. (2010). *Prozesswasser-Deammonifikation im SBR mit schwingendem Redoxpotential*. Berichte aus Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität München, 200, 135155.
- Mariotti, A., Germon, J. C., Hubert, P., Kaiser, P., Letolle, R., Tardieux, A. and Tardieux, P. (1981) Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: some principles; illustration for the denitrification and nitrification processes. *Journal Plant Soil*, 62(3), 413-430.
- McCready R. G. L., Gould, W. D. and Barendregt, R. W. (1983). Nitrogen isotope fractionation during the reduction of NO_3^- to NH_4^+ by *Desulfovibrio* sp. Canadian. *Journal of Microbiology*, 29(2), 231-234. DOI: <https://doi.org/10.1139/m83-038>
- McMahon, P. B. and Böhlke, J. K. (2006). Regional patterns in the isotopic composition of natural and anthropogenic nitrate in groundwater, High Plains, USA. *Journal Environmental Science and Technology*, 40, 2965-2970.
- Moore, T. A., Xing, Y., Brent, L., Lynch, M. D. J., Schiff, S., Robertson, W. D., Timlin, R., Lanza, S., Ryan, M. C., Aravena, R., Fortin, D., Clark, I. D. and Neufeld, J. D. (2011). Prevalence of Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria in Contaminated Groundwater. *Journal Environmental Science and Technology*, 45(17), 7217-7225.
- Morris, J. T., Whiting, G. J. and Chapelle, F. H. (1988). Potential denitrification rates in deep sediments from the South-eastern Coastal Plain. *Journal Environmental Sciences Technology*, 22(7), 832-836.
- Mulder, A., Van de Graaf, A. A., Robertson, L. A. and Kuenen, J. G. (1995). Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying bed reactor. *FEMS Microbiology and Ecology Journal*, 16(3), 177-183. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-6496\(94\)00081-7](https://doi.org/10.1016/0168-6496(94)00081-7)
- Mulholland, P. J., Valett, H. M., Webster, J. R. Thomas, S. A., Cooper, L. W., Hamilton, S. K. and Peterson, B. J. (2004). Stream denitrification and total nitrate uptake rates measured using a field $^{15}\text{-N}$ tracer addition approach. *Journal Limnology and Oceanography*, 49, 809-820.
- Rivett, M. A., Buss, S. R., Morgan, P., Smith, W. N. and Bemmet, C. D. (2008). Nitrate attenuation in groundwater: A review of biochemical controlling processes. *Journal Water Research*, 42, 4215-4232.
- Sampat, P. (2000). *Deep Trouble: the hidden threat of groundwater pollution*. Washington, D. C.: Worldwatch Institute.
- Schilling, K. E. (2002). Occurrence and distribution of ammonium in Iowa groundwater. *Journal Water Environment Research*, 74, 177-186.
- Schmidt, I., Sliemers, O., Schmid, M., Cirpus, I., Strous, M., Bock, E., Kuenen, J. G. and Jetten, S. M. (2002). Aerobic and anaerobic ammonia oxidizing bacteria- competitors or natural partners. *FEMS Microbiology Ecology Journal*, 39(3), 175-181. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2002.tb00920.x>
- Schubert, C. J., Durisch-Kaiser, E., Wehrli, B., Thamdrup, B., Lam, P. and Kuypers, M. M. (2006). Anaerobic ammonium oxidation in a tropical freshwater system (Lake Tanganyika). *Journal Environmental Microbiology*, 8(10), 1857-1863. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01074.x>
- Seitzinger, S., Harrison, J. A., Böhlke, J. k., Bouwman, A. F., Lowrance, R., Peterson, B., Tobias, C. and Van Drecht, G. (2006). Denitrification across landscapes and waterscapes: a synthesis. *Journal Ecological Applications*, 16(6), 2064-2090.
- Simonin, M., Le Roux, X., Poly, F., Lerondelle, C., Hungate, B. A., Nunan, N., Niboyet, A. (2015). Coupling Between and Among Ammonia Oxidizers and Nitrite Oxidizers in Grassland Mesocosms Submitted to Elevated CO_2 and Nitrogen Supply. *Journal Microbial Ecology*, 70(3), 809-818.
- Song, B. K. and Tobias, C. R. (2011). Molecular and stable isotope methods to detect and measure anaerobic ammonium oxidation (anammox) in

- aquatic ecosystems. *Methods in Enzymology*, 496, 63-89.
- Spalding, R. F., Exner, M. E., Martin, G. E. and Snow, D. D. (1993). Effects of sludge disposal on groundwater nitrate concentrations. *Journal Hydrology*, 142, 213-228. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90011-W](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90011-W)
- Strouss, M., Van Gerven, E., Zhen, P., Kuenen, J. G. and Jetten, M. S. M. (1999). Ammonium removal from concentrated waste streams with anammox process in different reactor configurations. *Journal Water Resources*, 31(8), 1955-1962. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(97\)00055-9](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(97)00055-9)
- Sumner, D. M., Rolston, D. E. and Bradner, L. A. (1998). Nutrient transport and transformation beneath an infiltration basin. *Journal Water Environment Research*, 70(5), 997-1004.
- Thamdrup, B. and Dalsgaard, T. (2002). Production of N₂ through Anaerobic Ammonium Oxidation Couples to Nitrate Reduction in Marine Sediments. *Journal Applied and Environmental Microbiology*, 63(3), 1312-1318.
- Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., and Brandt, M. J. (2000). *Water Supply*. London: Arnold with IWA Publishing.
- Tobias, C. R., Macko, S. A., Anderson, I. C., Canuel, E. and Harvey, J. W. (2001). Tracking the fate of a high concentration groundwater nitrate plume through the fringing marsh: A combined groundwater tracer and in situ isotope enrichment study. *Journal Limnology and Oceanography*, 46(8), 1977-1989.
- Tiedje, J. M. (1988). Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In A. J. Zehnder (ed.), *Biology of anaerobic microorganisms* (pp. 179-244). New York: John Wiley and Sons.
- Umweltbundesamt (UBA) (2014). *Reactive nitrogen in Germany: causes and effects - measures and recommendations*. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/reactive_nitrogen_in_germany_0.pdf
- United States Environmental Protection Agency (U.S EPA) (2017). *Drinking water contaminants-standards and regulations*.
- Vajrala, N., Martens-Habbena, W., Sayavedra-Soto, L., Schauer, A., Bottomley, P. J., Stahl, D. A. and Arp, D. J. (2013). Hydroxylamine as an intermediate in ammonia oxidation by globally abundant marine archaea. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(3), 1006-1011.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H. and Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Journal Ecology Applications*, 7(3), 737-750.
- Wakida, F. T. and Lerner, D. N. (2005). Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review case study. *Journal Water Resources*, 39, 3-16.
- Widory, D., Kloppmann, W., Chery, L., Bonnin, J., Rochdi, H. and LucGuinamant, J. (2004). Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach. *Journal Contaminant Hydrology*, 72, 165-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2003.10.010>
- Zhu, G., Wang, S., Wang, Y., Wang, C., Risgaard-Petersen, N., Jetten, M. S. M. and Yin, C. (2011). Anaerobic ammonia oxidation in a fertilized paddy soil. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 5(12), 1905-1912.





La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión

Teledetection in ecological research as support for the conservation of biodiversity: a review

Teledeteccão em pesquisa ecológica como apoio à conservação da biodiversidade: uma revisão

Baltazar Sánchez-Díaz¹

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 33(3), 243-253. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>

Resumen

La aplicación más prometedora de la teledetección, en la actualidad, en ecología se relaciona con el campo de la biodiversidad. Algunas de las principales amenazas para la biodiversidad son la fragmentación y pérdida del hábitat por la deforestación provocada por actividades humanas; lo que a su vez acelera los índices de extinción en las especies. Sin embargo, la biodiversidad es difícil de cuantificar y medir, por lo cual la teledetección es una herramienta valiosa para las investigaciones ecológicas ya que, dadas sus características de resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal, se hace posible tratar de medir ciertas variables de biodiversidad. No obstante, los ecólogos y las agencias espaciales, en un trabajo conjunto, han definido una lista de variables esenciales con las que se pueda monitorear la biodiversidad desde el espacio. Así, surge la necesidad de implementar nuevos enfoques

y herramientas para su estudio y conservación, utilizando la teledetección como una herramienta para apoyar los procesos de toma de decisiones en gestiones de conservación de la biodiversidad en todo el mundo.

Palabras clave: biodiversidad, imágenes de satélite, variables.

Abstract

Currently the most promising application of remote sensing in ecology concerns the field of biodiversity. One of the main threats to biodiversity is the fragmentation and loss of habitat, due to deforestation caused by human activities, accelerating extinction rates in the species. However, biodiversity is difficult to quantify and measure, which is why remote sensing is a valuable tool for ecological research, since, due to its characteristics of spatial, spectral, radiometric and temporal resolution, it is possible to try

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco División Académica De Ciencias Biológicas, México. baltazar.sanchez.diaz@gmail.com

to measure certain biodiversity variables. However, ecologists and space agencies, in a joint effort, have defined a list of essential variables with which biodiversity can be monitored from space. Due to this, there is a need to use new approaches and tools for its study and conservation, using remote sensing as a tool to support decision-making processes in biodiversity conservation efforts throughout the world.

Keywords: biodiversity, satellite images, variables.

Resumo

Atualmente, a aplicação mais promissora do sensoriamento remoto na ecologia está relacionada ao campo da biodiversidade. Uma das principais ameaças à biodiversidade é a fragmentação e a perda de habitat devido ao desmatamento causado pelas atividades humanas, acelerando as taxas de extinção de espécies. No entanto, a biodiversidade é difícil de quantificar e medir, de modo que o sensoriamento remoto é uma ferramenta valiosa para a pesquisa ecológica porque, em virtude de sua resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, permite medir certas variáveis da biodiversidade. No entanto, ambientalistas e agências espaciais, em um esforço conjunto, definiram uma lista de variáveis essenciais para que a biodiversidade possa ser monitorada a partir do espaço. Por causa disso, a necessidade de usar novas abordagens e ferramentas para estudo e conservação. Como imagens de satélite, uma ferramenta para apoiar os processos de tomada de decisão nos esforços de conservação da biodiversidade em todo o mundo.

Palavras-chaves: biodiversidade, imagens de satélite, variáveis.

Introducción

La pérdida del hábitat y la fragmentación son algunas de las principales amenazas para la biodiversidad (Muñoz, Estrada, Naranjo y de las Casas, 2005; Estrada *et al.*, 2005; Pasher *et al.*, 2013; Liu y Slik, 2014). Dada la rápida disminución de la biodiversidad en todo el mundo, surge la necesidad de trabajar con grandes extensiones. Sin embargo, esta es difícil de cuantificar y medir (Munguia *et al.*, 2011; San Vicente y Valencia, 2012).

Una manera de medir la biodiversidad es mediante especies indicadoras que puedan estar amenazadas o en peligro de extinción y que requieran áreas relativamente grandes en buen estado de conservación (Noss, 1990). Por lo cual, la colaboración estrecha entre los expertos en teledetección y en conservación de la biodiversidad puede facilitar las investigaciones para el monitoreo, ordenamiento y cuantificación de la biodiversidad desde el espacio (Benayas, 1993; Pfund *et al.*, 2008; Newton *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2014; Skidmore *et al.*, 2015). Expertos en teledetección están acostumbrados a tratar con grandes áreas cuyas resoluciones espaciales, por lo general, van desde decenas de metros hasta varios kilómetros y resoluciones temporales entre diario y cada 10 días. Los ecólogos, por su parte, a menudo se ocupan de áreas relativamente pequeñas en resolución espacial de unos pocos metros y resoluciones temporales diaria o anual. Esta falta de marcos de referencia comunes dificulta el trabajo colaborativo (Pettorelli *et al.*, 2014). Aunque, los ecólogos no deben esperar que los índices derivados de los datos obtenidos por teledetección sean directamente iguales a los datos recogidos en campo, existe la necesidad de considerar fuertemente que los productos obtenidos por teledetección son adecuados para un análisis determinado (Neumann *et al.*, 2015).

En este artículo se revisa brevemente las aplicaciones de la teledetección en la ecología como apoyo a la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad, así como la posible utilización de estas herramientas en investigaciones futuras.

Uso de la teledetección en investigaciones ecológicas

Una de las primeras propuestas fue aplicar la teledetección a los indicadores ecológicos, pues puede trabajar con escalas espaciales y temporales para mapear los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas (cobertura terrestre, uso

del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación), para estimar sus cambios a través del tiempo (Noss, 1990). Posteriormente, los avances en la resolución espacial y espectral de la teledetección cada vez más factible permitieron a los ecologistas aplicarla en ciertos aspectos de la biodiversidad; por ejemplo, para distinguir los conjuntos de especies o incluso la identificación de especies de árboles individuales (Benayas, 1993; Turner *et al.*, 2003; Kerr y Ostrovsky, 2003; Cabello y Paruelo, 2008).

Recientemente, la teledetección ha sido reconocida como uno de los enfoques prometedores para estimar la biodiversidad, debido a la dificultad de recopilar datos basados en campo. Por ello, se usa la teledetección para estimar la heterogeneidad del paisaje y la diversidad de especies demostrando que es una herramienta poderosa, ya que permite trabajar a una alta resolución espacial y temporal; para mapear los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas (cobertura terrestre, uso del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación) y estimar sus cambios a través del tiempo (Rocchini *et al.*, 2013). Además, la teledetección se utiliza en muchas aplicaciones de monitoreo, como la fragmentación y la conectividad del hábitat, en la ecología del paisaje, y los estudios de enfoque sobre especies individuales. Esta información es esencial en el diseño de estrategias efectivas para la conservación y gestión de la biodiversidad (Willis, 2015; Rocchini *et al.*, 2015).

La teledetección activa como apoyo a la toma de decisiones para la conservación biodiversidad

LiDAR es una tecnología de teledetección activa que permite obtener información tridimensional y continua de la estructura arbórea, constituyendo una herramienta útil para complementar los inventarios forestales en los trabajos de campo (Navarro *et al.*, 2016). Por lo que las variables derivadas de LiDAR como el diámetro de copa, la altura total y

el área basal permiten la caracterización de estructuras arbóreas (Ortiz-Reyes *et al.*, 2015). Ya que, en el caso de algunas especies, obtener este tipo de datos a partir de la tecnología LiDAR son importantes para la implementación de acciones que contribuyan a la conservación de la biodiversidad (Zamora-Martínez, 2017).

La teledetección pasiva como apoyo a la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad

Las imágenes satelitales pertenecen a la teledetección pasiva y son utilizadas como herramienta para la toma de decisiones en la conservación de la biodiversidad, ya que, por medio del análisis, se puede monitorear y vigilar las áreas que reciben apoyos para la conservación del medio ambiente (Gómez *et al.*, 2013).

Este tipo de teledetección pasiva ofrece la posibilidad de dar un seguimiento espacial y temporal de los fenómenos que pueden delimitarse en unidades ecológicas sobre las que se apliquen distintas medidas para estudiar su estructura espacial: fragmentación, forma, abundancia, especificidad, entre otras (Benedetti, Campo y Gherardi, 2010). De esta manera, los datos de teledetección pueden jugar un papel importante en el suministro de información sobre el cambio de hábitat, la degradación y fragmentación, así como en la propagación de especies invasoras, lo que propicia el cumplimiento de objetivos para el monitoreo (Pettorelli *et al.*, 2014).

Ventajas de las imágenes de satélite en investigaciones ecológicas

Las imágenes de satélite se han convertido en una herramienta importante ya que, al combinar la información acerca de los requerimientos de hábitat de las especies con los mapas de cobertura de la tierra derivada de datos de teledetección, es posible estimar de manera precisa la distribución potencial de las especies y los patrones de riqueza de estas (Turner *et al.*, 2003). Aunque, para aumentar

el uso de imágenes de satélite con fines ecológicos y de conservación se requiere de un compromiso por parte de los expertos en biodiversidad y los de teledetección para promover un mayor nivel de trabajo interdisciplinario entre estas comunidades, para así crear oportunidades en el avance de ambas disciplinas (Pettorelli *et al.*, 2014; Turner *et al.*, 2015). Sin embargo, el uso de la teledetección por los ecólogos está creciendo. Debido a su potencial, en las últimas décadas una serie de tecnologías de teledetección se han utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la identificación de relaciones con el hábitat, la cuantificación de la biodiversidad, el modelado de la distribución de especies y planificación de la conservación (Shirley *et al.*, 2013; Ancira-Sanchez y Treviño-Garza, 2015).

Índices espectrales de vegetación aplicadas para la conservación de la biodiversidad

Las *variables esenciales de la biodiversidad* proponen aprovechar los índices espectrales de vegetación para medir ciertas características de la fenología de la vegetación de forma continua a través del espacio; por ejemplo, la estructura y función de los ecosistemas (Pereira *et al.*, 2013). Por lo cual, se proponen 10 variables para medir la biodiversidad desde el espacio (Skidmore *et al.*, 2015).

Existe la necesidad de una colaboración más estrecha entre los expertos en conservación de la biodiversidad y la teledetección hoy día (Pettorelli *et al.*, 2014; Skidmore *et al.*, 2015; Xue y Su, 2017). Investigaciones como las de Leyequien *et al.* (2007) y Pettorelli *et al.* (2014) describen que hay una relación significativamente positiva entre valores altos del *índice de diferencia normalizada de vegetación* (NDVI) con la presencia de especies como el avestruz (*Struthio camelus*) y ñus (*Connochaetes taurinus*). En el caso de los primates, Willems y Hill (2009) utilizaron el NDVI para modelar el hábitat del mono de vervet (*Cercopithecus aethiops*) en África, en el estudio se identificó que los monos prefirieron áreas con altos valores de NDVI, el cual actuó como indicador de la disponibilidad de alimentos (vegetación verde). Además, existen investigaciones en las cuales se han estudiado ciertas especies desde el espacio a través de las imágenes satelitales. Por ejemplo, se han identificado y ubicado poblaciones de pingüinos emperador (*Aptenodytes fosteri*) en la costa continental de la Antártida (Fretwell *et al.*, 2012); rutas de ballenas a través del golfo Nuevo de la península Valdés en Argentina (Fretwell *et al.*, 2014); ñus, cebras y gacelas en el este de la sabana africana (Yang *et al.*, 2014; Xue *et al.*, 2017); osos polares en el Ártico canadiense (Stapleton *et al.*, 2014) y los elefantes marinos en el sur del océano Pacífico (McMahon *et al.*, 2014). Algunas de las investigaciones más destacadas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Investigaciones destacadas de teledetección, ecología y conservación de la biodiversidad.

Investigaciones	Autores y año
Colaboración estrecha entre los expertos en ecología y teledetección para investigaciones del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la dinámica de los ecosistemas.	Noss (1990), Benayas (1993), Turner <i>et al.</i> (2003), Kerr y Ostrovsky (2003).
Recomendación del NDVI como un indicador de la disponibilidad de alimentos asociada con la presencia de especies como el avestruz, ñus y el mono de vervet.	Leyequien <i>et al.</i> (2007), Willems y Hill (2009).
Utilización de las imágenes de satélite en relación con la dinámica de los ecosistemas para observar cambios en la cobertura del suelo debido a la fragmentación y pérdida del hábitat.	Newton <i>et al.</i> (2009), Singh <i>et al.</i> (2010), Nagendra <i>et al.</i> (2012), Rocchini <i>et al.</i> (2013).
Identificación de poblaciones en ambientes sin vegetación de especies como pingüinos, ñus, cebras, gacelas, osos polares y elefantes marinos, mediante el uso de imágenes de satélite hiperespectrales.	Fretwell <i>et al.</i> (2012), Yang <i>et al.</i> (2014), Fretwell <i>et al.</i> (2014), Stapleton <i>et al.</i> (2014), McMahon <i>et al.</i> (2014).
Proposición de variables para monitorear la biodiversidad desde el espacio. En el cual, mediante los índices espectrales de vegetación, se pueden medir ciertas características fenológicas relacionados con los patrones de movimiento de las especies.	Skidmore <i>et al.</i> (2015), Willis (2015), Corbane <i>et al.</i> (2015), Neumann <i>et al.</i> (2015), Xue y Su (2017).

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tipos de imágenes satelitales utilizadas en investigaciones ecológicas

Existen dos tipos de imágenes satelitales: multiespectrales (Modis, Landsat, Sentinel, entre otros); e hiperespectrales como QuickBird (figura 1), GeoEye (figura 2) y WorldView (figura 3), en la cual se han identificado ciertas poblaciones de especies.

Las imágenes de satélite multiespectrales han sido útiles para la clasificación de las diferentes clases de cobertura del suelo, normalmente basados en la vegetación (Turner *et al.*, 2003). Además, con este tipo de imágenes se pueden hacer monitoreos ecológicos, en cuanto a las estructuras de hábitat y los efectos asociados sobre la vida silvestre; lo que la convierte en una herramienta común para la exploración en la composición de la biodiversidad, es decir, la riqueza de especies (Leyequien *et al.*, 2007). Por otra parte, las imágenes hiperespectrales describen a escala fina la ocupación del suelo de cada especie, tales como categorías de vegetación o tipos de suelo, haciendo notable la contribución al estudio, en relación con los patrones de biodiversidad (Wang, Franklin, Guo y Cattet, 2010). Además, se han utilizado para generar información, con respecto a las propiedades fenológicas de las plantas (por ejemplo, pigmento de la hoja, contenido de agua y la composición química), logrando diferencias especies de árboles en paisajes y haciendo la identificación bastante exacta entre las diferentes especies, lo que permite la distinción de tipos de árboles sobre la base de reflectancia en respuesta a pigmento, nutrientes, y las diferencias estructurales entre las

especies (Nagendra y Rocchini, 2008). Por ejemplo, la firma espectral de una planta muestra las características del comportamiento de la radiación electromagnética con la estructura de la misma; también existen los índices de vegetación, que son combinaciones de las bandas espectrales registradas por las imágenes de satélite, siendo el NDVI el más conocido y usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base en la medición de la intensidad de la radiación (Rodríguez *et al.*, 2014).

Modelos espaciales como apoyo en la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad

Los modelos son herramientas de creciente uso que combinan revisión de literatura, trabajo de campo, sistemas de información geográfica y sensores remotos para estudios biogeográficos, ecológicos y de conservación (Valencia y Armenteras, 2004; Gillespie *et al.*, 2008; Cayuela *et al.*, 2009; Miller, 2010; García-Quintas y Ávila, 2012). Tal es el caso de los modelos de distribución de especies que, basados en un sistema de información geográfica, nos indican mediante una representación cartográfica derivada de sensores remotos la idoneidad ambiental del hábitat para el desarrollo de una especie en específico, y así, ayudar a tomar decisiones de conservación (Naoki *et al.*, 2006; De-Pando y De-Giles, 2007; Mateo, Felicísimo y Muñoz, 2011; Plasencia-Vázquez, Escalona-Segura y Esparza-Olguín, 2014; Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar y Sánchez-Rojas,

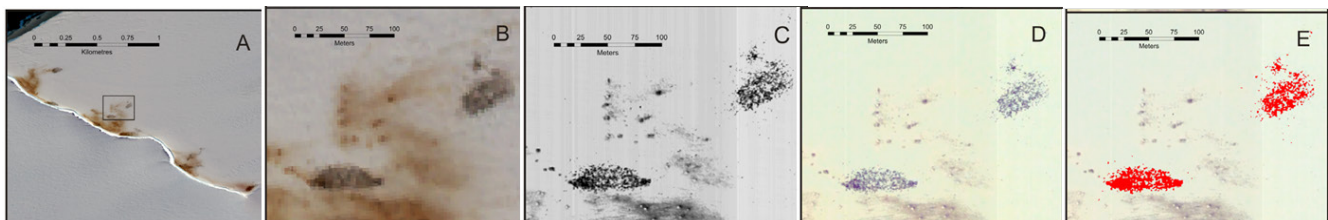


Figura 1. Poblaciones de pingüinos.

Fuente: Fretwell *et al.* (2012).

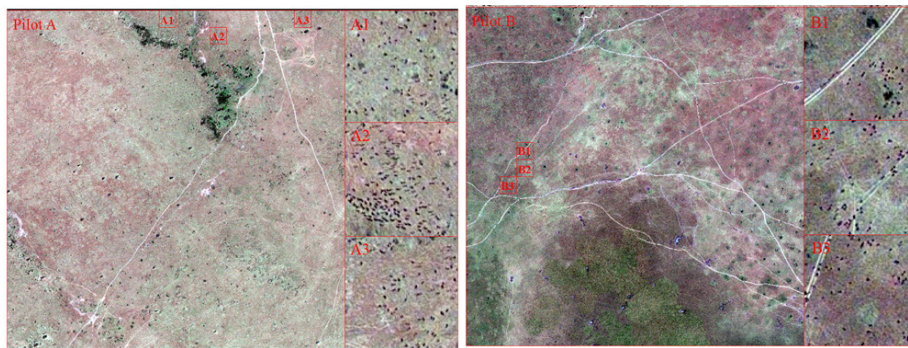


Figura 2. Poblaciones de ñus, cebras y gacelas.

Fuente: Yang *et al.* (2014).

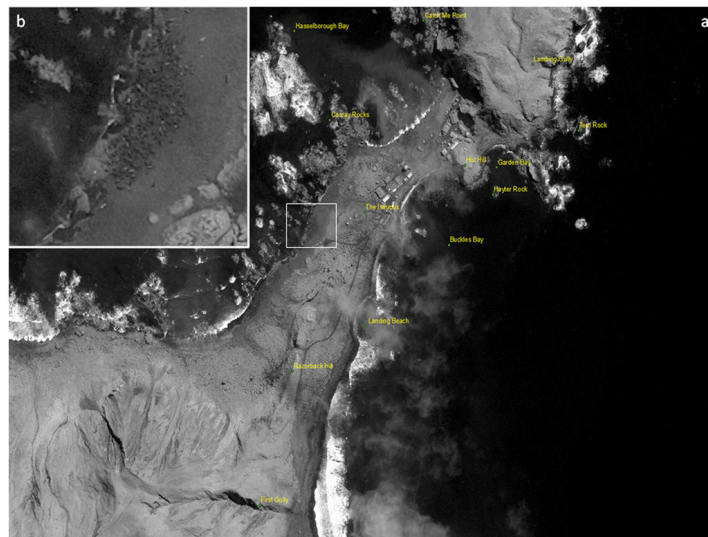


Figura 3. Poblaciones de elefantes marinos.

Fuente: McMahon *et al.* (2014).

2015). El modelado espacial es una herramienta importante para la evaluación de la distribución potencial de especies terrestres (Ibarra-Montoya *et al.*, 2012), por lo que recientemente se han realizado modelos en los cuales se han introducido como variables índices espectrales de vegetación, como el NDVI, derivados de imágenes de satélite (López-Sandoval *et al.*, 2015).

Consideraciones finales

Es preciso aumentar el uso de imágenes de satélite con fines ecológicos y de conservación de la

biodiversidad, para a su vez promover un mayor nivel de trabajo interdisciplinario entre la ecología y teledetección y estimular así creación de oportunidades y el avance de ambas disciplinas (Pettorelli *et al.*, 2014; Turner *et al.*, 2015). Sin embargo, los resultados obtenidos de la sinergia de estas dos ciencias tienen que ser cotejados con datos recolectados en campo (Neumann *et al.*, 2015).

El potencial de sinergias entre la ciencia y la teledetección es la clave para mejorar las interpretaciones y usos de los datos de satélite para apoyar futuras investigaciones en la toma de decisiones de gestión de procesos para la conservación de la

biodiversidad (Nagendra *et al.*, 2014; Pettorelli *et al.*, 2015).

Los expertos en teledetección deben buscar una comprensión más profunda de los conceptos y requisitos ecológicos para minimizar la confusión semántica y para asegurar que el procesamiento de datos sea de la manera más apropiada y útil (Zlinszky *et al.*, 2015; Skidmore *et al.*, 2015).

Conclusiones

La teledetección es una de las principales herramientas disponibles para la asignación y monitoreo de los patrones de la biodiversidad a través de escalas espaciales grandes. Los datos derivados de la teledetección proporcionan información sobre las características del entorno que influyen en la biodiversidad, las propiedades estructurales y funcionales de los ecosistemas, la distribución espacial de los diferentes componentes de la biodiversidad, los patrones de cambios de vegetación natural inducidos por el ser humano e impactos de varias perturbaciones e interacciones ecológicas. Además, es una herramienta importante para supervisar y monitorear el estado de la biodiversidad y de los parámetros ambientales asociados y pertinentes para la conservación; entre ellos, ciertos elementos de los hábitats.

Es útil en la generación de registros para el monitoreo de los cambios de la biodiversidad (cobertura terrestre, uso del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación) a nivel local y mundial. Además, es ampliamente utilizado como fuente de información ambiental para la investigación ecológica. Por ejemplo, en relación con la ecología, los estudios han buscado a menudo obtener información sobre variables como la riqueza de especies y facilitar las actividades de monitoreo de la biodiversidad, ya que los modelos espaciales permiten utilizar como variables tanto datos derivados de la teledetección pasiva para medir ciertas características de la fenológica de la vegetación a través de

las imágenes de satélite, como la altura de la vegetación a partir de la teledetección activa derivada de la tecnología LiDAR.

Referencias

- Ancira-Sánchez, L. y Trevi-o Garza, E. J. (2015). Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*, 21(1), 77-91. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.211434>
- Benayas, J. R. (1993). Perspectivas de la teledetección en investigaciones ecológicas. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 2, 4.
- Benedetti, G., Campo, A. y Geraldi, A. (2010). *Las nuevas tecnologías aplicadas a la ecología del paisaje: estudio de un área del salitral de la Vidriera, provincia de Buenos Aires*. GeoSIG, 2.
- Cabello, J. y Paruelo, J. M. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Revista Ecosistemas*, 17(3).
- Cayuela, L., Golicher, D., Newton, A., Kolb, H., de Albuquerque, F. S., Arets, E. J. M.... y Pérez, A. M. (2009). Species distribution modeling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science*, 2(3), 319-352. DOI: <https://doi.org/10.1177/194008290900200304>
- Corbane, C., Lang, S., Pipkins, K., Alleaume, S., Deshayes, M., Millán, V. E. G.... y Michael, F. (2015). Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status. New opportunities and challenges. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 37, 7-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.11.005>
- De Pando, B. B. y De Giles, J. P. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 7, 100-119.

- Estrada, A., Harvey, C., Sáenz, J., Mu-oz, D., Naranjo, E., Rosales-Meda, M. y Chiapas, M. (2005). *Valor de algunas prácticas agrícolas para la conservación de poblaciones de primates en paisajes fragmentados en mesoamérica*. Universidad y ciencia, (002), 85-94.
- Fretwell, P. T., La Rue, M. A., Morin, P., Kooyman, G. L., Wienecke, B., Ratcliffe, N... y Trathan, P. N. (2012). An emperor penguin population estimate: the first global, synoptic survey of a species from space. *PLoS One*, 7(4), e33751. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033751>
- Fretwell, P. T., Staniland, I. J. y Forcada, J. (2014). Whales from space: counting southern right whales by satellite. *PLoS One*, 9(2), e88655. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088655>
- García-Quintas, A. y Ávila, D. D. (2012). Un ejemplo teórico de modelación del hábitat y la distribución potencial por análisis factorial del nicho ecológico. *Mesoamericana*, 16, 12-21.
- Gillespie, T. W., Foody, G. M., Rocchini, D., Giorgi, A. P. y Saatchi, S. (2008). Measuring and modelling biodiversity from space. *Progress in Physical Geography*, 32(2), 203-221. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133308093606>
- Gómez, I. U. H., Ellis, E. A. y Gómez, C. A. G. (2013). Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 13(1), 1-24.
- Ibarra-Montoya, J. L., Rangel-Peraza, G., González-Farías, F. A., De Anda, J., Martínez-Meyer, E. y Macías-Cuellar, H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la presa hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente y Agua*, 7(1), 218. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.607>
- Kerr, J. T. y Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(6), 299-305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00071-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00071-5)
- Leyequien, E., Verrelst, J., Slot, M., Schaepman-Strub, G., Heitkönig, I. M. y Skidmore, A. (2007). Capturing the fugitive: Applying remote sensing to terrestrial animal distribution and diversity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(1), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.08.002>
- Li, Z., Xu, D. y Guo, X. (2014). Remote sensing of ecosystem health: opportunities, challenges and future perspectives. *Sensors*, 14(11), 21117-21139. DOI: <https://doi.org/10.3390/s141121117>
- Liu, J. J. y Slik, J. F. (2014). Forest fragment spatial distribution matters for tropical tree conservation. *Biological Conservation*, 171, 99-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.004>
- López-Sandoval, J. A., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Vibrans, H., Vargas, O. y Martínez, M. (2015). Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*, 93(4), 755-764. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.192>
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P. y Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19.
- McMahon, C. R., Howe, H., van den Hoff, J., Alderman, R., Brotsma, H. y Hindell, M. A. (2014). Satellites, the all-seeing eyes in the sky: counting elephant seals from space. *PLoS one*, 9(3), e92613. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092613>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M. y Mu-oz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490-509. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>

- Munguia, P., Osman, R. W., Hamilton, J., Whitlatch, R. y Zajac, R. (2011). Changes in habitat heterogeneity alter marine sessile benthic communities. *Ecological Applications*, 21(3), 925-935. DOI: <https://doi.org/10.1890/09-2398.1>
- Muñoz, D., Estrada, A., Naranjo, E. y de las Casas, C. (2005). Monos aulladores (*Alouatta palliata*) en una plantación de cacao (*Theobroma cacao*) en Tabasco, México: aspectos de la ecología alimentaria. *Universidad y Ciencia*, 2, 35-44.
- Nagendra, H. y Rocchini, D. (2008). High resolution satellite imagery for tropical biodiversity studies: the devil is in the detail. *Biodiversity and Conservation*, 17(14), 3431-3442. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9479-0>
- Nagendra, H., Nagendran, S., Paul, S. y Pareeth, S. (2012). Graying, greening and fragmentation in the rapidly expanding Indian city of Bangalore. *Landscape and Urban Planning*, 105(4), 400-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.014>
- Nagendra, H., Sudhira, H. S., Katti, M., Tengö, M. y Schewenius, M. (2014). Urbanization and its impacts on land use, biodiversity and ecosystems in India. *Remote Sensing*, 7(6), 7987-7994. DOI: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46532>
- Navarro, E. P., Ba-uelos, M. J. y Quevedo, M. (2016). Combinando datos LiDAR e inventario forestal para identificar estados avanzados de desarrollo en bosques caducifolios. *Revista Ecosistemas*, 25(3), 35-42.
- Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I. y Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 65-78.
- Neumann, W., Martinuzzi, S., Estes, A. B., Pidgeon, A. M., Dettki, H., Ericsson, G. y Radloff, V. C. (2015). Opportunities for the application of advanced remotely-sensed data in ecological studies of terrestrial animal movement. *Movement ecology*, 3(8). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40462-015-0036-7>
- Newton, A. C., Hill, R. A., Echeverría, C., Golicher, D., Benayas, J. M. R., Cayuela, L. y Hinsley, S. A. (2009). Remote sensing and the future of landscape ecology. *Progress in Physical Geography*, 33(4), 528-546. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133309346882>
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation biology*, 4(4), 355-364. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- Ortiz-Reyes, A. D., Valdez-Lazalde, J. R., los Santos-Posadas, D., Héctor, M., Ángeles-Pérez, G., Paz-Pellat, F. y Martínez-Trinidad, T. (2015). Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: comparación de métodos. *Madera y Bosques*, 21(3), 111-128.
- Pasher, J., Mitchell, S. W., King, D. J., Fahrig, L., Smith, A. C. y Lindsay, K. E. (2013). Optimizing landscape selection for estimating relative effects of landscape variables on ecological responses. *Landscape Ecology*, 28(3), 371-383. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9852-6>
- Pfund, J. L., Koponen, P., O'Connor, T., Boffa, J. M., van Noordwijk, M. y Sorg, J. P. (2008). *Biodiversity conservation and sustainable livelihoods in tropical forest landscapes*. En *Patterns and Processes in Forest Landscapes* (pp. 297-322). Dordrecht, Holanda: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8504-8_17
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H. y Turner, W. (2015). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839-848. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H. y Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839-848. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>

- Pettorelli, N., Safi, K. y Turner, W. (2014). Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Phil.Trans. R. Soc. B*, 369(1643). DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J.... y Coops, N. C. (2013). Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117), 277-278. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
- Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G. y Esparza-Olguín, L. G. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana*, 30(3), 471-490. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2014.30372>
- Rocchini, D., Boyd, D. S., Féret, J. B., Foody, G. M., He, K. S., Lausch, A.... y Pettorelli, N. (2015). Satellite remote sensing to monitor species diversity: potential and pitfalls. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(1), 25-36. DOI: <https://doi.org/10.1002/rse2.9>
- Rocchini, D., Foody, G. M., Nagendra, H., Ricotta, C., Anand, M., He, K. S.... y Feilhauer, H. (2013). Uncertainty in ecosystem mapping by remote sensing. *Computers and Geosciences*, 50, 128-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.05.022>
- Rodríguez, J. A. E., Díaz-Ambrona, C. G. H. y Alfonso, A. M. T. (2014). Selección de índices de vegetación para la estimación de la producción herbácea en dehesas. *Pastos*, 44(2), 6-18.
- San Vicente, M. G. y Valencia, P. J. L. (2012). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. Polígonos. *Revista de Geografía*, 16, 35-54. DOI: <https://doi.org/10.18002/pol.v0i16.410>
- Stapleton, S., LaRue, M., Lecomte, N., Atkinson, S., Garshelis, D., Porter, C. y Atwood, T. (2014). Polar bears from space: assessing satellite imagery as a tool to track Arctic wildlife. *PLoS One*, 9(7), e101513. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101513>
- Skidmore, A. K., Pettorelli, N., Coops, N. C., Geller, G. N., Hansen, M., Lucas, R. y Schaepman, M. E. (2015). Environmental science: agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature*, 523, 403-405. DOI: <https://doi.org/10.1038/523403a>
- Shirley, S. M., Yang, Z., Hutchinson, R. A., Alexander, J. D., McGarigal, K. y Betts, M. G. (2013). Species distribution modelling for the people: unclassified landsat TM imagery predicts bird occurrence at fine resolutions. *Diversity and Distributions*, 19(7), 855-866. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12093>
- Singh, J. S., Roy, P. S., Murthy, M. S. R. y Jha, C. S. (2010). Application of landscape ecology and remote sensing for assessment, monitoring and conservation of biodiversity. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(3), 365-385. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12524-010-0033-7>
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E. y Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(6), 306-314. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00070-3)
- Turner, W., Rondinini, C., Pettorelli, N., Mora, B., Leidner, A. K., Szantoi, Z.... y Koh, L. P. (2015). Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 182, 173-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.048>
- Valencia, I. D. y Armenteras, D. (2004). Modelo de hábitat y distribución de la alondra (*Eremophila alpestris peregrina*) en el altiplano cundiboyacense, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 2, 25-36.
- Wang, K., Franklin, S. E., Guo, X. y Cattet, M. (2010). Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: A review from the perspective of remote sensing specialists. *Sensors*, 10(11), 9647-9667. DOI: <https://doi.org/10.3390/s101109647>

- Willis, K. S. (2015). Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation*, 182, 233-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.006>
- Willems, E. P. y Hill, R. A. 2009. A critical assessment of two species distribution models: a case study of the vervet monkey (*Cercopithecus aethiops*). *Journal of Biogeography*, 36(12), 2300-2312. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02166.x>
- Xue, J. y Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Xue, Y., Wang, T. y Skidmore, A. K. (2017). Automatic Counting of Large Mammals from Very High Resolution Panchromatic Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 9(9), 878. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9090878>
- Yang, Z., Wang, T., Skidmore, A. K., de Leeuw, J., Said, M. Y. y Freer, J. (2014). Spotting east African mammals in open savannah from space. *PLoS One*, 9(12), e115989. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115989>
- Zlinszky, A., Heilmeyer, H., Balzter, H., Czúcz, B. y Pfeifer, N. (2015). Remote sensing and GIS for habitat quality monitoring: New approaches and future research. *Remote Sensing*, 7(6), 7987-7994. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70607987>





Ancho de banda en superficies selectivas en frecuencia tipo cruz de dipolo

Bandwidth in Cross Dipole Frequency Selective Surfaces

Largura de banda em superfícies seletivas em frequência do tipo cruz de dipolo

Marío Alberto Rodríguez-Barrera¹

Walter Pereira-Carpes Jr²

Recibido: octubre de 2017

Aceptado: julio de 2018

Para citar este artículo: Rodríguez-Barrera, M.A. y Pereira-Carpes, Jr. W. (2018). (2018). Ancho de banda en superficies selectivas en frecuencia tipo cruz de dipolo. *Revista Científica*, 33(3), 254-264. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12679>

Resumen

A continuación, se presentan los resultados de la implementación del modelo de circuito equivalente (MCE) acoplado con el método de las matrices en cascada (MMC) para la determinación del ancho de banda en superficies selectivas en frecuencia (SSF) tipo cruz de dipolo. Los modelos de permitividad efectiva del dieléctrico en SSF facilitan determinar el efecto del material aislante usado como soporte de los elementos resonantes, en relación con la frecuencia de resonancia y el ancho de banda de la superficie selectiva, como función del espesor del material dieléctrico. Sin embargo, en este tipo de enfoque el soporte aislante es considerado como dieléctrico delgado y, por lo tanto, es modelado como un parámetro de tipo concentrado. Esta consideración puede llevar a resultados no adecuados en el cálculo del ancho de banda de la superficie selectiva para soportes dieléctricos gruesos. La principal novedad de este artículo es la implementación del MCE conjuntamente con el MMC, con el objetivo de determinar la respuesta en frecuencia

de la superficie selectiva cruz de dipolo para cualquier espesor y configuración del material dieléctrico. Los resultados obtenidos son comparados con los generados por el *software* de simulación electromagnética basado en el método de elementos finitos (Ansys-HFSS). Es de resaltar el bajo tiempo computacional, así como la exactitud aceptable obtenida con el enfoque propuesto.

Palabras clave: ancho de banda, método de las matrices en cascada, modelo de circuito equivalente, superficies selectivas en frecuencia.

Abstract

This paper presents the implementation outcomes of the Equivalent Circuit Model (ECM) acting in conjunction with the Matrix Cascading Method (MCM) for bandwidth calculation in cross dipole Frequency Selective Surfaces (FSSs). Dielectric layers are used as a support of resonant elements in FSSs. Models of effective permittivity of the dielectric layers in FSSs allow to determine the effect of the material used as insulating support of the resonant

¹. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. marodriguezba4@gmail.com

². Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. walterpcjr@gmail.com

elements, in relation to the resonant frequency and bandwidth, as a function of the thickness of the dielectric material. However, in this approach, the insulating support is considered as thin dielectric, and therefore, it is modeled as a lumped parameter. This consideration may lead to unsuitable results in calculating the bandwidth for thick dielectric supports. The novelty of the paper is the implementation of the Equivalent Circuit Model together with the Matrix Cascading Method to determine the frequency response of the cross dipole selective surface for any dielectric thickness and configuration. It is notable the low computational time as well as the acceptable accuracy obtained with the proposed approach, compared to Ansys-HFSS simulations.

Keywords: bandwidth, equivalent circuit model, frequency selective surfaces, matrix cascading method.

Resumo

O artigo versa sobre a implementação do Modelo do Circuito Equivalente (MCE) implementado junto com o Método das Matrizes em Cascata (MMC) para a determinação da largura de banda em Superfícies Seletivas em Frequência (SSF) do tipo cruz de dipolo. Modelos de permissividade efetiva do dielétrico em SSF permitem determinar o efeito do material usado como suporte dos elementos ressonantes na frequência de ressonância e na largura de banda como função da espessura do material dielétrico. No entanto, neste tipo de abordagem, o suporte dielétrico é considerado como parâmetro concentrado. Esta consideração pode levar a resultados inadequados no cálculo da largura de banda da superfície seletiva para suportes dielétricos espessos. A originalidade do artigo tem a ver com a implementação do Modelo de Circuito Equivalente junto com o Método das Matrizes em Cascata para determinar a resposta em frequência da superfície seletiva para qualquer espessura e configuração dielétrica. É importante ressaltar o baixo tempo computacional, obtendo adicionalmente uma acurácia aceitável com a abordagem proposta, em comparação com simulações implementadas no Ansys - HFSS.

Palavras-chaves: superfícies seletivas em frequência, modelo do circuito equivalente, largura de banda, método das matrizes em cascata.

Introducción

Las superficies selectivas en frecuencia (SSF) son dispositivos electromagnéticos que permiten, de forma selectiva, controlar la propagación de radiación electromagnética. Específicamente, son superficies que presentan comportamiento de filtro electromagnético en relación con la radiación incidente sobre ellas. Esta característica permite su uso extensivo en áreas como la industrial, militar y científica, y en un rango en el espectro electromagnético que se extiende desde las microondas hasta el infrarrojo (Balanis, 2011). Actualmente, las SSF se encuentran en aplicaciones asociadas a la protección contra interferencias electromagnéticas, blindaje electromagnético, absorbedores electromagnéticos, control de propagación de señales electromagnéticas tipo WLAN (*wireless local area network*), telefonía celular o televisión digital, entre otras (Wu, 1995; Munk, 2005; Sung, 2006; Celozzi, Lovat y Araneo, 2008; Balanis, 2011).

De acuerdo con la respuesta en frecuencia de la superficie selectiva, es decir, la forma específica de los coeficientes de transmisión y reflexión como función de la frecuencia, se puede clasificar su respuesta como pasa altos, pasa bajos, pasa banda y rechaza banda (Sung, 2006). En forma general, las SSF se construyen con elementos metálicos de diferentes formas dispuestos sobre superficies aislantes o con ranuras en superficies metálicas de formas diversas. La figura 1 muestra algunos de los elementos resonantes comúnmente utilizados en las aplicaciones mencionadas. Los elementos de las SSF forman un patrón periódico en una estructura de tipo bidimensional. Por lo tanto, al definir la menor parte de la estructura que, periódicamente repetida en el espacio forma la estructura periódica completa, es posible definir la "celda unitaria" de la SSF.

La importancia de la celda unitaria radica en que sirve de base para algunos métodos numéricos de análisis de SSF, como el método de los

elementos finitos (FEM) o el método de los momentos (MoM). La principal desventaja de estos métodos es el alto costo computacional involucrado (Celozzi *et al.*, 2008; Costa, Monorchio y Manara, 2012). Así fue como el Modelo de Circuito Equivalente (MCE) surgió como una alternativa de análisis hace aproximadamente 50 años (Mackay, Sanz-Izquierdo y Parker, 2014), pues su principal ventaja es su bajo costo computacional junto con una exactitud aceptable comparado con los métodos mencionados (Campos, Moreira y Trindade, 2009; Wang, Hashimoto, Shinohara y Matsumoto, 1999). Sin embargo, una de las principales limitaciones del MCE es la modelización de los efectos del material dieléctrico usado como soporte de los elementos de la superficie selectiva (Wu, 1995); específicamente, sus efectos en la frecuencia de resonancia y el ancho de banda.

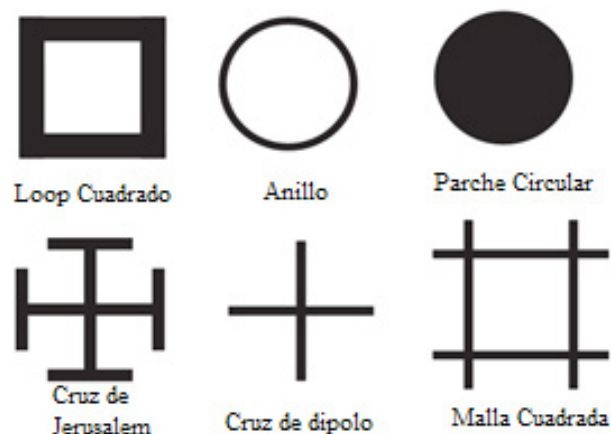


Figura 1. Elementos resonantes en SSF y denominaciones. En color negro, material conductor.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Trabajos recientes procuran resolver esta limitación usando modelos de permitividad efectiva del dieléctrico para la SSF tipo *loop* cuadrado (Rodríguez y Carpes, 2015; Ferreira, Calderinha, Cuinas y Fernandes, 2015; Rodríguez y Carpes, 2017). En el presente trabajo, el MCE y el MMC son empleados en conjunto para determinar el comportamiento de la frecuencia de resonancia y

el ancho de banda de la superficie selectiva tipo cruz de dipolo, para cualquier espesor del material dieléctrico. Es de resaltar el bajo tiempo computacional y la exactitud aceptable obtenida con la metodología desarrollada comparado con simulaciones implementadas en el *software* electromagnético basado en el método de elementos finitos Ansys-HFSS.

Metodología

El MCE, en el cual el dieléctrico es considerado como parámetro concentrado, y el MCE actuando en forma conjunta con el Método de Matrices en Cascada (MMC), en el que el dieléctrico es considerado como parámetro distribuido, son implementados computacionalmente para determinar la respuesta en frecuencia de la superficie selectiva cruz de dipolo, en incidencia normal, a través de un código de programa desarrollado en el *software* Matlab. Por otro lado, y con fines de comparación, es usado el módulo *Floquet Ports* del programa para análisis electromagnético Ansys-HFSS para la determinación de la respuesta en frecuencia de la superficie selectiva. A continuación, se realiza una descripción del MCE, el MMC y del módulo *Floquet Ports* del Ansys-HFSS.

Modelo de circuito equivalente

El MCE es uno de los métodos más simples y eficientes para el análisis de SSF, pues permite, a partir de una modelización básica, encontrar la respuesta en frecuencia de una superficie selectiva; en particular, sus coeficientes de transmisión y reflexión ante la incidencia de ondas transversales electromagnéticas (TEM). Es importante resaltar que su potencial es limitado, pues en su concepción es considerada una aproximación de tipo cuasi-estático (Costa *et al.*, 2012), para la cual, el periodo de repetición espacial de la superficie selectiva debe ser mucho menor que la longitud de onda a la frecuencia

de operación. Lo anterior permite especificar la impedancia de la superficie selectiva como un circuito de parámetros concentrados. Los resultados del MCE son aceptables teniendo en cuenta el bajo costo computacional involucrado, así como la exactitud aceptable de los resultados obtenidos comparados con *software* de simulación electromagnética *full-wave* (Campos *et al.*, 2009).

En Singh, Kumar, Meena y Agarwala (2012) son presentados algunos circuitos equivalentes para diferentes tipos de SSF, con una o varias resonancias. En la figura 2 se presenta la SSF del tipo cruz de dipolo, cuya respuesta en frecuencia corresponde a rechaza banda. Adicionalmente, se muestra el elemento resonante y su circuito equivalente usado para el análisis electromagnético a través de MCE.

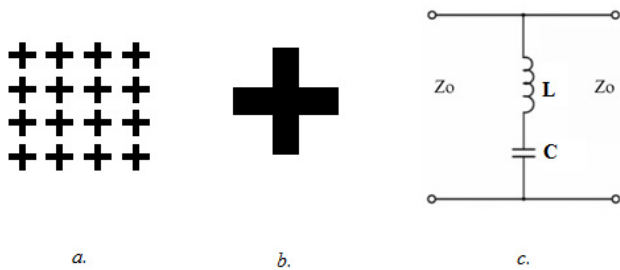


Figura 2. a. SSF tipo cruz de dipolo; b. elemento resonante cruz de dipolo; c. circuito equivalente para análisis electromagnético. Z_0 corresponde a la impedancia característica del espacio libre.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Para determinar los parámetros inductivo y capacitivo del circuito equivalente mostrado en la figura 2c, pueden usarse varias metodologías. En la primera, estos parámetros son extraídos de resultados de simulaciones electromagnéticas *full-wave* a partir del coeficiente de reflexión de la superficie periódica, tal como es referenciado en Costa *et al.* (2012). Usando procesos de escalamiento es posible obtener los valores de los parámetros inductivo y capacitivo para otras dimensiones de la superficie selectiva y, por tanto, para otras frecuencias de resonancia (Costa *et al.*,

2012). Otras metodologías proponen expresiones analíticas para la determinación de la impedancia o la admitancia de la superficie periódica (Luukkonen, Simovski y Granet, 2008), o también son usadas modificaciones de las ecuaciones propuestas por Marcuvitz (1951) para rejillas de tipo periódico.

Independientemente del tipo de procedimiento usado para la obtención de los parámetros inductivo y capacitivo de la superficie periódica, la magnitud de los coeficientes de transmisión $|T|_{dB}$ y reflexión $|R|_{dB}$, para el modelo presentado en la figura 2c, en decibelios, se especifican como:

$$|T|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{2}{\sqrt{4 + |Y_{SSF_n}|^2}} \quad (1)$$

$$|R|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{|Y_{SSF_n}|}{\sqrt{4 + |Y_{SSF_n}|^2}} \quad (2)$$

En las ecuaciones 1 y 2, Y_{SSF_n} corresponde a la admitancia normalizada de la superficie selectiva, definida como:

$$Y_{SSF_n} = \frac{Y_{SSF}}{Y_0} = \frac{-j}{(X - \frac{1}{B})} \quad (3)$$

En la ecuación 3, Y_0 corresponde a la admitancia característica del espacio libre, Y_{SSF} es la admitancia de la superficie selectiva, X y B corresponden a la admitancia inductiva y a la susceptancia capacitiva normalizadas de la superficie selectiva, respectivamente. En la condición resonante, $X = 1/B$, y por lo tanto, la impedancia normalizada de la superficie selectiva, Z_{SSF_n} , será igual a cero y la admitancia normalizada de la superficie selectiva $Y_{SSF_n} \rightarrow \infty$. Por lo tanto, la magnitud de los coeficientes de reflexión $|R|$ y transmisión $|T|$ serán respectivamente:

$$|R| = 1, |T| = 0 \quad (4)$$

La condición especificada en la ecuación 4 acontece a una única frecuencia, conocida como la frecuencia de resonancia de la superficie periódica, y en esta condición la onda electromagnética es totalmente reflejada por la superficie periódica y su transmisión es nula. A diferencia de la metodología empleada en Rodríguez y Carpes (2017), en la cual para la determinación de admitancia inductiva y susceptancia capacitiva normalizadas de la superficie selectiva fueron usadas las ecuaciones modificadas de Marcuvitz para la superficie selectiva tipo *loop* cuadrado. Se tiene en cuenta que, según Sung (2006), es posible expresar la admitancia inductiva y susceptancia capacitiva normalizadas de la superficie selectiva como:

$$X = \frac{\omega L}{Z_0} \quad (5)$$

$$B = \frac{\omega C \varepsilon_{eff}}{Y_0} \quad (6)$$

En la ecuación 6, ε_{eff} corresponde a la permitividad efectiva del dieléctrico. Como fue mencionado, una de las limitaciones del MCE es la modelización de los efectos del material dieléctrico usado como soporte de los elementos de las SSF. En Rodríguez y Carpes (2015) es propuesta una formulación para la determinación de la permitividad efectiva del dieléctrico de la superficie selectiva tipo *loop* cuadrado como función de los parámetros geométricos y los relacionados con el material dieléctrico como son el espesor, permitividad relativa y configuración. En la literatura especializada no se reporta una relación de este tipo para la superficie selectiva del tipo cruz de dipolo. Sin embargo, en Costa *et al.* (2012) es propuesta una formulación para considerar los efectos del dieléctrico en el comportamiento de la superficie selectiva con permitividad relativa ε_r en SSF, como se muestra a continuación:

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_{rh} + (1 - \varepsilon_{rh}) e^{\frac{-10Nt}{P}} \quad (7)$$

En la ecuación 7, el factor N depende la geometría específica del elemento resonante y de la relación, en una celda unitaria, de la superficie metálica con respecto a la superficie de la celda. El espesor de la capa dieléctrica es especificado por el parámetro t y p está asociado al periodo de repetición espacial de la celda unitaria. El valor asintótico de la permitividad efectiva, ε_{rh} , depende de la configuración del dieléctrico y es definido como ε_r para la configuración de doble cara y $(\varepsilon_r+1)/2$ para la configuración de cara simple. La figura 3 muestra estas dos configuraciones del dieléctrico en SSF.

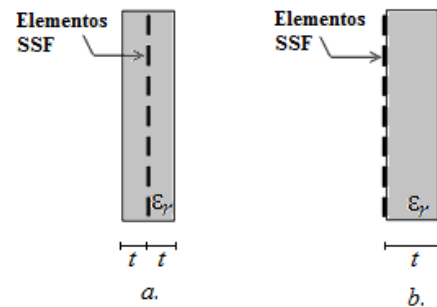


Figura 3. Configuraciones del dieléctrico en SSF. a. doble cara; b. cara simple.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Para SSF del tipo rechaza banda, el ancho de banda se define con un nivel de -10 dB (Celozzi *et al.*, 2008) y porcentualmente es definido como:

$$AB = \left(\frac{f_s - f_i}{f_r} \right) * 100\% \quad (8)$$

Donde f_s y f_i corresponden a las frecuencias superior e inferior asociadas a un nivel de -10 dB en el coeficiente de transmisión, respectivamente; y f_r corresponde a la frecuencia de resonancia de la superficie selectiva. Múltiples reflexiones en las fronteras del dieléctrico alteran el ancho de banda de la superficie selectiva (Callaghan, Parker y Langley, 1991) y, por lo tanto, esta modelización está fuera del alcance del MCE. El MCE es adecuado para espesores totales del dieléctrico inferiores a $0.1\lambda_m$, donde λ_m corresponde a la longitud de onda en el material dieléctrico. El soporte

aislante es considerado, en este caso, como parámetro concentrado.

Si el espesor total del dieléctrico es un múltiplo de $\lambda_m/2$, las múltiples reflexiones en las fronteras del material dieléctrico alteran de modo significativo el ancho de banda de las SSF (Sanz, 2012). Este efecto puede ser considerado usando el MCE en conjunto con el Método de las Matrices en Cascada (MMC). El soporte aislante es considerado, en este caso, como parámetro distribuido.

Método de las matrices en cascada (MMC)

El MMC es una técnica que permite encontrar la respuesta de un dispositivo formado por la conexión en cascada de estructuras individuales a través de la multiplicación, en forma matricial, de sus parámetros ABCD. La ecuación 9 muestra los componentes de la matriz ABCD para el soporte dieléctrico, de espesor t , el cual es considerado libre de pérdidas y en incidencia normal (Marcuvitz, 1951).

$$\begin{bmatrix} A_d & B_d \\ C_d & D_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(kt) & jZ_d \sin(kt) \\ j \frac{\sin(kt)}{Z_d} & \cos(kt) \end{bmatrix} \quad (9)$$

En la ecuación 9, el número de onda k y la impedancia característica del dieléctrico Z_d están definidas como:

$$k = (2\pi f \sqrt{\epsilon_r})/c \quad (10)$$

$$Z_d = Z_0/\sqrt{\epsilon_r} \quad (11)$$

En la ecuación 10, f corresponde a la frecuencia y c es la velocidad de la luz en el espacio libre. Por otro lado, la matriz ABCD de la SSF es determinada como:

$$\begin{bmatrix} A_{SSF} & B_{SSF} \\ C_{SSF} & D_{SSF} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Las ecuaciones 13a la 16 muestran los componentes de la matriz ABCD de la superficie selectiva (Marcuvitz, 1951):

$$A_{SSF} = 1 \quad (13)$$

$$B_{SSF} = 0 \quad (14)$$

$$C_{SSF} = Y_{SSF} \quad (15)$$

$$D_{SSF} = A_{SSF} = 1 \quad (16)$$

En la ecuación 15, Y_{SSF} corresponde a la admitancia de la superficie selectiva. Las matrices ABCD de la estructura completa para las configuraciones de dieléctrico de doble cara (dieléctrico-SSF-dieléctrico) y de cara simple (dieléctrico-SSF) son, respectivamente:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_d & B_d \\ C_d & D_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{SSF} & B_{SSF} \\ C_{SSF} & D_{SSF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_d & B_d \\ C_d & D_d \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{SSF} & B_{SSF} \\ C_{SSF} & D_{SSF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_d & B_d \\ C_d & D_d \end{bmatrix} \quad (18)$$

A partir de los parámetros ABCD obtenidos de acuerdo con las ecuaciones 17 y 18, es posible obtener los coeficientes de reflexión (R) y transmisión (T) de la estructura completa, como es mostrado a continuación (Marcuvitz, 1951):

$$R = \frac{A+(B/Z_0)-CZ_0-D}{A+(B/Z_0)+CZ_0+D} \quad (19)$$

$$T = \frac{2(AD-BC)}{A+(B/Z_0)+CZ_0+D} \quad (20)$$

En las ecuaciones 19 y 20, Z_0 corresponde a la impedancia característica del espacio libre.

Software de simulación electromagnética

Como fue mencionado, el módulo *Floquet Ports* del software de simulación electromagnética *full-wave* basado en el FEM Ansys-HFSS es usado para comparar los resultados obtenidos en el MCE, así como también en la implementación computacional conjunta del MCE y el MMC.

El módulo *Floquet Ports* del Ansys-HFSS permite simular el comportamiento de SSF mediante el

uso de una celda unitaria de la superficie y considerando la periodicidad espacial de la estructura mediante el uso de condiciones de frontera periódica. Para la solución del problema numérico, es decir, la determinación de la respuesta en frecuencia de los coeficientes de transmisión y reflexión de la estructura periódica, el programa usa un refinamiento iterativo, o sea, un incremento en el número de elementos de la malla en regiones en las que el error es alto, proceso que es conocido como análisis adaptativo. En cada uno de los pasos del refinamiento son determinados los parámetros S de la superficie selectiva y son comparados con su valor en el paso inmediatamente anterior, generando un cambio en los parámetros S y, por lo tanto, un cambio entre refinamientos de la malla, conocido como ΔS .

Como criterio para detener el proceso de refinamiento de la malla, el programa presenta dos opciones. La primera, asociada con un número específico de refinamientos de la malla y, por otro lado, un valor pre-definido en el ΔS . Como criterio para detener el proceso no fue usado un número específico de refinamientos, pues no es posible conocer previamente el valor del ΔS para el número de refinamientos especificado. De la misma forma, no fue usado un valor pre-definido en el ΔS dada su alta inestabilidad en el proceso de refinamiento, conclusión producto de los muchos casos de simulación considerados. Finalmente, el criterio usado fue una estabilización en el valor del ΔS (del orden de 0.002), el cual es alcanzado para un número de refinamientos de la malla del orden de 15. Para el método de enmallado, el programa escoge automáticamente entre dos opciones: enmallado clásico y enmallado TAU. Los criterios usados por el programa para escoger el método de enmallado son un balance entre los siguientes aspectos: fiabilidad, velocidad, tamaño y características del diseño.

Resultados

La figura 4 muestra la geometría de la superficie selectiva seleccionada, la cual se encuentra referenciada

en Costa *et al.* (2012). Es importante resaltar que, con fines de comparación, se tienen en cuenta para la respuesta en frecuencia en los tres métodos considerados, es decir, el ECM, ECM + MMC y el Ansys-HFSS, las mismas frecuencias máxima, mínima, así como el incremento en frecuencia Δf .

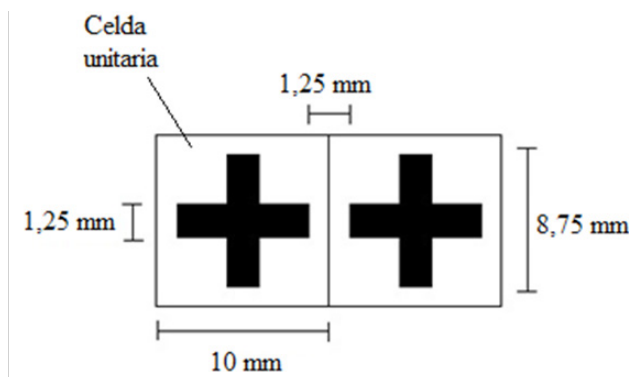


Figura 4. Parámetros geométricos de la superficie selectiva tipo cruz de dipolo.

Fuente: elaboración propia de los autores.

En Costa *et al.* (2012), para la condición *free-standing* (sin dieléctrico) la inductancia, capacitancia y factor N especificados para la superficie selectiva son 4.368 nH, 20 fF y 1.8, respectivamente. La admitancia inductiva y susceptancia capacitiva normalizadas de la superficie selectiva son determinadas usando los valores referenciados para la inductancia y capacitancia a través de las ecuaciones 5 y 6, respectivamente. La configuración especificada para el dieléctrico es de doble cara, la permitividad relativa del mismo es $\epsilon_r = 5$ y es considerado libre de pérdidas y, como fue mencionado, $N = 1.8$. Estas consideraciones, y adicionalmente las características geométricas presentadas en la figura 4, permiten determinar el valor de la permitividad efectiva según la ecuación 7. Respecto del material conductor componente de la superficie selectiva, se consideró igualmente libre de pérdidas. Para el Ansys-HFSS es implementada una celda unitaria, como se muestra en la figura 4, con condiciones de frontera periódica y son usados para el conjunto de simulaciones planteadas y en las condiciones especificadas en

el numeral 2.3, un número de elementos (tetraedros) entre $(40-50) \times 10^3$.

La figura 5 muestra la respuesta en frecuencia de la magnitud, en decibelios, del coeficiente de transmisión para un espesor de $t = 2.8$ mm para el MCE, como también para el MCE en conjunto con el MMC. Adicionalmente, son mostrados los resultados del Ansys-HFSS.

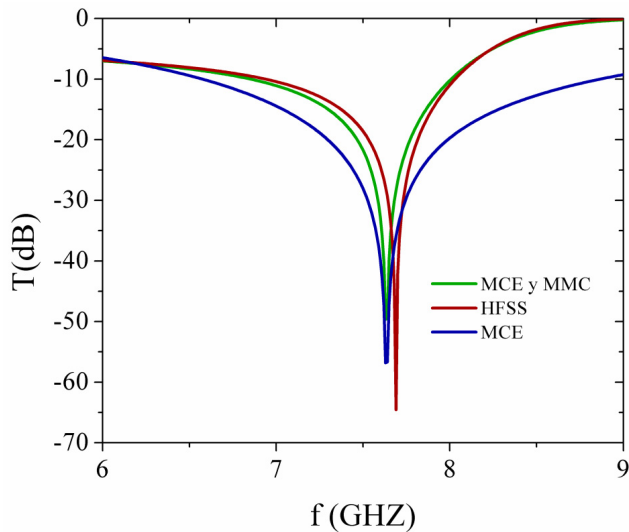


Figura 5. Magnitud del coeficiente de transmisión para el MCE, MCE + MMC y HFSS. Espesor de $t = 2.8$ mm y $\epsilon_r = 5$.

Fuente: elaboración propia de los autores.

De los resultados mostrados en la figura 5, se puede concluir que para los tres métodos considerados, es decir, el MCE, MCE + MMC y Ansys-HFSS, la frecuencia de resonancia no presenta diferencias significativas. Lo anterior debido a que esta no se ve afectada por las múltiples reflexiones en las fronteras del dieléctrico. Por otro lado, con respecto a la respuesta en frecuencia, y en particular el ancho de banda, son claras las diferencias entre el MCE (en la cual el dieléctrico es considerado como parámetro concentrado) y el MCE + MMC y el Ansys-HFSS (en el que el dieléctrico es considerado como parámetro distribuido). Es importante resaltar el ajuste aceptable en la respuesta en frecuencia entre el MCE + MMC y el Ansys-HFSS. Las tablas 1, 2 y 3 consolidan los resultados del coeficiente de transmisión

para espesores desde $t = 0$ hasta $t = 6.0$ mm para el MCE, el MCE en conjunto con el MMC y el Ansys-HFSS. Se muestran las frecuencias de resonancia (f_r) y las frecuencias tanto superior (f_s) como inferior (f_i), correspondientes a -10 dB. A partir de estos valores es determinado el ancho de banda (GHz) y el ancho de banda porcentual, según la ecuación 8. Además, es mostrado el tiempo computacional empleado por los métodos referenciados.

Tabla 1. Resultados MCE.

t (mm)	MCE					
	f_i (GHz)	f_r (GHz)	f_s (GHz)	AB (GHz)	AB (%)	Tiempo Comput. (s)
0	15.93	17.03	18.21	2.28	13.38	0.342
0.1	12.13	13.22	14.41	2.28	17.25	0.356
0.3	9.34	10.42	11.63	2.29	21.98	0.343
0.6	7.86	8.92	10.14	2.28	25.56	0.351
0.9	7.24	8.30	9.52	2.28	27.47	0.363
1.5	6.77	7.83	9.05	2.28	29.12	0.358
2.1	6.63	7.69	8.91	2.28	29.65	0.389
2.8	6.58	7.63	8.86	2.28	29.88	0.373
4.0	6.56	7.62	8.84	2.28	29.92	0.384
5.0	6.56	7.62	8.84	2.28	29.92	0.374
6.0	6.56	7.62	8.84	2.28	29.92	0.364

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tabla 2. Resultados MCE y MMC.

t (mm)	MCE y MMC					
	f_i (GHz)	f_r (GHz)	f_s (GHz)	AB (GHz)	AB (%)	Tiempo Comput. (s)
0	15.93	17.03	18.21	2.28	13.38	0.429
0.1	12.12	13.22	14.40	2.28	17.25	0.377
0.3	9.31	10.42	11.57	2.26	21.69	0.396
0.6	7.79	8.92	9.97	2.18	24.44	0.442
0.9	7.15	8.30	9.23	2.08	25.06	0.423
1.5	6.68	7.83	8.55	1.87	23.88	0.399
2.1	6.64	7.69	8.22	1.58	20.55	0.389
2.8	6.86	7.63	8.01	1.15	15.07	0.458
4.0	7.32	7.62	7.85	0.53	6.95	0.403
5.0	7.39	7.62	8.01	0.62	8.14	0.362
6.0	7.28	7.62	8.82	1.54	20.21	0.356

Fuente: elaboración propia de los autores.

La figura 6 muestra los resultados consolidados de las tablas 2 y 3, en cuanto a las frecuencias

de resonancia (f_r) y las frecuencias superior (f_s) e inferior (f_i) correspondientes a -10 dB, para el MCE en conjunto con el MMC así como para el Ansys-HFSS.

La figuras 7 y 8 muestran de forma gráfica los resultados consolidados de las tablas 1, 2 y 3 en cuanto al ancho de banda y el ancho de banda porcentual, para el MCE en conjunto con el MMC y para el Ansys-HFSS.

Tabla 3. Resultados Ansys HFSS.

t (mm)	HFSS.					Tiempo Comput. (min.)
	f_i (GHz)	f_r (GHz)	f_s (GHz)	AB (GHz)	AB (%)	
0	15.99	17.07	18.18	2.19	12.77	32
0.1	12.03	13.19	14.29	2.26	17.13	34
0.3	9.44	10.65	11.68	2.24	20.96	32
0.6	7.96	9.18	10.11	2.15	23.34	28
0.9	7.31	8.53	9.35	2.04	23.95	30
1.5	6.81	7.98	8.63	1.82	22.74	40
2.1	6.74	7.78	8.27	1.53	19.68	45
2.8	6.94	7.69	8.03	1.09	14.20	40
4.0	7.36	7.64	7.84	0.48	6.28	25
5.0	7.41	7.62	7.97	0.56	7.35	40
6.0	7.29	7.61	8.59	1.30	17.08	35

Fuente: elaboración propia de los autores.

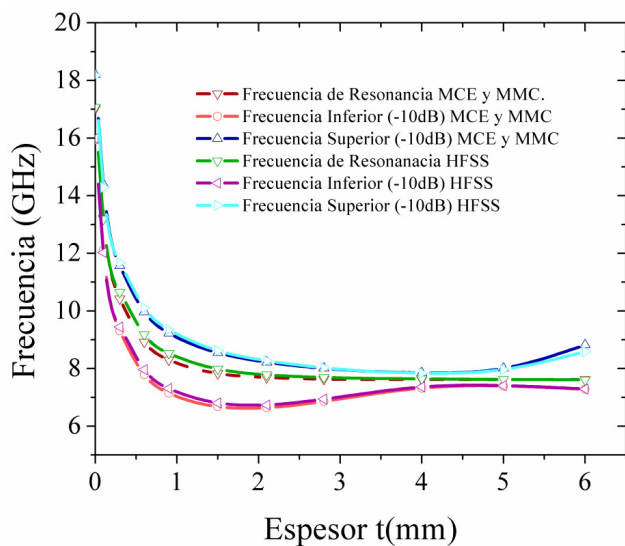


Figura 6. Frecuencia de resonancia (f_r) y las frecuencias superior (f_s) e inferior (f_i) correspondientes a -10 dB, para el MCE y MMC y para el HFSS.

Fuente: elaboración propia de los autores.

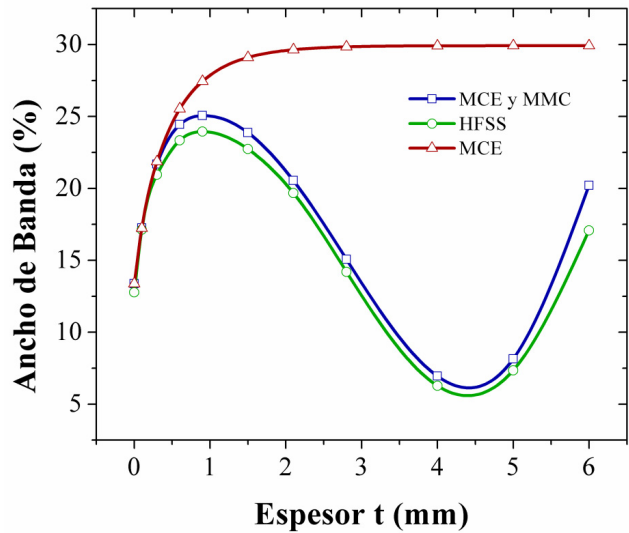


Figura 7. Ancho de banda porcentual para MCE, MCE y MMC, HFSS.

Fuente: elaboración propia de los autores.

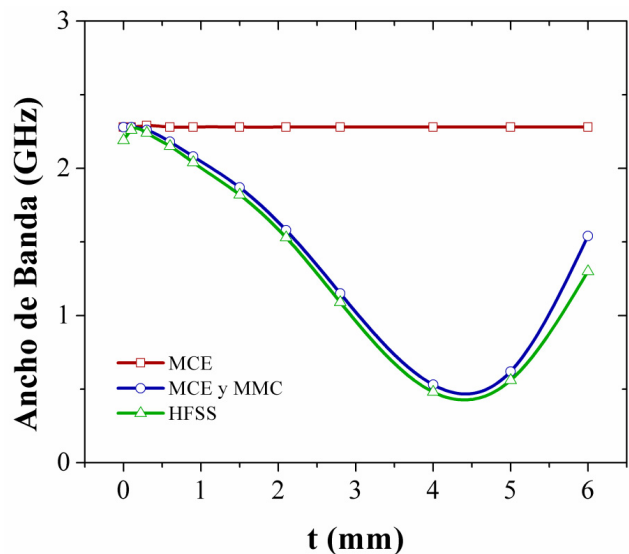


Figura 8. Ancho de banda para MCE, MCE + MMC y HFSS.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Los resultados consolidados, producto de la implementación del ECM, ECM + MMC y el Ansys-HFSS en el análisis de la superficie selectiva tipo cruz de dipolo mostrados en las figuras 7 y 8, permiten resaltar las limitaciones del MCE en la determinación de la respuesta en frecuencia de la superficie selectiva al considerar el dieléctrico

como parámetro concentrado independientemente de su espesor. Por otro lado, las figura 6, 7 y 8 muestran las ventajas de la implementación computacional conjunta del MCE y el MMC, traducidas en su bajo costo computacional y exactitud aceptable comparado con el Ansys-HFSS.

Conclusiones

En este artículo se presentan los resultados de la implementación del MCE en conjunto con el MMC para la determinación de la respuesta en frecuencia de SSF tipo cruz de dipolo, como función del espesor del soporte dieléctrico. La exactitud aceptable y el bajo tiempo computacional son los aspectos más relevantes para destacar. En este sentido, la diferencia porcentual en la determinación del ancho de banda entre el método implementado (MCE y MMC) y Ansys-HFSS, tomado como referencia, no es superior al 20%. De igual manera, se resalta el bajo tiempo computacional, especificado en las tablas 2 y 3, empleado por el método implementado (MCE y MMC), comparado con el Ansys-HFSS. Los dos aspectos considerados, es decir, exactitud aceptable y bajo tiempo computacional, no implican que el método de análisis basado en elementos finitos pueda ser sustituido por el método implementado. Es de resaltar que el MCE es considerada en su concepción como una aproximación de tipo cuasi-estático, por lo que su rango de análisis en frecuencia es limitado; adicionalmente, el Ansys-HFSS tiene disponibles muchas más variables de análisis electromagnético. Sin embargo, las características más relevantes del MCE en conjunto con el MMC, es decir, su exactitud aceptable y su bajo tiempo computacional, son una ventaja cuando se tienen un número importante de simulaciones a realizar; por ejemplo, cuando es usado en procesos de optimización (Yilmaz y Kuzuoglu, 2009; Rodríguez y Carpes, 2016).

Por otro lado, y en relación con los resultados de las figuras 7 y 8, es de resaltar los resultados del MCE, comparados con el MCE en conjunto con el MMC y los resultados del Ansys-HFSS. Como

se puede concluir, el MCE permite reproducir el comportamiento del ancho de banda solamente para espesores pequeños del material dieléctrico, es decir, cuando el dieléctrico se comporta como parámetro concentrado.

Los efectos de los parámetros geométricos de la superficie selectiva cruz de dipolo en el ancho de banda no son considerados en el análisis presentado. Sin embargo, la herramienta desarrollada permite realizar este tipo de estudios paramétricos para cualquier superficie selectiva con resonancia simple a partir de los valores de inductancia y capacitancia de la superficie y del modelo de permitividad efectiva del dieléctrico.

Actualmente trabajamos en la implementación del método incluyendo la variable angular y la polarización de la onda electromagnética para diferentes tipos de SSF, así como en procesos de síntesis de SSF, usando métodos de optimización y aplicado a SSF con dieléctricos gruesos.

Referencias

- Balanis, C. A. (2011). Frequency Selective Screens. En T. Cwik (ed.), *Modern Antenna Handbook* (pp. 779-828). Nueva York: Wiley.
- Callaghan, P., Parker, E. A. y Langley, R. J. (1991). Influence of supporting dielectric layers on the transmission properties of frequency selective surfaces. *IEE Proceedings H Microwaves, Antennas and Propagation IET*, 138(5), 448-454. DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-h-2.1991.0075>
- Campos, A. L. P. S., Moreira, R. C. O. y Trindade, J. I. (2009). A comparison between the equivalent circuit model and moment method to analyze FSS. *Proceedings of IEEE International Conference Microwave and Optoelectronics (IMOC)*. Belem, Brazil. DOI: <https://doi.org/10.1109/IMOC.2009.5427477>
- Celozzi, S., Lovat, G. y Araneo R. (2008). Frequency Selective Surfaces. *Electromagnetic Shielding* (pp. 219-240). Nueva York: Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470268483.ch10>

- Costa, F., Monorchio, A. y Manara, G. (2012). Efficient analysis of frequency-selective surfaces by a simple equivalent-circuit model. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 54(4), 35-48. DOI: <https://doi.org/10.1109/MAP.2012.6309153>
- Ferreira, D., Calderinha, R., Cuinas, I. y Fernandes, T. (2015). Square loop and slot frequency selective surfaces study for equivalent circuit model optimization. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(9), 3947-3955. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2444420>
- Luukkonen, O., Simovski, C. y Granet, G. (2008). Simple and accurate analytical model of planar grids and high-impedance surfaces comprising metal strips or patches. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56(6), 1624-1632. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAP.2008.923327>
- Marcuvitz, N. (1951). *Waveguide Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Mackay, A., Sanz-Izquierdo, B. y Parker, E. A. (2014). Evolution of frequency selective surfaces. *Forum of Electromagnetic Research Methods and Applications Technologies*, 2(8), 1-7.
- Munk, B. A. (2005). *General Overview, Frequency selective surfaces: Theory and Design*. Nueva York: Wiley.
- Rodríguez, M. y Carpes, Jr. W. (2015). Numerical model of the effective permittivity for square-loop frequency selective surfaces. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(3), 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2014.2368782>
- Rodríguez, M. y Carpes, Jr. W. (2016). Particle swarm optimization for square loop frequency selective surfaces considering a model of dielectric effective permittivity. *COMPEL. The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 35(5), 1643-1655. DOI: <https://doi.org/10.1108/COMPEL-10-2015-0362>
- Rodríguez, M. y Carpes, Jr. W. (2017). Bandwidth for the equivalent Circuit Model in Square-loop frequency selective surfaces. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65(11), 5932-5939. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2754418>
- Sanz, J. (2012). *Frequency Selective Surfaces for Terahertz applications* (tesis de posdoctorado). Escuela de Ingeniería, Universidad de Edinburgo, Edinburgo, Escocia.
- Singh, D., Kumar, A., Meena, S. y Agarwala, V. (2012). Analysis of frequency selective surfaces for radar absorbing materials. *Progress in Electromagnetic Research*, 38, 297-314. DOI: <https://doi.org/10.2528/PIERB11121601>
- Sung, H. H. (2006). *Frequency Selective wallpaper for mitigating indoor wireless interference* (tesis de posdoctorado). Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de Auckland, Auckland, Nueva Zelanda.
- Wang, Z. L., Hashimoto, K., Shinohara, N. y Matsumoto, H. (1999). Frequency-selective surface for microwave power transmission. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 4(10), 2039-2042. DOI: <https://doi.org/10.1109/22.795083>
- Wu, T. K. (1995) *Fundamentals of Periodic Structures. Frequency selective surface and grid array*. Nueva York: Wiley.
- Yilmaz, A. E. y Kuzuoglu, M. (2009). Design of the square loop frequency selective surfaces with particles swarm optimization via the equivalent circuit model. *Radioengineering*, 18(2), 95-102.





Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales

Improving the quality of energy with photovoltaic systems in rural zones

Melhorar a qualidade da energia com sistemas fotovoltaicos em zonas rurais

Maria Rodríguez-Gómez¹

Antonio Vázquez-Pérez²

Alcira Magdalena Vélez-Quiroz³

Wilber Manuel Saltos-Arauz⁴

Recibido: marzo de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: Rodríguez-Gómez, M., Vázquez-Pérez, A., Vélez-Quiroz, A.M., y Saltos- Arauz, W.M. (2018). Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales. *Revista Científica*, 33(3), 265-274. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13104>

Resumen

Se expone un análisis vinculado a una de las alternativas energéticas sostenibles que en la actualidad se está adoptando con éxito a nivel mundial con el fin de lograr el mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico, ahorrar recursos naturales, reducir las pérdidas y contribuir en la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Se muestran los resultados de un estudio relacionado con el uso de una innovación tecnológica para mejorar la calidad del servicio eléctrico en una comunidad aislada, mediante la introducción de tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de un grupo de 20 viviendas que fueron estudiadas. Se muestran los resultados del estudio de carga y consumo horario de energía de las viviendas y se despliega una metodología propia para el diseño de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de

las viviendas estudiadas; este tiene el potencial de evitar el consumo de energía de la red convencional y la posibilidad de mejorar la calidad del servicio eléctrico, al tiempo que se reducen el monto de la factura eléctrica y las pérdidas.

Palabras clave: calidad de la energía, desarrollo sostenible, demanda energética, electrificación rural, fuentes renovables.

Abstract

The paper presents an analysis linked to one of the sustainable energy alternatives that are currently being adopted with worldwide success, in order to improve the quality of electricity service, save natural resources, reduce losses and contribute to the reduction of CO₂ emissions into the atmosphere. The results of a study related to an application of technological innovation to improve the quality of the

1. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. taliangel270557@gmail.com

2. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. antoniov5506@gmail.com

3. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. maqvelez@utm.edu.ec

4. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. wsaltos@utm.edu.ec

electric service in an isolated community are presented, by the introduction of photovoltaic technology connected to the low voltage network of a group of 20 houses that were studied. The results of the study of charge and hourly energy consumption of dwellings are shown and an own methodology for the design of the photovoltaic technology connected to the low voltage grid of the houses studied is shown, with potential to avoid the energy consumption of The conventional network, with the possibility of improving the quality of the electric service, while reducing the amount of the electric bill and reducing losses.

Keywords: electrification rural, energy quality, energy demand, renewable sources, sustainable development.

Resumo

O trabalho apresenta uma análise ligada a uma das alternativas energéticas sustentáveis que atualmente estão sendo adotadas com sucesso em todo o mundo, para alcançar a melhoria da qualidade do serviço elétrico, economizar recursos naturais, reduzir perdas e contribuir para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera. Os resultados de um estudo relacionado a uma aplicação de inovação tecnológica para melhorar a qualidade do serviço elétrico em uma comunidade isolada são mostrados, através da introdução de tecnologia fotovoltaica conectada à rede de baixa tensão de um grupo de 20 casas que foram estudadas. Os resultados do estudo de carga e o consumo de energia por hora das casas são apresentados e uma metodologia é implantada para o projeto da tecnologia fotovoltaica conectada à rede de baixa tensão das casas estudadas, com o potencial de evitar o consumo de energia. a rede convencional, com a possibilidade de melhorar a qualidade do serviço elétrico, reduzindo a quantidade de energia elétrica e reduzindo as perdas.

Palavras-chaves: qualidade de energia, fontes renováveis, desenvolvimento sustentável, eletrificação rural, demanda de energia.

Introducción

La matriz energética del Ecuador opera, en la actualidad, cambios significativos en su estructura y

tiene proyectado transitar hacia una base sustentada en la generación con fuentes renovables de energía, aprovechando el potencial que cuenta el país. Aún existen provincias que se encuentran distantes de las centrales generadoras hidráulicas y que dependen en un nivel considerable de la generación basada en el consumo de petróleo, como sucede en la provincia de Manabí. En esta provincia existe un buen potencial solar y pequeños potenciales hidráulicos y eólicos que pueden ser utilizados para la electrificación en el modo de la generación distribuida en función de potenciar a la red convencional y mejorar los parámetros técnicos del sistema. Con ello se logra reducir las pérdidas y garantizar un servicio eléctrico de calidad, en el cual la extensión de las redes no se justifica ni técnica ni económicamente.

En el *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017* (Senplades, 2013) se expresa que se podrán implementar pequeños proyectos de generación de energía con fuentes renovables tales como: la fotovoltaica, la eólica, la biomasa y la hidroelectricidad en zonas cercanas a los consumidores; con esquemas de gestión participativa de los gobiernos autónomos descentralizados, las organizaciones comunitarias y el sector privado. Estos proyectos ponen a disposición energías renovables para usos productivos locales y sistemas interconectados, lo que permite generar empleo local, optimizar el uso de los recursos naturales, diversificar los territorios en la generación de electricidad y disminuir las pérdidas técnicas en la transmisión de electricidad.

El servicio eléctrico desempeña un papel importante en el ámbito social, económico y ambiental (Robledo, 2008). El acceso a servicios de electricidad de calidad representa un elemento clave en la lucha contra la pobreza, la marginación, la insalubridad, el analfabetismo y el bienestar de las personas. Por lo que resulta necesario, para promover la eficiencia en los procesos productivos y la eficacia en el servicio público, crear las condiciones para tener comunidades desarrolladas que eviten la migración en los entornos tradicionales.

Por otro lado, el suministro de electricidad y otros servicios de energía tienen una incidencia directa en las condiciones ambientales. Esto se evidencia en particular en las zonas aisladas, en las que reviste un efecto preventivo en la preservación del medio y los recursos naturales, especialmente para evitar la deforestación descontrolada.

La calidad de la energía resulta de una atención continua; en años recientes esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales por sí solas, constituyen una causa de la degradación en la calidad de la energía eléctrica (Campos, 2010).

Otros autores la definen cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes (UPME, 2011).

Otra definición plantea que las perturbaciones eléctricas y calidad de la energía, resulta un tema esencial que ha evolucionado en la última década a escala mundial. Está relacionada con las perturbaciones eléctricas que pueden afectar las condiciones de suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos. Por tal razón se requiere un tratamiento integral al problema desde diversos frentes, que comprende entre otros: investigación básica y aplicada; diseño; selección; operación; mantenimiento de equipos; normalización; regulación; programas de medición y evaluación; capacitación del personal; entre otros (Holguín y Gómez, 2010).

Cuatro parámetros pueden servir como referencia para clasificar los disturbios de acuerdo a su impacto en la calidad de la energía (Téllez, 2012): Variaciones de frecuencia; Variaciones de amplitud; Variaciones en la forma de onda de voltaje o corriente y; Desbalanceo entre las fases de un sistema polifásico causado principalmente por la operación de cargas monofásicas desiguales que afectan principalmente a máquinas rotatorias y circuitos rectificadores trifásicos.

Por otro lado se puede afirmar que la eficiencia energética consiste en lograr reducir las potencias y energías demandadas al sistema eléctrico, sin que se afecten las actividades normales que se realizan en edificios, industrias o cualquier proceso de la sociedad, pudiendo reducir los costes técnicos y económicos de la explotación (Serra, 2009).

La fuerte dependencia energética al petróleo tiene una incidencia en el acceso y calidad de la electricidad en los territorios rurales del Ecuador, especialmente en la provincia de Manabí, donde existen problemas de calidad de la energía que actualmente se suministra en las zonas rurales (Murrillo, 2005).

Durante el año 2015 la dirección de la institución trazo la estrategia de desarrollar un proyecto encaminado a mejorar la eficiencia y el ahorro energético en el campus universitario y que al propio tiempo pueda propiciar la disminución de la factura que se paga a la empresa eléctrica.

El proyecto se direccionó a demostrar técnicamente las potencialidades de una microrred construida mediante la introducción de una central fotovoltaica conectada a la red de baja tensión, en el edificio n.º 3 de profesores a tiempo completo de la UTM, en función de evitar el consumo de una parte de la energía de la red convencional, que pueda reducir el monto de la factura eléctrica, propiciando una mejoría en la calidad del servicio eléctrico y contribuir al ahorro de petróleo, así como la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Salto *et al*, 2017).

Con la política trazada hacia la concientización, la empresa eléctrica ha considerado lograr un impacto social relevante mediante la oferta de energía a las poblaciones que viven en áreas rurales apartadas de la red, mediante la extensión de la longitud de la línea eléctrica. Sin embargo, en algunos casos la extensión longitudinal de la red y el uso de diversas tecnologías destinadas a garantizar un servicio de calidad no son suficientes para lograr este último objetivo, generando molestias en los usuarios.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar (Salamanca-Ávila, 2017). Esta se encuentra presente en toda la provincia de Manabí.

El objetivo del trabajo consiste en evaluar la disponibilidad del potencial de las fuentes renovables de energía que permita mejorar la calidad del servicio eléctrico que hoy se oferta en Playa Prieta. La investigación implicó un proceso de análisis y comprensión de la realidad y los problemas vinculados con las posibilidades de aprovechamiento de los recursos energéticos autóctonos de la zona en función de la solución de sus necesidades y el mejoramiento de las condiciones de vida.

Se realizó un estudio de los requerimientos técnicos que intervienen en la calidad del servicio eléctrico y, mediante trabajo de campo, se definieron los problemas que puedan existir. De forma paralela, se evaluó la disponibilidad de las fuentes renovables para la solución de los problemas, específicamente el potencial solar.

Metodología

Se utilizó una investigación de tipo descriptiva, por cuanto se obtuvo información acerca de la calidad del servicio eléctrico en la zona estudiada. Se describió la realidad relacionada con sus necesidades y la demanda energética. De la situación inicial se pudo evaluar la posibilidad de resolver los problemas mediante el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, en especial la fotovoltaica, dada la disponibilidad de la radiación solar en la zona estudiada. Se evaluó la aplicación de tecnologías vinculadas a las fuentes renovables de energía y se procedió a verificar su impacto económico, técnico y ambiental.

Se aplicaron encuestas a los pobladores de la zona con el fin de precisar el nivel de aceptación que pueden tener las tecnologías vinculadas con las fuentes renovables, con el objetivo de sensibilizar al personal en función de asumir soluciones sostenibles al tema energético.

Se realizaron simulaciones técnicas con el software PVsyst para el diseño de las instalaciones fotovoltaicas que se proponen.

Resultados

La muestra fue calculada de una población total de 350 residentes de la comunidad Playa prieta, para lo cual se aplicó la ecuación 1, con el objetivo de obtener información confiable por parte de los usuarios respecto al servicio eléctrico, así como el criterio que poseen los mismos relacionado con las soluciones derivadas del uso de las fuentes renovables de energía como una vía segura de precautelar el ambiente.

$$n = \frac{(Z)^2 \cdot (P) \cdot (Q) \cdot (N)}{(Z)^2 \cdot (P) \cdot (Q) + (ne)^2} \quad (1)$$

Donde:

n → Tamaño de la muestra

Z → Nivel de confianza

e → Probabilidad de errores (0.1)

P → Probabilidad de ocurrencia (0.5)

Q → Probabilidad de no ocurrencia (0.5)

N → Población o universo

Los resultados de 76 encuestas a los pobladores de la comunidad rural fueron tabulados y cuantificados. Se buscó definir una aproximación respecto al juicio que poseen los usuarios relacionado con la calidad del servicio eléctrico, así como los criterios y aceptación respecto a una solución derivada del uso de las fuentes renovables de energía, especialmente de la tecnología fotovoltaica.

La comunidad Playa Prieta es un poblado rural del cantón Portoviejo, en ella se cuenta con el servicio eléctrico. La investigación permitió definir que, a pesar de los esfuerzos realizados por la empresa (que incluye la construcción de una subestación eléctrica), aún persisten dificultades que afectan la calidad del servicio, pues las

interrupciones se producen semanalmente con un promedio de dos horas y diariamente se padecen problemas de bajo voltaje durante el horario de máxima demanda.

Estudio de la carga

Como parte de la investigación, se realizó un estudio de la carga a un grupo representativo de 20 viviendas de la comunidad. Para ello se hizo un inventario de los equipos consumidores y el cálculo del consumo diario de la comunidad rural. En la tabla 1 se expone el resumen del estudio de carga realizado a la muestra seleccionada de la comunidad Playa Prieta.

Para el cálculo de la potencia instalada (W) se consideró el inventario de cada equipo por tipo con su potencia nominal unitaria y la cantidad de dispositivos consumidores de energía que existen y se aplicó la ecuación 2.

$$P = Ce * Pnu \quad (2)$$

Donde:

P→ Potencia (W)

Ce→ Cantidad de equipos (U)

Pnu→ Potencia nominal unitaria (W)

Para definir la estimación de energía a consumir en un día se consideró, además, el cálculo de horas de explotación diaria por cada equipamiento o

dispositivo consumidor de electricidad, utilizando la ecuación 3.

$$Ec = P \cdot \frac{h}{d} \quad (3)$$

Donde:

Ec→ Estimado de la energía consumida (Wh/día)

h→ Horas de trabajo (X horas)

d→ Día (un día)

El estudio de carga ha permitido calcular que, como promedio por vivienda, existen unos 20 equipos y dispositivos consumidores de energía instalados, con una potencia instalada promedio por vivienda de 5.9 kW y un consumo diario total promedio de 18 kWh; de los cuales unos 8 kWh se consumen durante las horas del día (correspondiente al 44%) y 10 kWh se consumen en horario nocturno (56%).

Estudio del potencial solar

Se estudió el potencial solar en el sitio de la instalación para valorar la instalación de un sistema fotovoltaico. En la figura 1 se muestra el mapa del potencial solar diario promedio anual en el cantón Portoviejo, de ahí se obtienen los datos para realizar los cálculos energéticos necesarios para estimar la instalación del sistema.

En la tabla 2 se muestra el cálculo de la radiación solar promedio por meses del año que incide en la comunidad Playa Prieta

Tabla 1. Resumen del estudio de carga a la comunidad.

Viviendas censadas	N.º equipos (U)	Potencia instalada (W)	Consumo diurno (Wh)	Consumo nocturno (Wh)	Consumo total (kWh)
Total	397	117268	150272	206561	356.83
Promedio por vivienda	20	5863.4	7513.6	10328.05	17.84

Fuente: elaboración propia de los autores.

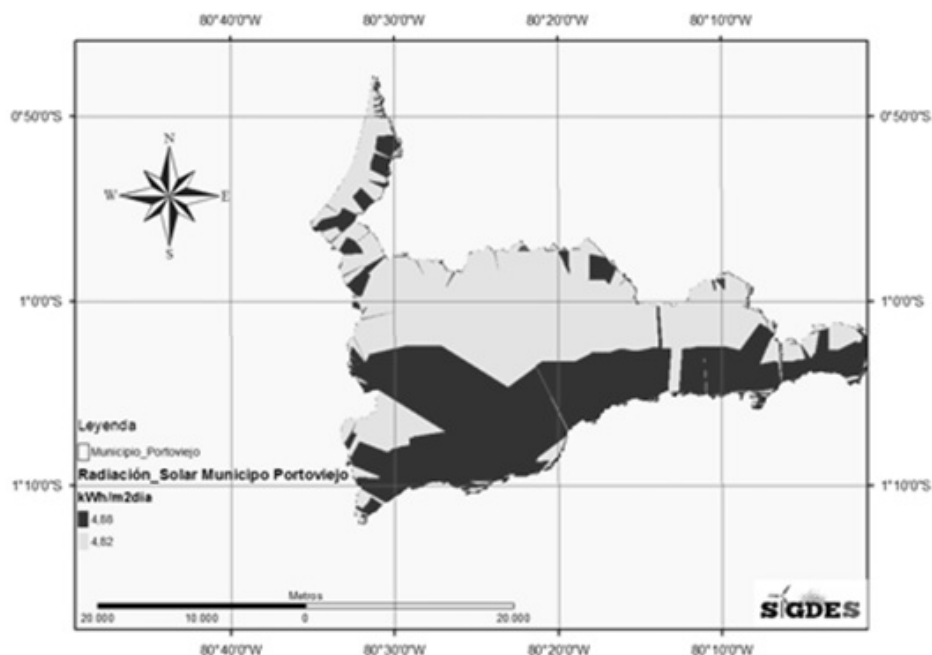


Figura 1. Mapa del potencial solar promedio anual en el municipio Portoviejo.

Fuente: Rodríguez (2015).

Tabla 2. Radiación solar promedio por meses del año.

Promedio anual	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic
4.845	5.399	5.275	5.856	5.769	5.231	4.086	3.802	4.096	4.420	4.458	4.607	5.149

Fuente: elaboración propia de los autores.

Cálculo de la productividad normalizada (P_n)

Otro de los datos que resulta necesario calcular es el relacionado con la productividad normalizada, el cual se ha realizado utilizando la ecuación 3.

$$P_n = P_{spa} \cdot PFV \cdot Acc \cdot \eta_t \cdot \eta_c \quad (3)$$

Donde:

- P_n → Productividad normalizada (kWh/kWp día)
- P_{spa} → Potencial solar promedio anual (kWh/m² día)
- PFV → Potencia fotovoltaica (kWp)

Acc → Área de captación solar de las células fotovoltaicas (6.4 m²)

η_t → Eficiencia técnica de los módulos (cuando se trata del silicio policristalino es igual al 13%; si es silicio monocristalino es igual al 16%)⁵.

Gracias al estudio, se determinó que con la generación fotovoltaica se puede cubrir un 40% del consumo total de energía en la comunidad rural de Playa Prieta, que corresponde con el gasto energético en horas del día, cuando la radiación solar se encuentra disponible. En el caso de las 20 viviendas estudiadas es equivalente a 150.3 kWh y, conociendo que la productividad normalizada

⁵. Sin embargo, en el Ecuador el precio de la energía fotovoltaica es todavía alto, aun cuando el gobierno ha decidido liberar de aranceles a estas tecnologías para su ingreso al país.

para la comunidad Playa Prieta puede ser igual a 4.316 kWh/kWp día, se puede calcular la potencia que se requiere instalar en la comunidad para cubrir el consumo de electricidad en horas diurnas y lograr mejorar la calidad del servicio. Para calcular la potencia fotovoltaica que se requiere instalar se utilizó la ecuación 4.

$$P_{fvNi} = \frac{EC_{ea}}{P_{na}} \quad (4)$$

Donde:

P_{fvNi} → Potencia fotovoltaica necesaria a instalar (kWp)

EC_{ea} → Estimado del consumo de electricidad en horario diurno (kWh/día)

P_{na} → Productividad normalizada (kWh/kWp día)

De esta manera se puede estimar que la potencia fotovoltaica que se requiere instalar para cubrir el 40% del gasto de energía de las viviendas que fueron estudiadas en la comunidad Playa Prieta es de 35 kWp.

Posible solución del problema y diseño de la central fotovoltaica

Está comprobado que a mayor distancia entre el centro de generación y el usuario se incrementan las pérdidas de energía. Esta situación implica que en determinados momentos la calidad del servicio no sea buena en la comunidad, a pesar de que previamente se ha instalado una subestación.

La posible solución puede radicar en la generación de energía en el modo distribuido mediante el aprovechamiento de las fuentes renovables. En este caso el potencial energético se encuentra con mayor disponibilidad en la zona de estudio, que corresponde al potencial solar disponible los 365 días del año, por lo que se propone la instalación de una central fotovoltaica que pueda cubrir el 40% de la energía que se consume en las viviendas que fueron estudiadas. Con ello se logra

la elevación de la calidad del servicio, al mismo tiempo que se contribuye al ahorro de petróleo y la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera por concepto de generación de energía eléctrica.

Según el estudio de la carga horaria realizado en la comunidad, y considerando la calidad del potencial solar incidente en la zona, la potencia a instalar es aproximadamente de 35 kWp de tecnología fotovoltaica conectada en el modo de la generación distribuida a la red de baja tensión. Se toma como sitio de instalación las superficies techadas o espacios libres próximos a las viviendas, lo que garantiza que el aporte de energía mejore la calidad del servicio eléctrico y el ahorro de electricidad producida con petróleo.

El diseño de las 20 pequeñas centrales fotovoltaicas que se proponen pueden promediar en la generación diaria por cada pequeña central unos 7.09 kWh, estará integrada técnicamente por un generador fotovoltaico con 10 módulos de silicio policristalino del modelo SF 180 P5-29, con una potencia nominal de 180 Wp. El generador estará dispuesto con una cadena en paralelo y 10 módulos en serie, una potencia en condiciones de funcionamiento de 1602 Wp (50°C), con un $V_{mpp} = 247V$, $I_{mpp} = 6.5^a$ y contará con un inversor con una potencia unitaria de 1.5 kW. Una tensión de funcionamiento de 125-400 V, 50/60 Hz que posea un grupo de protecciones y un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia.

La investigación ha permitido calcular que en un año las 20 viviendas estudiadas pueden consumir un total de 130.2 MWh, de los cuales 54.8 MWh serán en el horario diurno cuando se encuentra disponible la energía solar. Ello supone que si cada pequeña central fotovoltaica que ha sido diseñada puede generar unos 2.59 MWh al año. Entre las 20 instalaciones se estarían generando 51.8 MWh, lo que representa el 40% del consumo de electricidad total del año de la comunidad. En la figura 2 se observa un esquema del diseño de la central fotovoltaica conectada a la red eléctrica de baja tensión que se propone.

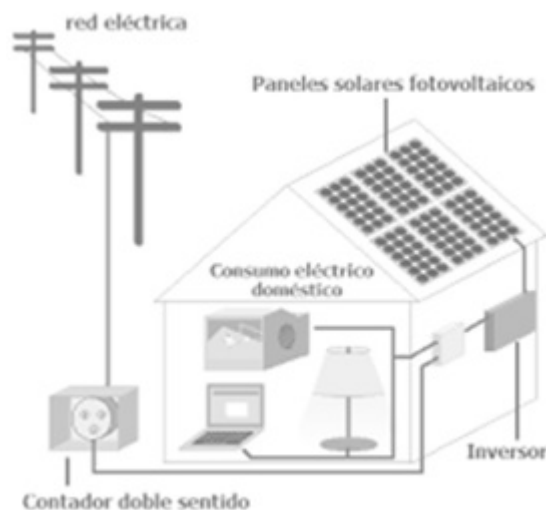


Figura 2. Central fotovoltaica conectada a la red de baja tensión.

Fuente: Sitiosolar 8(2013).

Impactos energético, económico, ambiental y social

Los estudios de impacto energético, económico, ambiental y social integran los trabajos que deben desarrollarse desde la etapa de planeación del proyecto, pues de sus resultados dependen los elementos que serán tenidos en cuenta para asignar el financiamiento requerido para la inversión.

Desde el punto de vista energético, se pudo determinar que la energía fotovoltaica puede cubrir una parte de la demanda de energía que consume la comunidad, logrando mejorar la calidad del servicio al disminuir las pérdidas técnicas y no técnicas del sistema centralizado convencional. Dada la reducción de petróleo para la generación de electricidad (lo que a su vez disminuye las emisiones de CO_2), se puede apreciar que uno de los logros de la propuesta es la toma de conciencia energética de los pobladores de la comunidad.

La cantidad de energía que puede generar una central fotovoltaica y su destino final se encuentran estrechamente vinculadas con la modalidad y variantes que pueden adoptarse para realizar el análisis de factibilidad económica de una inversión de esa naturaleza.

Con la instalación se reduce el monto de la factura eléctrica en un 40% para los usuarios de la comunidad rural, logrando un costo adecuadamente competitivo del kWh generado con generación fotovoltaica; además de disminuir la carga económica del Estado en función del subsidio del servicio eléctrico en la provincia.

Los principales efectos ambientales negativos asociados a la introducción de la tecnología fotovoltaica van a estar relacionados con la ocupación del espacio y la intrusión visual al paisaje que se causa con la introducción del equipamiento. La posibilidad de utilizar una parte de la superficie techada de las viviendas reduce de manera importante los efectos de la ocupación del área, pues corresponde a espacios que no se utilizan para otras funciones que no sean las propias de ese tipo de superficies. De modo que la intrusión visual es mínima al encontrarse instalada en la parte superior de las edificaciones.

Al ser instalada en la cubierta de la edificación puede reducir la transferencia de calor hacia el interior, beneficiando la climatización de los locales y con ello el ahorro de energía. Estas características la convierten en una valiosa solución tecnológica que reduce impactos ambientales.

Cuando se consideran las pérdidas asociadas al sistema de generación y suministro energético centralizado, se puede decir que, por cada kWh de energía fotovoltaica suministrada en el modo distribuido de conexión directa a la red de baja tensión de las viviendas, se puede ahorrar más de 1 kWh de electricidad generada con fósiles. Es por ello que puede tener un valor agregado en la reducción de impactos ambientales.

Por otro lado, al considerar el ahorro de petróleo por la generación fotovoltaica y la reducción de las pérdidas, se puede estimar que por cada MWh de electricidad fotovoltaica generada se puede evitar la emisión de 0.9 toneladas de CO_2 .

En las condiciones que se prevé, la generación fotovoltaica de las 20 centrales fotovoltaicas diseñadas en el modo de la generación distribuida para la comunidad, pueden estar contribuyendo a

disminuir las emisiones de 47 ton de CO₂ a la atmósfera anualmente. Esto durante 25 años, el cual es el ciclo de vida útil de la tecnología.

El impacto social de la puesta en práctica de la tecnología fotovoltaica próximo a los consumidores es positivo ya que estos reciben una mejor calidad de la energía, no lográndose esto a través de las formas tradicionales debido a las pérdidas que se producen en el proceso de transmisión y distribución. La tecnología fotovoltaica permite, como ninguna otra fuente, la relocalización del recurso energético muy próximo a los consumidores y este puede ser un elemento influyente para la adopción de nuevas posturas de consumo y responsabilidad en función de la preservación de los recursos, así como la adopción de patrones de utilización y gasto energético adecuados a las necesidades reales del trabajo y las personas.

La ubicación de una central fotovoltaica en la superficie techada de las viviendas puede propiciar un cambio importante del rol social de los pobladores de la comunidad, al pasar de ser simples consumidores de energía a poseer la capacidad de generar una parte de la electricidad que consumen mediante el aprovechamiento de un recurso energético limpio, autóctono e inagotable como lo es la energía solar.

La introducción de la tecnología puede convertir a la comunidad rural en pionera en la introducción de las centrales fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión en la provincia, lo que sin dudas contribuye a elevar la imagen ambiental de esta ante la sociedad manabita.

Conclusiones

La intensidad, calidad y disponibilidad del potencial solar durante todo el año en la comunidad estudiada permite la introducción de la tecnología fotovoltaica para generar energía eléctrica. Esta tiene un rendimiento que es competitivo con cualquier otra de las tecnologías y fuentes de generación existentes, lo que permitirá mejorar la calidad del servicio eléctrico, reducir las pérdidas,

disminuir el costo del kWh generado y servido, preservar recursos naturales y disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La instalación de las 20 centrales fotovoltaicas en el modo de la generación distribuida conectadas a la red de baja tensión de las viviendas estudiadas en la comunidad rural de Playa Prieta, permite una mayor relocalización del recurso energético al aprovechar una fuente autóctona, que puede influir en la formación de una nueva conciencia y postura social frente a un consumo más eficiente y el ahorro de energía.

Agradecimientos

Se agradece a la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí por el apoyo prestado a la realización del proyecto de investigación en el área rural.

Referencias

- Campos, A. (2010). *Calidad de la energía eléctrica*. Barranquilla, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>
- Holguín, M. y Gómez, D. (2010). *Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana*. Universidad Politécnica Salesiana. Sede en Guayaquil. Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Eléctrica. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>.
- Murillo, P. (2005). *Estudio sobre el servicio de energía eléctrica en el Ecuador y su impacto en los consumidores*. Quito, Ecuador: Tribuna Ecuatoriana de Consumidores y Usuarios. Recuperado de http://www.imaginar.org/docs/L_tribuna_electrico.pdf
- Robledo, M. (2008). *Calidad de la energía eléctrica: camino a la normalización*. En *Simposio de Metrología*. Santiago de Querétaro, México:

- Comisión Federal de Electricidad. Recuperado de <https://www.cenam.mx/simposio2008/sm>
- Rodríguez, G. (2015). *Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible (Sigdes)*. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.
- Salamanca-Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 30(3), 263-277. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Arauz, W. M. S., Cedeño, G. I., Chávez, S. S., Pérez, A. V. y Gámez, M. R. (2017). Microgrid With a 3.4kWp Photovoltaic System in the Universidad Técnica de Manabí. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 1(2), 11-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.21744/ijpse.v1i2.34>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades) (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*. Quito, Ecuador: Senplades.
- Recuperado de <http://documentos.senplades.gob.ec>
- Serra, J. (2009). *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica*. Circutor S.A. Recuperado de http://circutor.com/docs/GUIA_EEE_SP-LR.pdf
- Sitiosolar (2013). *El autoconsumo fotovoltaico inyectado a red. Componentes de los sistemas de autoconsumo fotovoltaico inyectado a red*. Disponible en: <http://www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/>
- Téllez, E. (2012). *Calidad de la energía. Programa de ahorro de energía*. Puebla, México: Automatización Productiva y Calidad S.A. Recuperado de <http://www.waterymex.org>
- Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME) (2011). *Calidad de la energía eléctrica*. Bogotá, Colombia: UPME, Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <http://www.andi.hn/wp-content/uploads/2014/11/3-Calidad-de-la-Energía>





Influencia de la soldabilidad de un acero inoxidable austenítico

Influence of the safety of a sustainable stainless steel

Influência da segurança de um aço inoxidável sustentável

Ernesto Camargo-Suarez¹

Leonardo Bohórquez-Espinosa²

Mónica Katherine Sánchez-Alarcón³

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: Camargo-Suarez, E., Bohórquez-Espinosa, L., y Sánchez-Alarcón, M.K. (2018). Influencia de la soldabilidad de un acero inoxidable austenítico. *Revista Científica*, 33(3), 275-286. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13762>

Resumen

La empresa Masa Stork, reconocida en el sector de hidrocarburos en Colombia, se vio en la necesidad de utilizar en un proyecto de generación de energía tubería de 2 pulgadas para transporte de aguas residuales en la refrigeración de moto-generadoras pero posteriormente se presentó un problema de fractura en la soldadura cuando estas se pusieron en funcionamiento. Cuando los aceros inoxidables son calentados en un rango de temperatura de 500°C a 700°C, el carbono que contiene el acero reacciona con el cromo y forma carburos de cromo que no tienen las mismas características del cromo aleado. Estas reacciones empobrecen el acero y hacen que disminuyan sus propiedades en la zona calentada. Esta investigación se enfocó en la determinación de la influencia de la temperatura en la Zona Afectada Termodinámicamente (ZAT) de una soldadura en acero inoxidable AISI 316, bajo proceso GTAW, soldado con electrodo ER316 al ser sometido a temperatura de precalentamiento antes de la soldadura

y su comportamiento ante tratamiento térmico. Se determinó que en el soldeo debe tenerse en cuenta una baja aportación de calor, distribuyendo el calor en forma equilibrada para que este sea repartido en la pieza de la forma más simétricamente posible. Además, se debe procurar que el nivel de embriamiento sea lo más bajo posible, así se consigue que la ZAT sea más estrecha.

Palabras clave: soldabilidad, aceros inoxidables austeníticos, precalentamiento.

Abstract

The Masa Stork Company recognized in the hydrocarbons sector in Colombia, in a power generation project saw the need to use 2-inch tubing to transport wastewater in the cooling of motor-generators, presenting the problem of fracture in the welding when they are put into operation. When stainless steels are heated in a temperature range of 500 ° C to 700 ° C, the carbon- containing the steel reacts with the chromium to form chromium carbides that

^{1.} Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Boyacá, Colombia. ernesto.camargo@uptc.edu.co

^{2.} Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Boyacá, Colombia. ernes.camar@uptc.edu.co

^{3.} Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Boyacá, Colombia. moni.sanchez@uptc.edu.co

do not have the same characteristics as the alloyed chromium. These reactions deplete the steel and reduce its properties in the heated zone. This investigation focused in the determination of the influence of the temperature in the ZAT of a welding in stainless steel AISI 316, under GTAW process, welded with ER316 electrode when subjected to pre-heating temperature before welding and its behavior before heat treatment; and determining that in the welding a low contribution of heat must be taken into account, distributing the heat in a balanced way so that it is distributed in the piece as symmetrically as possible. In addition, it must be ensured that the level of embrittlement is as low as possible, thus making the Zone Affected by heat more narrow.

Keywords: weldability, austenitic stainless steels, pre-heating.

Resumo

A empresa Masa Stork, reconhecida no setor de hidrocarbonetos na Colômbia, em um projeto de geração de energia, viu a necessidade de usar tubos de 2 polegadas para transportar águas residuais no resfriamento de motores-geradores, apresentando o problema de fratura em a soldagem quando eles são colocados em operação. Quando os aços inoxidáveis são aquecidos em uma faixa de temperatura de 500 ° C a 700 ° C, o carbono contido no aço reage com o cromo para formar carbonetos de cromo que não possuem as mesmas características da liga de cromo. Essas reações empobrecem o aço e fazem com que ele diminua suas propriedades na zona aquecida. Esta investigação focou-se na determinação da influência da temperatura no ZAT de uma soldagem em aço inoxidável AISI 316, sob processo GTAW, soldada com eletrodo ER316 quando submetida à temperatura de pré-aquecimento antes da soldagem e seu comportamento antes tratamento termico; e determinando que na soldagem uma baixa contribuição de calor deve ser levada em consideração, distribuindo o calor de forma balanceada para que el seja distribuído na peça da maneira mais simétrica possível. Além disso, deve-se assegurar que o nível de fragilização seja o mais baixo possível, tornando a Zona Afetada pelo calor mais estreita.

Palavras-chaves: soldabilidade, aços inoxidáveis austeníticos, pré-aquecimento.

Introducción

Los aceros inoxidables son aleaciones complejas en las que intervienen un buen número de elementos químicos. Para conseguir una aceptable soldabilidad, el metal aportado y zonas adyacentes deben presentar unas propiedades lo más semejantes posible a las del material base, tanto desde el punto de vista mecánico como de resistencia a la corrosión.

Ciertos elementos como Cr, Ti y Nb se combinan ávidamente con elementos intersticiales como C y N, situados entre los átomos metálicos de la malla cristalina. La combinación da lugar a precipitados de carburos, carbonitruros y nitruros, que se localizan preferentemente en los bordes de grano. La precipitación tiene lugar cuando el material inoxidable permanece durante cierto tiempo en la gama de temperatura comprendida entre 500°C y 700°C, a causa de la operación de soldadura.

En la industria de generación de energía para procesos de producción de hidrocarburos se operan aguas residuales desmineralizadas, las cuales se transportan por medio de tubería fabricada en acero inoxidable AISI 316, dado el manejo de partículas oxidantes. Cuando aplicamos soldadura a este tipo de materiales para la construcción de generadores que contienen este tipo de aguas, el acero es sometido a temperaturas variables que pueden generar la formación de carburos de cromo, los cuales afectan la microestructura del material provocando cambios que pueden ser catastróficos en las propiedades de la estructura al ser sometida a procesos de cargas cíclicas durante su vida útil.

El trabajo de investigación propuesto se enfocó en la determinación de la influencia de la temperatura en la zona afectada térmicamente (ZAT) de una soldadura en un acero inoxidable AISI 316, bajo proceso de soldadura GTAW, con un electrodo ER316L. El calor proveniente del proceso de pre y pos soldadura afecta la microestructura del material con la presencia de carburos de cromo, lo que limita la soldabilidad y provoca la disminución en

las propiedades de este material. Se buscó dar una posible solución a la disipación de estos carburos con la aplicación de tratamientos térmicos. Se realizó una investigación de tipo descriptivo, en el cual se calentaron tres muestras de acero inoxidable a tres diferentes rangos de temperatura y se procedió a soldarlas bajo parámetros exigidos por códigos aplicables.

En este trabajo se determinó y analizó el cambio microestructura de un acero inoxidable AISI 316 sometido a distintos rangos de precalentamiento en un proceso de soldadura GTAW, dando soluciones a la presencia de carburos de cromo por medio de transformación de fases.

Investigaciones previas a este estudio (Almeida y Villena, 2009; Briones *et al.*, 2014; Camacho, 2015) muestran una técnica para aplicar soldadura fuerte capilar de tubería de acero inoxidable austenítico AISI 304. Este tipo de soldadura se produce por calentamiento a temperatura superior a los 450°C y temperaturas inferiores al *solidus* del metal base. El acero inoxidable contiene cromo y sobre los 425°C el cromo se desplaza hacia el borde de grano (precipitación de carburos de cromo) y puede iniciar corrosión intergranular.

Como resultado de esta investigación, se aplican algunos métodos de calentamiento como: soplete, resistencia eléctrica, inducción, horno, inmersión e infrarrojo. Se obtuvieron buenos resultados de soldadura con la selección del material de aporte (Asme, 2015).

De la misma forma, en estudios realizados en el área, se ha investigado la microestructura y propiedades mecánicas de una unión disímil hecha de aceros inoxidables AL-6XN y 316L unidos con el proceso de arco de tungsteno con gas (GTAW) utilizando microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB), ensayo de tensión, análisis de energía dispersiva de rayos X (EDX) y mediciones de micro dureza. Se realizó un análisis del modo de fractura de las probetas de tensión

Los resultados de tensión muestran que los especímenes de la unión soldada presentan mayor resistencia a la tensión y que la fractura ocurre en

la ZAT del acero inoxidable 316L. El análisis microestructural muestra la presencia de pequeñas inclusiones de precipitados de titanio en la ZAT del acero 316L.

Como hipótesis se plantea que los calentamientos al material producen una nucleación de carburos que sean de cromo. Además, la aplicación de tratamientos térmicos disipa o disminuye la cantidad de carburos presentes en el material.

Metodología

El material base se seleccionó por solicitud expresa de la empresa Masa Stork, la cual facilitó el tipo de acero pues este proyecto nació a causa de los diferentes tipos de problemas que se estaban presentando en una planta de manejo de aguas residuales en dicha empresa. Esta trabajaba con un acero inoxidable AISI 316 y después de la soldadura presentaba fallas la tubería por la zona de unión.

Se seleccionaron muestras a partir de tubería de 2 pulgadas de diámetro y 1/8 pulgadas de espesor, guiándonos por la norma ASTM D1587 (ASTM, 2000). se procedió al muestreo captando 13 muestras patrón para el desarrollo de este proyecto, las cuales se dividirían en los siguientes grupos:

- Una muestra patrón (de control) sin ningún tipo de precalentamiento.
- Tres muestras patrón, las cuales se precalentaron a 400, 600 y 800°C.
- Tres muestras patrón, las cuales se precalentaron a 400, 600 y 800°C y a las que posteriormente se les aplicó un temple.
- Tres muestras patrón, las cuales se precalentaron a 400, 600 y 800°C y a las que posteriormente se les aplicó un temple-recocido.
- Tres muestras patrón, las cuales se precalentaron a 400, 600 y 800°C y a las que posteriormente se les aplicó un normalizado.

El principal objetivo del calentamiento es reducir la velocidad de enfriamiento durante la operación de soldadura, con el fin de: modificar la

microestructura y modificar el nivel y distribución de las tensiones residuales. Desde un punto de vista general, el calentamiento incluye la temperatura entre pasadas cuando se trata de soldadura en multipasadas, es decir, cuando el calor generado durante la soldadura no es suficiente para mantener la temperatura de precalentamiento entre pasadas sucesivas.

Las muestras fueron puestas en muflas de calentamiento, como se observa en la figura 1, calentando 12 probetas de las cuales 4 se calentaron a 400°C, otras 4 a 600°C y las últimas 4 a 800°C, para luego ser soldadas con las mismas condiciones de soldeo. Esto con el fin de observar la carburación que se presenta en cada rango de temperaturas que se sugieren en este proyecto.



Figura 1. Calentamiento de probetas en muflas.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Posterior al calentamiento, se realizó metalografía a tres probetas no soldadas que sí tuvieron un calentamiento de la siguiente manera: una probeta de 400°C, otra de 600°C y una final de 800°C, para verificar la carburación que se presentó en cada nivel de calentamiento. En seguida se ejecutó la soldadura bajo proceso TIG y se continuó con la aplicación de tres tipos de tratamientos térmicos (normalizado, temple y temple-normalizado), los cuales se llevaron a cabo para verificar cuál de estos producía menos carburación en el metal soldado.

Para verificar qué cambios físicos produjo los tratamientos térmicos y soldadura, se verificó por

medio de ensayos no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía industrial), así como ensayos destructivos, para medir la resistencia y velocidad de deformación de cada probeta.

Así mismo, las muestras soldadas fueron sometidas a ensayos destructivos para verificar la calidad de la soldadura y presencia de discontinuidades o defectos que puedan interferir en el desempeño del material en operación. Luego, se pasaron por metalografía para cuantificar y analizar la presencia de carburos de cromo en la microestructura y su influencia en las características físicas y mecánicas de la ZAT y la unión soldada. Posterior a la soldadura, las muestras fueron sometidas a tres tipos diferentes de tratamientos térmicos en los que se estudió el efecto de estos en la disipación de los carburos y mejora de las propiedades.

En el desarrollo de las etapas de esta investigación, como lo fueron los calentamientos antes del soldeo y la posterior aplicación de tratamientos térmicos, se inspeccionó la calidad del material por diferentes métodos como lo son ensayos no destructivos bajo los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía industrial. En estas pruebas no se observó defectología tanto interna como externa, por medio de ensayos destructivos tales como metalografía, ensayos de compresión para obtener las características y propiedades de este material y de las soldaduras.

Resultados

Con el fin de verificar las propiedades que presenta la muestra patrón (de control), se enmarca a continuación la gráfica de desplazamiento que presenta la probeta con relación a una fuerza constante de 500 (KN). De igual forma, este se trabajó con una velocidad de ensayo de 300 N/s, para que se presente un offset límite elástico (deformación plástica) del 0.20%.

De la gráfica anterior se puede decir que este material es dúctil ya que tiene una gran

deformación antes de alcanzar el punto de rotura. Es de anotar que la fractura de esta pieza se produce por el metal base.

De igual manera, se realizó comparación de resultados para los diferentes ensayos destructivos que se muestran en tabla 1, que se explican a través de las figuras 3, 4, 5 y 6.

Se puede evidenciar que la probeta que presenta mayor elasticidad es a la que se le hizo un tratamiento término por normalizado a 600°C, presentando con un valor de 3644.8 MPa.

En este caso la probeta con mayor deformación es a la que se le realizó temple con recocido a 600°C como tratamiento térmico.

Para este ensayo la probeta con mayor fuerza es a la que se le aplicó tratamiento térmico de temple a 800°C, característico del proceso térmico, el cual se fortalece y endurece.

En la figura 6 se puede observar que la probeta con mayor punto de rotura es a la que se le realizó temple-recocido a 800°C, comparada con la probeta patrón.

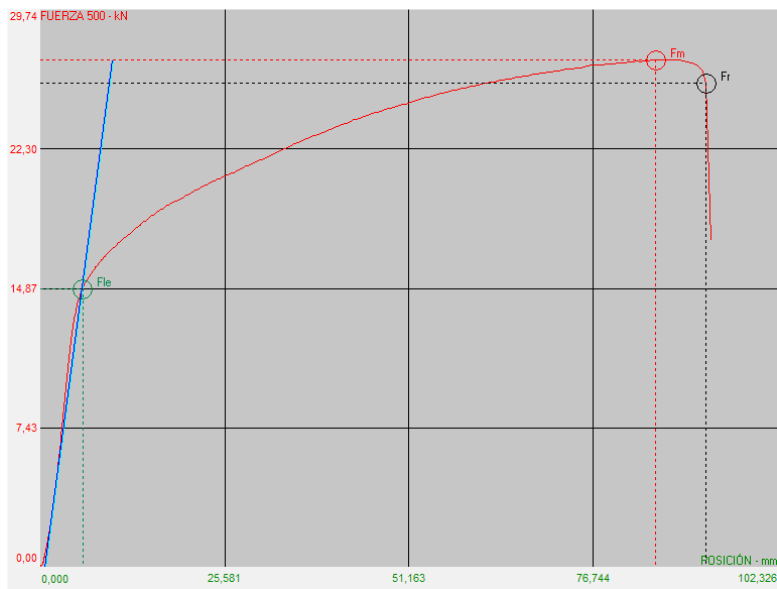


Figura 2. Gráfica fuerza vs. desplazamiento para la muestra patrón.

Fuente: elaboración propia de los autores.

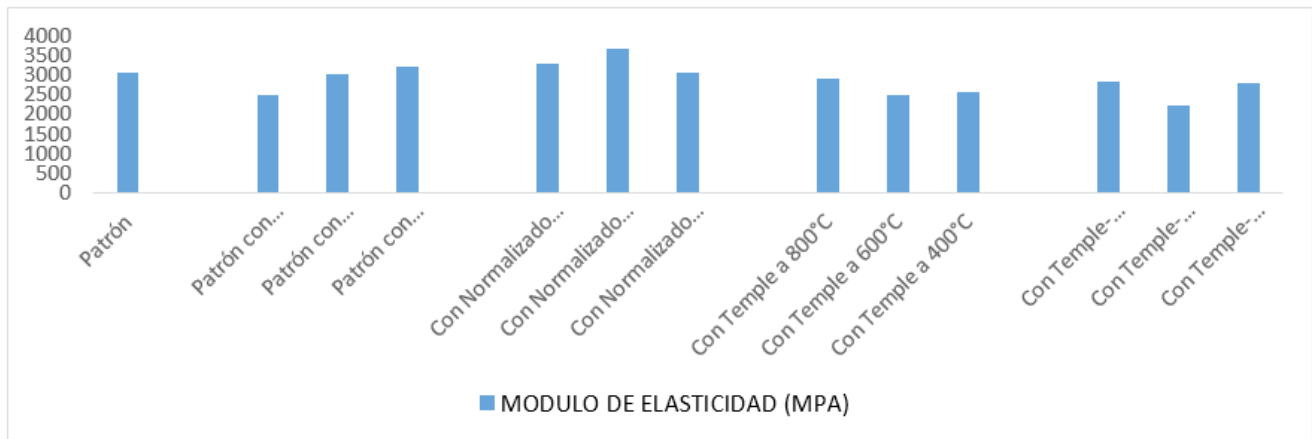


Figura 3. Comparación de resultados del módulo de elasticidad.

Fuente: elaboración propia de los autores.

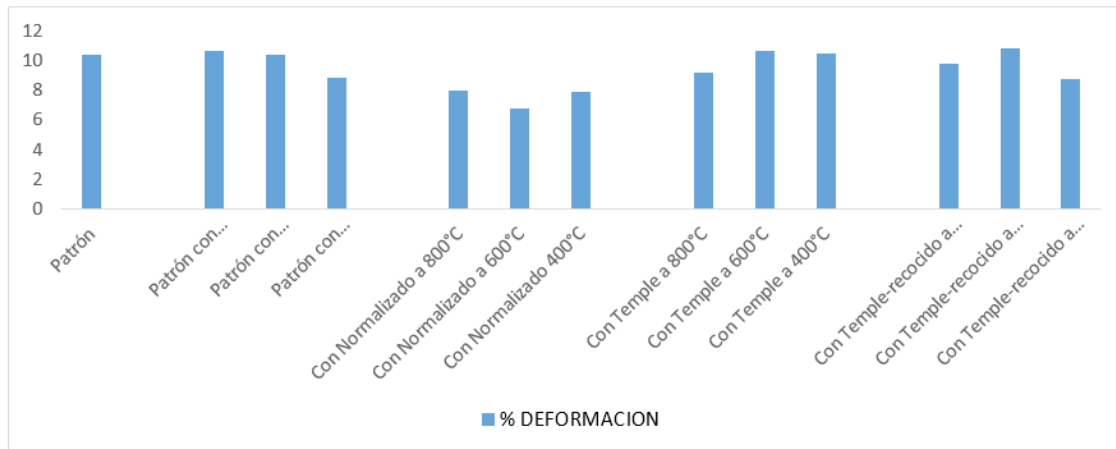


Figura 3. Comparación de resultados del módulo de elasticidad.
Fuente: elaboración propia de los autores.

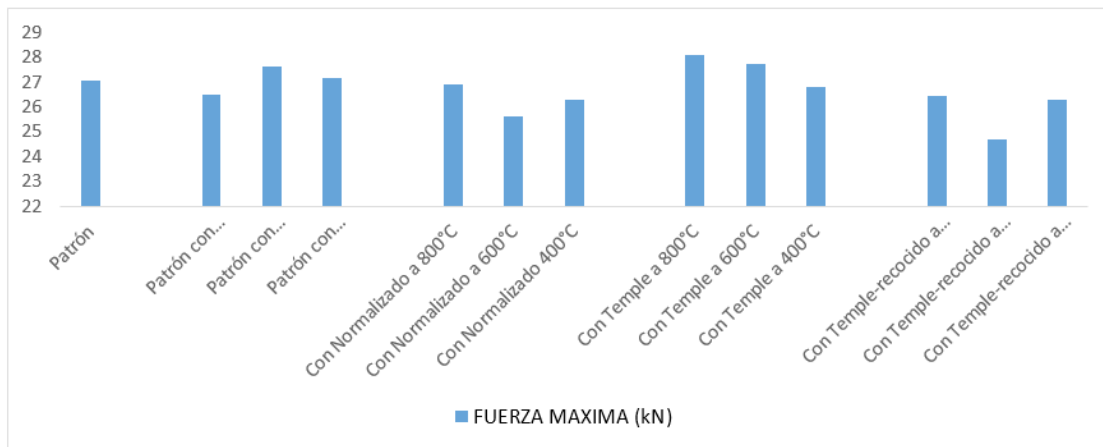


Figura 5. Comparación de resultados de fuerza máxima.
Fuente: elaboración propia de los autores.

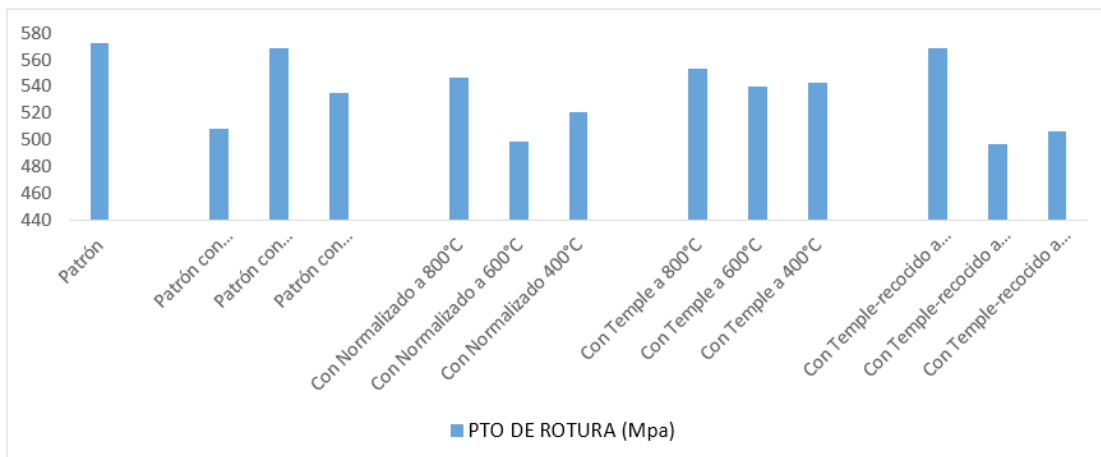


Figura 6. Comparación de resultados de punto de rotura.
Fuente: elaboración propia de los autores.

Tabla 1. Resultados ensayos de compresión.

Probetas	Módulo de elasticidad (MPa)	% Deformación	Fuerza máxima (kN)	Punto de rotura (Mpa)
Patrón	3071.973	10.41	27.032	572.104
Patrón con precalentamiento a 800°C	2498.556	10.67	26.485	508.258
Patrón con precalentamiento 600°C	3007.379	10.36	27.616	568.238
Patrón con precalentamiento a 400°C	3193.225	8.8	27.166	535.195
Con normalizado a 800°C	3270.751	7.93	26.872	546.849
Con normalizado a 600°C	3644.818	6.74	25.607	499.153
Con normalizado 400°C	3063.182	7.88	26.296	520.818
Con temple a 800°C	2888.59	9.17	28.096	553.501
Con temple a 600°C	2482.93	10.6	27.713	540.216
Con temple a 400°C	2566.654	10.49	26.813	542.669
Con temple-recocido a 800°C	2831.692	9.81	26.422	568.955
Con temple-recocido a 600°C	2232.706	10.83	24.66	496.387
Con temple-recocido a 400°C	2783.544	8.77	26.254	506.444

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tabla 2. Resultados pruebas de dureza.

Probetas	Dureza rockwell C				Metal base
	Material de aporte	Inicio ZAT	Centro ZAT	Final ZAT	
Patrón	32	23.5	24.5	25	32
Patrón con precalentamiento a 800°C	22	16	22	26	35
Patrón con precalentamiento 600°C	35	15	26.5	23	32
Patrón con precalentamiento a 400°C	23	31	36	27	24
Con normalizado a 800°C	28	22	25	23.5	36
Con normalizado a 600°C	27.5	16	16.5	31.5	35
Con normalizado 400°C	17	24	18	28	39.5
Con temple a 800°C	50.5	18	22	27.5	40
Con temple a 600°C	47	37,5	18	29	51.5
Con temple a 400°C	40	12,5	18.5	31.5	38
Con temple-recocido a 800°C	38	34	32	37	33
Con temple-recocido a 600°C	27	24	28.5	26	24.5
Con temple-recocido a 400°C	28	20	38.5	36	32

Fuente: elaboración propia de los autores.

Al comparar los valores obtenidos en este ensayo para las diferentes probetas, con respecto a los de la probeta patrón sin ningún tipo de calentamiento ni tratamiento térmico, se puede concluir

que la probeta que fue normalizada posterior a un calentamiento de 600°C posee muy buenas propiedades, tanto en tensión de rotura y módulo elástico, pero esta tiene muy bajas características

en cuanto a % deformación límite elástico y alargamiento fuerza máxima. Lo anterior quiere decir que esta es muy frágil, viéndose claramente estos resultados en la fractura que sufrió la probeta por la soldadura.

En valores obtenidos para probetas calentadas a 400°C, tanto sin tratamiento como en normalizado, el temple y el temple-recocido muestran valores muy homogéneos con respecto al patrón. Pero, al observar las micrografías vemos carburación abundante en todas las zonas críticas, dándonos así una defectología que puede afectar el material ya que se empobrece el cromo de este, lo que podría dar paso a problemas como fragilización por corrosión.

Los perfiles de dureza para estas probetas arrojaron resultados acordes al tipo de material y a los tratamientos térmicos que se aplicaron a estos, encontrando de esta manera unas durezas similares a la del acero sin ningún tipo de calentamiento ni tratamiento térmico en las probetas normalizadas y en las que fueran calentadas. Del mismo modo, se ve un aumento gradual en las que fueron templadas y, finalmente, se observa disminución en durezas con respecto a las templadas en el recocido dando un perfil de durezas acorde a los tratamientos aplicados.

Para finalizar, se realizaron pruebas y análisis de metalografías para cada probeta, obteniendo los siguientes resultados, como se aprecia en las figuras 8 a 11.

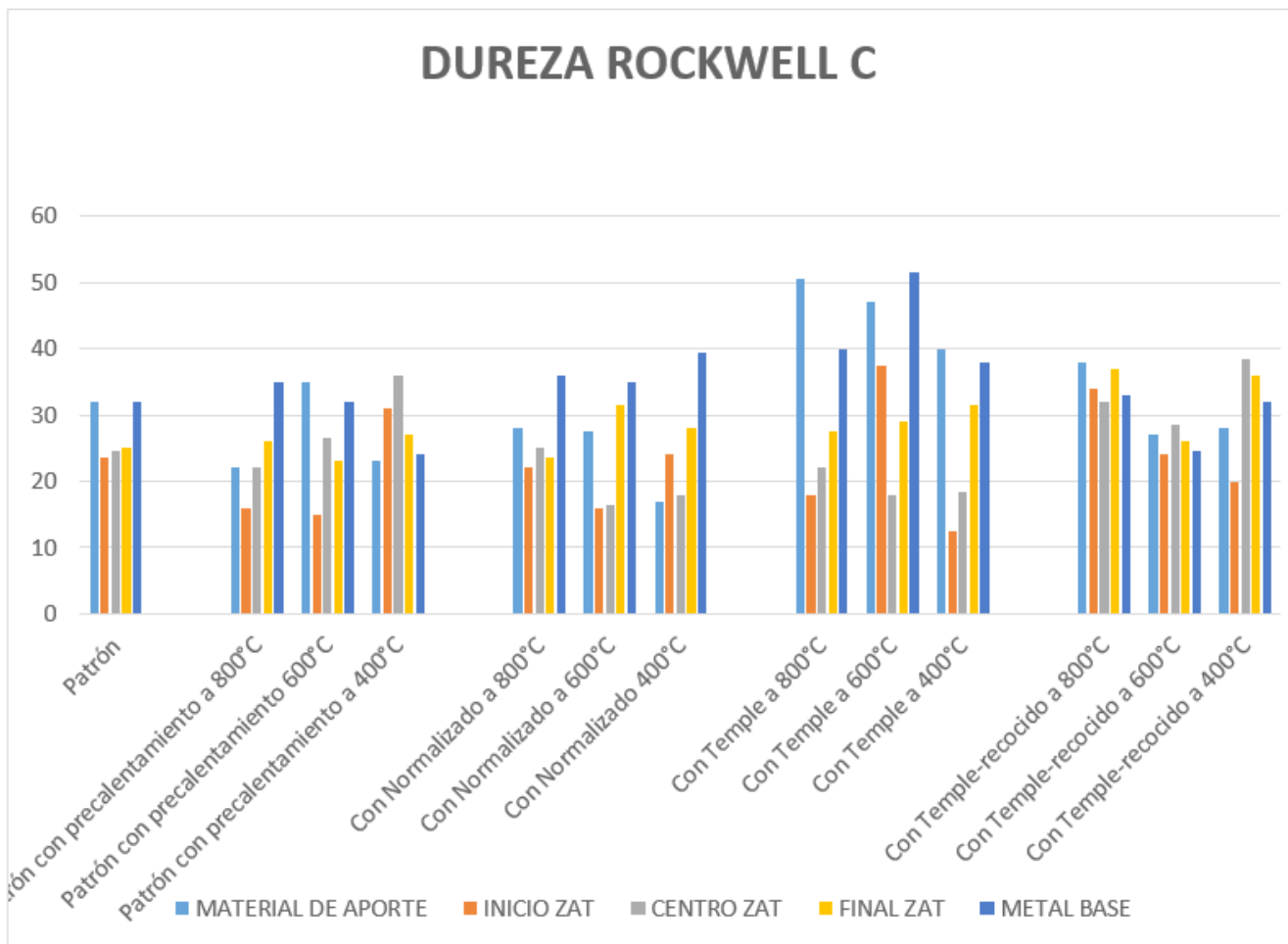


Figura 7. Comparación de dureza.
Fuente: elaboración propia de los autores.

PROBETAS	MICROGRAFIAS		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Temple-recocido a 800°C	 Gran presencia de carburos de cromo globulares, presencia de fase sigma homogénea	 Precipitación de carburos de cromo globulares y poca fase sigma	 Homogenización completa de carburos de cromo en la matriz
Con Temple-recocido a 600°C	 Gran precipitación de carburos de cromo, presencia de fase sigma y líneas de tensión horizontal	 Homogenización de carburos de cromo, fase sigma sobre la matriz	 Líneas de tensión horizontal
Con Temple-recocido a 400°C	 Presencia de bastante carburación en límite de grano de austenita	 Presencia de carburos de cromo globulares y muy poca de Cr ₂₃ C ₆ se inicia una homogenización pero no se completa	 Presencia de carburos de cromo globulares en límite de grano de austenita, homogenización de la estructura

Figura 8. Analisis de micrografias.
Fuente: elaboración propia de los autores.

PROBETAS	MICROGRAFIAS a 500X		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Normalizado a 800°C	 Precipitación de carburos de cromo en límites de grano, líneas de tensión horizontal.	 Precipitación de carburos de cromo en matriz austenítica	 Matriz austenítica con leve precipitación de carburos de cromo, presencia de líneas de tensión horizontal.
Con Normalizado a 600°C	 Precipitación de carburos de cromo globulares dispersos homogéneamente en la matriz, transgranular e intergranularmente	 Mayor precipitación de carburos de cromo globulares en la zona más próxima al material de aporte que al metal base	 Matriz austenítica con mínima precipitación de carburos de cromo
Con Normalizado 400°C	 Precipitación de carburos de cromo globular en límites de grano austenítico	 Precipitación de carburos de cromo globular en límites de grano austenítico	 Poca precipitación de carburos de cromo globular

Figura 9. Continuación analisis de micrografias.
Fuente: elaboración propia de los autores.

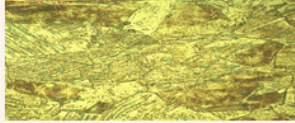
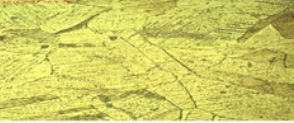
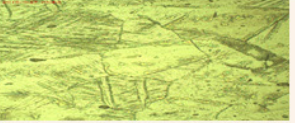

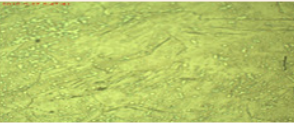
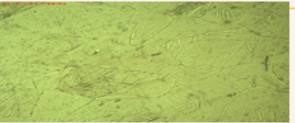
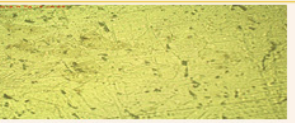
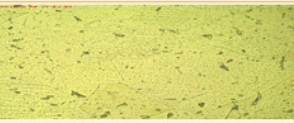

PROBETAS	MICROGRAFIAS		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Temple a 800°C	 <p>Bastante precipitación de Cr₂₃C₆ intergranular vistoso en toda la matriz con presencia de fase sigma.</p>	 <p>Menor presencia de Cr₂₃C₆, se revelan los límites de grano de la matriz.</p>	 <p>Presencia de fase sigma.</p>
Con Temple a 600°C	 <p>Leve precipitación de Cr₂₃C₆ y poca fase sigma.</p>	 <p>Bastante precipitación de fase sigma sobre matriz austenítica y poca presencia de carburos de cromo.</p>	 <p>Bastante precipitación de fase sigma sobre matriz austenítica y poca presencia de carburos de cromo.</p>
Con Temple a 400°C	 <p>Gran precipitación de carburos de cromo globulares de forma homogénea sobre la matriz, presencia de fase sigma en límites de grano.</p>	 <p>Gran precipitación de carburos de cromo globulares de forma homogénea sobre la matriz, presencia de fase sigma en límites de grano.</p>	 <p>Gran precipitación de carburos de cromo globulares de forma homogénea sobre la matriz, presencia de fase sigma en límites de grano.</p>

Figura 10. Continuación análisis de micrografías.
Fuente: elaboración propia de los autores.

PROBETAS	MICROGRAFIAS		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Temple-recocido a 800°C	 <p>Gran presencia de carburos de cromo globulares, presencia de fase sigma homogénea</p>	 <p>Precipitación de carburos de cromo globulares y poca fase sigma</p>	 <p>Homogenización completa de carburos de cromo en la matriz</p>
Con Temple-recocido a 600°C	 <p>Gran precipitación de carburos de cromo, presencia de fase sigma y líneas de tensión horizontal</p>	 <p>Homogenización de carburos de cromo, fase sigma sobre la matriz</p>	 <p>Líneas de tensión horizontal</p>
Con Temple-recocido a 400°C	 <p>Presencia de bastante carburación en límite de grano de austenita</p>	 <p>Presencia de carburos de cromo globulares y muy poca de Cr₂₃C₆ se inicia una homogenización pero no se completa</p>	 <p>Presencia de carburos de cromo globulares en límite de grano de austenita, homogenización de la estructura</p>

Figura 11. Continuación análisis de micrografías.
Fuente: elaboración propia de los autores.

Con la aplicación de los distintos tratamientos térmicos (temple, normalizado y temple-recocido) a diferentes temperaturas de precalentamiento (400°C, 600°C y 800°C), se puede decir que las mejores propiedades mecánicas en cuanto a módulo de elasticidad y fuerza máxima de carga se da en el acero AISI 316 soldado con posterior tratamiento térmico de normalizado y precalentado a 600°C. Lo anterior fue confirmado con el punto de rotura que es el más bajo, lo que demuestra una máxima resistencia mecánica entre la carga máxima y punto de rotura. Sin embargo, se observó que esta probeta falló por la soldadura, obteniéndose un mejoramiento de las propiedades en el metal base y en la ZAT, pero no en la soldadura por formación de carburos de cromo globulares dispersos homogéneamente en la matriz, transgranular e intergranularmente.

Conclusiones

Durante la aplicación de la soldadura se observó que si esta permanece durante un tiempo prolongado en un intervalo de temperaturas comprendidas entre 500 y 800°C hay presencia de precipitación de carburos que influyen en el comportamiento de los componentes en servicio; además, esto se da por la formación de fases intermetálico debido a elementos como cromo y titanio.

Al aplicar tratamientos térmicos posteriores a la soldadura se presenta formación de fase sigma, lo que disminuye la resistencia a la corrosión en la soldadura y en la ZAT, principalmente. Esto incrementa considerablemente la fragilidad por tratarse de una fase bastante dura y como consecuencia también de la ductilidad del material.

Con base en la forma de aplicación de soldadura, para el acero Austenítico AISI 316 estudiado en esta investigación, se recomienda realizar el soldeo teniendo en cuenta una baja aportación de calor, de modo que se distribuya el calor en forma equilibrada para que este sea repartido en la pieza de la forma más simétricamente posible. Además, se debe procurar que el nivel de embridamiento

(nivel de nucleación en límites de grano, los cuales producen tensiones residuales) sea lo más bajo posible, así se consigue que la ZAT sea más estrecha.

Se recomienda, con respecto a este estudio, hacer calentamiento para este tipo de acero a temperaturas menores a 400° C ya que por encima de esta temperatura se precipitan carburos. De la misma manera se puede decir que es factible un estudio para la soldabilidad de este acero con calentamientos antes de la aplicación del soldeo en un rango de 200°C a 400°C.

Referencias

- Almeida Maldonado, S. L. y Villena Carrasco, C. L. (2009). *Soldadura fuerte de tubería de acero inoxidable austenítico* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1615/1/CD-2309.pdf>.
- American Society of Mechanical Engineers - Asme (2015). *Boiler and pressure vessel, section IX – Qualification standard for welding and brazing procedure, welders, brazers, and welding and brazing operator*. Nueva York, EE. UU.
- ASTM D1587 (2000). *Standard practice for thin-walled tube sampling of soils for geotechnical purposes*. West Conshohocken, EE. UU.: ASTM International.
- Briones, R., Ruíz, A., Rubio C. y Carreon H. (2014). Caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros inoxidables 316L/AL-6XN. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 34(2), 306-315.
- Camacho, B. A. (2015). *Evaluación de la resistencia a la corrosión de uniones soldadas de acero inoxidable mediante proceso GTAW y material de aporte tubular* (tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6073>.
- Dainoriz, G., Eglimar, R., Levis, F., Jheyssa, H., José, M., Yeison, P. y Osmar, G. (2012). *Ensayos no destructivos*. Documento de clase,

- Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, Ojeda, Venezuela.
- Gunn, R. (1997). *Duplex Stainless Steels*. Cambridge, Inglaterra: Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781845698775>
- Ibarra, M., Núñez, E. y Huerta, J. M. (2010). *Manual de aceros inoxidables*. Cerrillos, Chile: 2M Impresores. Recuperado de <http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Aceros%20es?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2Fd7a1a8fe99fe4b6a9fbcd6412df7e93c.pdf>.
- Lázaro, A. (2012). *Propiedades y soldabilidad de los aceros inoxidables*. Product Manager Consumibles, European Welding Engineer.
- Recuperado de <https://www.solysol.com.es/data/documents/Soldabilidad=20Inox.pdf>.
- Lippold, J. y Kotecki, D (2005). *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. EE. UU: John Wiley & Sons Inc.
- Sourmail, T. (2001). Precipitation in creep resistant austenitic stainless steel. *Journal Materials Science and Technology*, 17(1), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1179/026708301101508972>
- Koseki, T. y Flemings, M. (1996). Solidification of undercooled Fe-Cr-Ni alloys part II—microstructural evolution. *Metallurgy Materials Transaction*, 27(10), 3226-3240. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02663873>





Comprensión de la probabilidad de jóvenes con discapacidad intelectual

Understanding the probability at young with intellectual disability

Entendendo a probabilidade de jovens com deficiência intelectual

José Marcos López-Mojica¹

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: julio de 2018

Para citar este artículo: López-Mojica, J.M. (2018). Comprensión de la probabilidad de jóvenes con discapacidad intelectual. *Revista Científica*, 33(3), 306-315. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13326>

Resumen

El presente informe hace parte de una investigación más amplia centrada en caracterizar el pensamiento probabilístico de niños con discapacidad. De manera particular, el documento exhibe el uso de esquemas compensatorios relacionados con el pensamiento probabilístico de niños con discapacidad intelectual. La investigación, cualitativa y en curso, se rige por tres ejes rectores: epistemológico, cognitivo y social. Aquí se presentan los resultados de la tercera fase, la cual consistió en la comprensión de las ideas fundamentales de probabilidad, después de su enseñanza, de tres jóvenes (15-17 años) con discapacidad intelectual del tercer grado de secundaria especial, revelada en entrevistas individuales semiestructuradas en cámara Gesell sobre el enfoque frecuencial de la probabilidad. La estrategia consistió en dar a los alumnos el papel de examinador para obtener datos de su comprensión de los conceptos matemáticos incluidos en lo que examinan. Los resultados atañen al uso de la memoria de trabajo, el esquema perceptual visual y la atención para las ideas de espacio muestra, medida de

probabilidad y variable aleatoria (de manera cualitativa con las frecuencias absolutas).

Palabras clave: discapacidad intelectual, educación especial, matemáticas escolares, probabilidad.

Abstract

This report is part of a larger investigation that was interested in characterizing the probabilistic thinking of children with disabilities. In particular, the document shows the use of compensatory schemes related to the probabilistic thinking of children with intellectual disabilities. Three guiding axes govern the research, qualitative and ongoing: epistemological, cognitive and social. Here are presented the results of the third phase that concerned the understanding of the fundamental ideas of probability, after teaching, of three young people (15-17 years old) with intellectual disability of the third degree of special secondary, revealed in semi-structured individual interviews in the Gesell camera on the frequency approach of probability. The strategy was to give students the role of examiner to obtain data of their understanding of the mathematical concepts

¹ Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México. mojicajm@gmail.com

included in what they examine. The results concern the use of working memory, the visual perceptual scheme and the attention for the ideas of sample space, probability measure and random variable (qualitatively with absolute frequencies).

Keywords: probability, intellectual disability, special education, school mathematics.

Resumo

Este relato faz parte de uma investigação maior que se interessou em caracterizar o pensamento probabilístico de crianças com deficiência. Em particular, o documento mostra o uso de esquemas compensatórios relacionados ao pensamento probabilístico de crianças com deficiência intelectual. A pesquisa, qualitativa e em andamento, é regida por três eixos norteadores: epistemológico, cognitivo e social. Apresentam-se aqui os resultados da terceira fase que diziam respeito à compreensão das ideias fundamentais de probabilidade, após o ensino, de três jovens (15-17 anos) com deficiência intelectual do terceiro grau do secundário especial, reveladas em entrevistas individuais semiestruturadas na câmara de Gesell na aproximação de frequência de probabilidade. A estratégia era dar aos alunos o papel de examinador para obter dados de sua compreensão dos conceitos matemáticos incluídos no que eles examinam. Os resultados dizem respeito ao uso da memória de trabalho, o esquema perceptivo visual e a atenção para as idéias de espaço amostral, medida de probabilidade e variável aleatória (qualitativamente com frequências absolutas).

Palavras-chaves: probabilidade, deficiência intelectual, educação especial, matemática escolar.

Introducción

Ante las demandas internacionales que exigen a los sistemas educativos brindar una educación básica para todos, es necesario indagar sobre los elementos que se requieren para cumplir con tal misión. El que todo ciudadano domine los conocimientos que se marcan como indispensables fomentaría un mejor acceso a la información y sentaría las bases para una sociedad educada.

Con la tendencia a la educación inclusiva (Florin, 2010) es necesario que los docentes de educación especial estén preparados para atender a la diversidad que envuelve su aula. Esta se complica dada la variedad de discapacidades que confluyen en ella, pues los maestros deben acercar los contenidos de la educación básica a los niños con estas características. Como ejemplo de esos, en las matemáticas, se encuentran los temas de probabilidad y de estadística.

Proporcionar al individuo con discapacidad una cultura matemática integral, aquella que incluya temas de probabilidad y de estadística, suministraría elementos para desarrollar una red conceptual en la cual el uso de otros conceptos permita dotarla de otro sentido para los estudiantes.

De manera importante, las disciplinas probabilidad y estadística han marcado la pauta en una diversidad de aplicaciones, de adelantos científicos, tecnológicos e inclusive en tendencias en el arte y la cultura (Ojeda, 2007). Además, si bien los temas de probabilidad y de estadística son los menos tratados en el currículo educativo mexicano, con estos se puede desarrollar un pensamiento crítico, es decir, aquel que se abre a lo posible y es importante en la toma de decisiones.

Por otra parte, Vygotski (1997) ha señalado que en lugar de enfatizar las deficiencias o ausencias la educación debería centrarse en potenciar las características con las que cuenta el individuo. Ello permitiría establecer un marco de referencia que considere los esquemas compensatorios como promotores del pensamiento matemático que el docente debe tener en cuenta en el diseño de actividades de enseñanza para la constitución de las redes conceptuales implicadas por los estocásticos.

En ese sentido, el objetivo de nuestra investigación fue establecer un marco de referencia que permita a los docentes de educación especial plantear actividades para el tratamiento de los estocásticos ante la heterogeneidad de afecciones en una misma aula. Se pretende responder a la interrogante ¿cuáles esquemas compensatorios favorecen el

desarrollo del pensamiento probabilístico de niños con discapacidad intelectual? Pues los resultados se orientan a la comprensión que tienen los jóvenes respecto a los conceptos de medida de probabilidad, espacio muestra y variable aleatoria.

Perspectiva teórica

El trabajo de investigación se ajustó a la propuesta de *tres ejes rectores* (Ojeda, 1994) para la comprensión de ideas fundamentales de estocásticos para los distintos niveles educativos. El eje epistemológico refiere al conocimiento del azar, la probabilidad y la estadística. En el cognitivo interesan los procesos del pensamiento del sujeto relativos al azar y a la probabilidad. Para el eje social interesa la consideración del sujeto en el aula referida al conocimiento de estocásticos. Por la naturaleza del escenario de investigación se incorporaron en el eje cognitivo información sobre los esquemas compensatorios y sobre la discapacidad intelectual.

Eje epistemológico

Heitele (1975) ha propuesto 10 ideas fundamentales de estocásticos como guía para un currículo en espiral. Para el autor, una idea fundamental es “aquella que proporciona al individuo modelos explicativos tan eficientes como sea posible” (p. 188). Argumenta que el tratamiento de las ideas fundamentales debe partir de un plano intuitivo y llegar a un plano formal, de manera que se garantice continuidad en la educación. Las ideas fundamentales de interés para el documento son: medida de probabilidad, espacio muestra y variable aleatoria. En el mismo sentido, es de interés el enfoque frecuencial de la probabilidad (Hacking, 1975), ya que este se refiere a la estimación de la probabilidad de un evento con base en su frecuencia relativa de ocurrencia en una secuencia grande de repeticiones del fenómeno aleatorio, del cual ese evento es un resultado posible. Este es un enfoque a *posteriori* o *empírico* (Hawkins y Kapadia,

1984), pues supone la realización de las repeticiones del fenómeno aleatorio.

Eje cognitivo

En su obra sobre las fuentes intuitivas del pensamiento probabilístico, Fischbein (1975) entiende por intuición un conocimiento que se deriva de la experiencia, de recuperación inmediata, sintético, que se extrapola y no es susceptible de análisis. El autor señala que en la formación de intuiciones probabilísticas es necesario considerar lo incierto y conectarlo con la acción por medio de frecuencias relativas; de esta forma se establecerá un comportamiento de la situación aleatoria caracterizado como *más probable*, *menos probable* o *igualmente probable*. La probabilidad es, por tanto, apropiada para el estudio de esas intuiciones. Debido a su enfoque frecuencial, la probabilidad está determinada por la acción y es en la acción u observancia de los fenómenos naturales como se puede desarrollar una base intuitiva.

También son importantes los esquemas compensatorios como procesos que permiten superar una ausencia o limitación de manera que asumen la función inactiva o dañada para el desarrollo del pensamiento del individuo (Vygotski, 1997). Particularmente, la afección de discapacidad intelectual “se caracteriza por limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual y en la conducta adaptativa, expresada en las habilidades adaptativas conceptuales, sociales y prácticas” (Verdugo, 1988, p. 8), provoca dificultades en la comunicación y los procesos de adquisición del conocimiento son lentos (Arias y Prieto, 2015).

Eje social

Steinbring (2005) establece una relación entre la naturaleza epistemológica del concepto matemático y su significado socialmente constituido en las interacciones en el aula. El autor argumenta que para la adquisición del *concepto* es necesaria la interacción entre el contexto de referencia en que

se implica al *objeto* y el *signo* asociado a este. La constitución resulta de un balance entre las relaciones entre los tres vértices (figura 1), de modo que se pueda deducir el significado del conocimiento matemático. Al objeto se le dota de sentido según el contexto de referencia, y es representado por el signo, de manera que el concepto matemático se construye como una estructura simbólica relacional y se le codifica mediante signos y símbolos que se pueden combinar lógicamente en operaciones matemáticas (Steinbring, 1991).

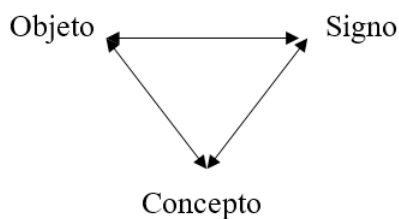


Figura 1. Triángulo epistemológico.

Fuente: Steinbring (2005).

El objeto “se construye como nuevo conocimiento en una relación matemática” (Steinbring, 1989, p. 155). El signo matemático tiene dos funciones: en la semiótica se le considera como “algo que representa algo más” y “en la epistemológica es un marco de la constitución epistemológica del conocimiento matemático” (Steinbring, 1989, p. 134). Por tanto, el concepto es perfectible, dado que va de las nociones a ideas en estrecha interrelación entre el objeto y el signo.

Metodología

La investigación de tipo cualitativa (Eisner, 1998; Vasilachis, 2006) y *en curso*² se desarrolló en tres fases y siguió las directrices del órgano operativo y de la célula de análisis de la enseñanza (Ojeda, 2006). El primero organiza los escenarios en los que se desarrolló la investigación; el segundo conjuga elementos teóricos y aspectos del método

para someter a escrutinio los conceptos de probabilidad y estadística.

En la Fase I, documental, se constituyeron los escenarios que albergaron a la investigación y se examinó la propuesta institucional para introducir en la educación básica la probabilidad. La Fase II, de *experienciación* (Maturana, 2003), se enfocó en la enseñanza de la probabilidad. Se obtuvieron datos para caracterizar el desempeño de los niños en actividades de enseñanza de temas de azar, probabilidad y datos de su uso de esquemas compensatorios. La Fase III, mediante entrevistas individuales semiestructuradas (Zazkis y Hazzan, 1999; diSessa, 2007), profundizó en la *comprensión de los niños de las ideas fundamentales de probabilidad* después de su enseñanza y en su uso de esquemas compensatorios.

El método empleado fue la entrevista individual semiestructurada. Por entrevista se entiende aquí la interacción entre dos individuos cuando uno le plantea preguntas al otro para alcanzar un objetivo —el de obtener datos de la comprensión del segundo respecto a una situación o a conceptos implicados en una actividad—. Por lo que es relevante el tipo de comunicación (Zazkis y Hazzan, 1999; diSessa, 2007) posible con cada caso debido al síndrome o afección. Para diSessa (2007), el objetivo de una entrevista es permitir al entrevistado que “exponga de manera natural” (p. 526) su forma de pensar respecto a la situación que se está tratando, mientras que el entrevistador explora diferentes maneras de enmarcar la situación problemática para exhibir el conocimiento del entrevistado.

Una de las estrategias utilizadas en las entrevistas fue la aplicada por Mevarech (1983), que consistió en solicitar a los alumnos que analizaran una tabla de frecuencias en la que se incluían eventos imposibles con ocurrencias registradas. Se plantearon preguntas para saber si los alumnos se percataban de que algunos datos en la tabla eran erróneos. De esa manera, se esperaba que ellos se

² Es decir, en condiciones reales de enseñanza y según la dialéctica del escenario empírico, sus preguntas y objetivos planteados se precisaron y consolidaron con el desarrollo del proyecto.

convirtieran en diagnosticadores de los errores y pusieran en juego el conocimiento adquirido.

Se emplearon criterios de análisis, a saber: situación de referencia, ideas fundamentales de estocásticos, otros conceptos matemáticos, recursos semióticos, términos para referirse a estocásticos (Ojeda, 2006) y esquemas compensatorios. Los instrumentos de recopilación de datos utilizados en la Fase III fueron guiones de entrevista basados en las actividades propuestas en el aula alterna y en el aula normal (Ojeda, 2006) para profundizar en la comprensión de los jóvenes de las ideas de estocásticos implicadas en esas.

Los estudiantes

Los resultados que se presentan en este informe corresponden a la comprensión de ideas fundamentales de probabilidad de tres jóvenes de tercer grado de secundaria especial de un centro de atención múltiple (CAM), espacio (perteneciente a una institución) que ofrece servicios educativos a niños con discapacidad o discapacidad múltiple, o aquellos con trastornos graves del desarrollo, que no pueden ser integrados a la escuela regular, además de pertenecer a la modalidad educativa Educación Especial (Romero y García, 2013). Los casos que se eligieron para entrevista evidenciaron: mejor desempeño que el resto de sus compañeros, tendencia a un pensamiento mítico por manifestar indicios de nociones de espacio muestra. Se eligieron tres casos con discapacidad intelectual: UR, porque manifestó un pensamiento mítico (colocó sus manos a manera de "ruego" de que saliera cierto color) y a JE por tener el mejor desempeño que el resto de sus compañeros del aula. Mientras que a CE se le eligió por su elección de un evento imposible.

Las situaciones para entrevista

Las entrevistas individuales semiestructuradas se realizaron en sesiones de 30 minutos en promedio en el escenario de cámara Gesell, disponible

en el CAM. Fueron dos situaciones para entrevista. La primera consistió en presentarle al alumno una tómbola de 12 cm de diámetro, en la cual se introdujeron cinco canicas blancas, dos verdes y una amarilla, todas del mismo tamaño. El estudiante tenía que girar la tómbola y registrar el resultado de la expulsión en hojas blancas. La canica se regresaba a la tómbola para mantener ocho canicas en total.

La segunda situación consistió en analizar una tabla con los registros de uno de los alumnos del tercero de secundaria realizada en *La carrera con dados* (figura 2). La actividad en el aula consistió en elegir un número del 1 al 13 como corredor en una pista de una tabla de registro. Se lanzaban dos dados ordinarios distinguibles por color, se sumaban los puntos de las caras que quedaban hacia arriba y la suma avanzaba una celda; ganó el número que llegó primero a la meta en la tabla.

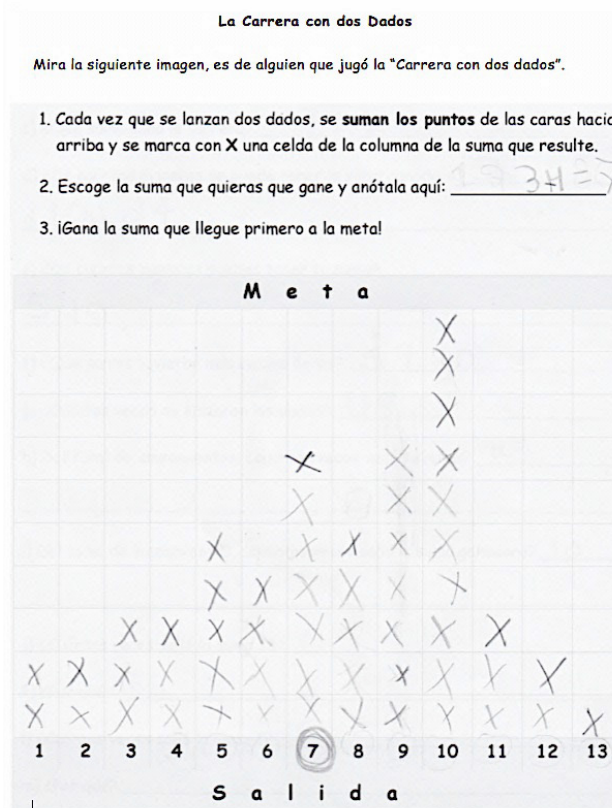


Figura 2. Hoja de control para entrevista. Tabla de frecuencias de JO.

Fuente: elaboración propia del autor.

Tabla 3. Documentos revisados.

	Situación	Ideas fundamentales de estocásticos	Otros conceptos matemáticos	Recursos semióticos	Términos empleados
La tómbola	Variación de resultados de canicas en el giro de una tómbola transparente.	Espacio muestra, medida de probabilidad, independencia, ley de los grandes números, variable aleatoria.	Número natural, operaciones con números naturales, proporción, fracción.	Lengua natural escrita.	Girar, revolver, salió, chocan, más fácil que salga, más difícil que, posible, más veces, menos veces.
La carrera con dados	Suma de los puntos de dos dados ordinarios lanzados y su registro.	Espacio muestra, medida de probabilidad, combinación, tres variables aleatorias.	Números naturales, orden, adición.	Lengua natural escrita, dibujos, tablas.	Elige, escoge, qué suma ganó, marca con, de cuántas maneras, cuántas celdas, cuántas veces, del total... cuántas veces, más posibilidades, pocas posibilidades.

Fuente: elaboración propia del autor.

Para la tómbola se apela a la idea de azar con la mezcla aleatoria del contenido producida por los giros de esta. Interesa en este caso el resultado de la canica al cabo de cada giro. En la carrera con dados el fenómeno aleatorio implicaría identificar la variedad de resultados después del lanzamiento de los dos dados ordinarios.

Resultados

De los resultados se obtuvo evidencia de un acercamiento a las ideas de espacio muestra, medida de probabilidad y, de manera cualitativa, de variable aleatoria; así como su correspondiente uso del esquema compensatorio: memoria de trabajo, esquema perceptual visual y la atención. De manera particular, UR en el desarrollo de la entrevista superó el pensamiento mítico que evidenció en el aula. Para JE se corroboró su desempeño hacia las ideas fundamentales de probabilidad y CE se obtuvo evidencia del evento imposible.

Espacio muestra

En la tómbola UR no tuvo dificultad para identificar los posibles resultados y argumentó que era más fácil que salieran las canicas blancas, pues eran cinco, y que la más difícil era la canica amarilla³.

[117] I: *A ver, UR, en el siguiente giro ¿qué va a resultar? ¿Qué canica es más fácil que salga?*

[118] UR: La blanca [una canica blanca].

[119] I: *¿Por qué?*

[120] UR: *Mmm... [Pensando]. Porque hay cinco [canicas] blancas, dos verdes y una amarilla.*

Se mueven las canicas, mira, hace rato la verde estaba arriba [identifica una posición de una canica] y ahora está debajo de las blancas... las canicas chocan entre ellas.

Lo anterior sugiere un acercamiento a la idea de azar, pues en su respuesta identifica la posición de

³ En las interacciones I: investigador; UR, JE y CE corresponden a los estudiantes

las canicas al cabo de cada movimiento de la tómbola. Además, el tipo de argumento que emplea sugiere el uso de la memoria de trabajo y la atención, pues pareciera estar atento a lo que se produce en el interior de la tómbola con las canicas.

[145] I: *UR, ¿sale la misma canica siempre? Siempre que tú giras la tómbola ¿el resultado es siempre el mismo?*

[146] UR: *No, se mueven las canicas, mira, hace rato la verde estaba arriba [identifica una posición de una canica] y ahora está debajo de las blancas... las canicas chocan entre ellas.*

En la carrera con dados, al preguntarle a CE sobre cuál era la suma que el niño de la tabla había elegido, él respondió que fue la suma "siete porque la marcó" y señaló con el dedo índice el número siete en la salida de la pista de carreras. Cuando se le preguntó a CE si el niño ganó con esa suma respondió "no, porque no llegó a la meta" e identificó la suma que ganó.

[17] I: *A ver, CE, el niño eligió el siete [la suma] ¿verdad? ¿El niño ganó?*

[18] CE: *No [mueve la cabeza].*

[19] I: *¿Por qué?*

[20] CE: *Mmm... No llegó a la meta [la suma].*

[21] I: *¿Hasta dónde llegó?*

[22] CE: *Hasta aquí [señala con el dedo índice el último tache e inicia el conteo], uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete.*

[23] I: *Bien, entonces ¿qué suma ganó?*

[24] CE: *10 [la suma].*

Al cuestionarle a CE sobre cuál suma era más fácil que resultara después del lanzamiento de los dos dados dijo que la suma siete tenía más posibilidades de ocurrir y escribió otras posibilidades.

[77] I: *A ver, CE, si lanzamos dos dados, ¿qué suma es más fácil que salga?*

[78] CE: *El siete...*

[79] I: *¿Por qué?*

[80] CE: *Mmm... porque "3+4", "5+2", "6+1".*

[81] I: *A ver escribe [le proporciona una hoja en blanco].*

En la figura 3 se puede señalar que CE identifica otras posibilidades que tiene la suma siete para ocurrir. La organización que presenta es a manera del algoritmo tradicional de la adición, pero esta disposición fue propuesta por él. Lo anterior sugiere el uso de la memoria de trabajo, pues recupera las formas en las que se puede obtener el 7.

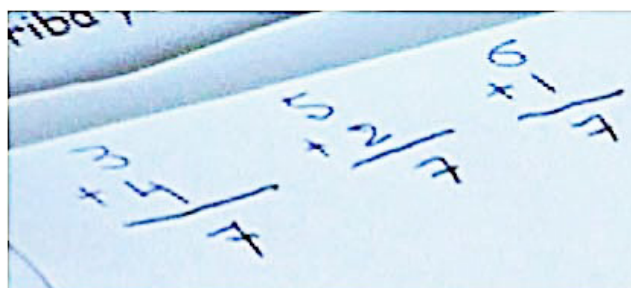


Figura 3. Posibilidades para la suma siete.

Fuente: elaboración propia del autor.

Además, al interrogar si la persona que jugó y registró en la hoja había realizado correctamente el juego él respondió que no porque tenía registros en las casillas de las sumas 1 y 13 y que las sumas posibles eran del 2 al 12. Reconoció que él perdió cuando se desarrolló la actividad en el aula porque eligió la suma 13.

[123] I: *A ver, CE, ¿por qué no se puede obtener la suma trece*

[124] CE: *No [mueve la cabeza], necesitamos seis más siete.*

[125] I: *¿Cómo son nuestros dados?*

[126] CE: *Tenemos uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis [puntos]...*

[127] I: *¿Entonces? ¿Podemos obtener la suma trece?*

[128] CE: *No, nada más seis más seis, doce...*

Medida de probabilidad

Para la tómbola, UR reconoció que si siguiera girando sería mucho más fácil que a la larga saliera

más veces la canica blanca y más difícil que saliera la amarilla. Si bien su justificación refirió a la cantidad mayor de canicas blancas que amarillas, de manera implícita presenta un pensamiento probabilístico, pues parcialmente puso en relación el número de casos posibles con el total de casos. Cuando se le preguntó a JE sobre si el juego era justo respondió: “No, porque la canica amarilla está solita”.

- [218] I: ...JE, así como tenemos esto [refiriéndose a la tómbola], así como estamos jugando, ¿consideras que el juego es justo? ¿O estamos haciendo trampa?
- [219] JE: [Mueve la cabeza como asintiendo].
- [220] I: ¿Qué, estamos haciendo trampa?
- [221] JE: Sí [sonríe].
- [222] I: ¿Por qué? ¿Trampa para quién?
- [223] JE: Para el amarillo y para el verde [sonríe], la canica amarilla está solita.
- [224] I: ¿Sí? ¿Por qué?
- [225] JE: Porque son cinco...
- [226] I: ¿Cinco qué?
- [227] JE: Cinco blancas, dos verdes y una amarilla [refiere a la cantidad de canicas].
- [228] I: Mmm... Entonces, ¿qué se espera a la larga? ¿que salgan más canicas... de qué color?

[229] JE: Blancas...

[230] I: Si te dijeran que debes apostar a un color, para que ganes, ¿a qué color le apostarías?

[231] CE: Al blanco...

Variable aleatoria

Para la tómbola, UR y JE registraron los resultados de cada giro en hojas blancas. JE organizó sus datos a manera de tabla; en la parte superior colocó los posibles resultados, en la parte inferior registraba los resultados efectivos (frecuencias relativas). Lo anterior sugiere un nivel de comprensión superior al de solamente organizarlos en serie de uno en uno. En cambio, UR registró uno por uno los resultados de los 20 giros (frecuencias).

Se argumenta una constitución del concepto matemático variable aleatoria (figura 4), debido a que los estudiantes pudieron identificar la variedad de resultados después de cada giro de la tómbola. Además, señalaron la mezcla de las canicas que se produce en el prototipo. Lo anterior se relacionó con el registro de las frecuencia del resultado de cada canica, uno de estos fue a manera de tabla de doble entrada y el otro correspondió a la sucesión de resultados uno a uno.

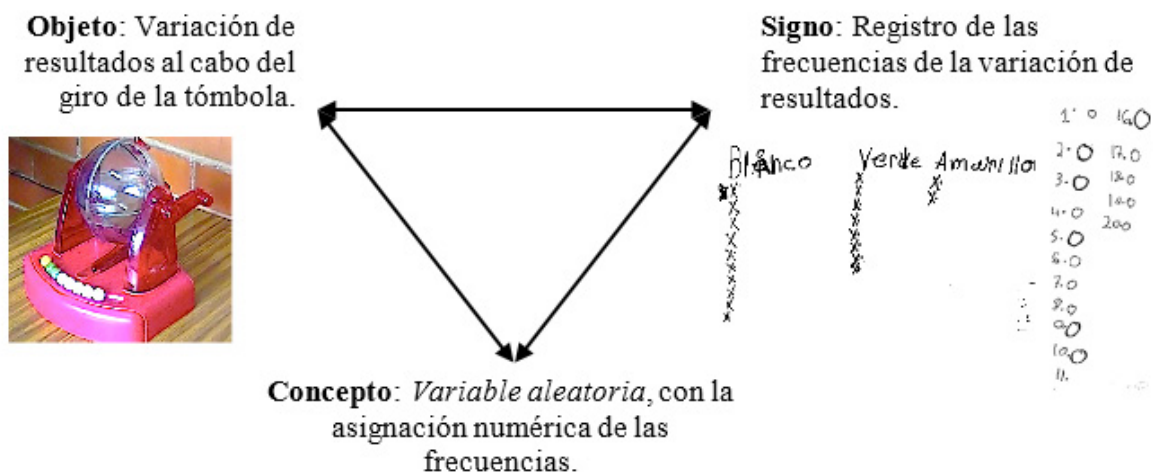


Figura 4. Triángulo epistemológico de la variable aleatoria.

Fuente: Steinbring (2005).

Para los casos anteriores, el uso del esquema perceptual visual jugó un papel importante, pues la correspondencia entre la mezcla de las canicas, que se produce cuando la tómbola está en movimiento, acercó a dar argumentos en función al fenómeno aleatorio y no a expresiones del tipo *sucede por azar*. A lo anterior se le asigna un registro por cada resultado para señalar cuál de las canicas tiene más oportunidades de ocurrir en un número muy grande de extracciones.

Conclusiones

Se corroboró la comprensión de las ideas de espacio muestra, medida de probabilidad y variable aleatoria por parte de JE y UR. Este último, en las actividades en el aula, atribuía el resultado de los eventos de un fenómeno aleatorio a otras causas más que a la probabilidad de cada evento, motivo por el cual fue seleccionado. Las respuestas de UR en las entrevistas consideraban, parcialmente, la probabilidad que tuviera cada evento del fenómeno aleatorio. También tuvo un acercamiento a la idea de azar físico, “interferencia de series causales independientes” (Piaget e Inhelder, 1951, p. 13). En la situación de la tómbola, su respuesta ante la pregunta ¿por qué no salen siempre las mismas canicas? fue “*las canicas chocan entre ellas*”. Para la respuesta anterior, se apoyó del esquema perceptual visual, según Steinbring (1991; 2005), la atención se centró en el objeto de la actividad matemática.

Por su parte, el mejor desempeño de JE se mantuvo en las entrevistas. Las situaciones no presentaron mayor dificultad para el estudiante. Fue con el único que, según su producción, se pudo tener un acercamiento a la idea de juego justo. Identificó que en la situación de la tómbola los eventos no tenían la misma probabilidad de ocurrir: “*la canica amarilla está solita*”. La memoria de trabajo y la atención, jugaron un papel importante en esta actividad, pues recuperaba de manera inmediata las frecuencias de cada uno de los eventos (canica amarilla, canica blanca, canica verde).

CE identificó el evento con mayor probabilidad en la tabla de frecuencias de la carrera con dados y el evento imposible al percatarse que era difícil obtener una suma 13 con dos dados ordinarios. La memoria de trabajo le permitió señalar los eventos imposibles y argumentar otras posibles formas de obtener la suma siete.

JE y UR propusieron una manera de organizar los resultados de las canicas al girar la tómbola. Lo anterior, según Steinbring (2005), exhibe la distinción que los jóvenes realizaron del objeto y del signo para la adquisición del concepto matemático. Es decir, distinguieron la variedad de resultados con la frecuencia de cada categoría para arribar al enfoque frecuencial de la probabilidad.

De todo lo anterior, un acercamiento al pensamiento probabilístico de los niños con discapacidad está en función al tipo de actividades de enseñanza de estocásticos propuestas. Es decir, un marco de referencia para la enseñanza de la probabilidad en educación especial se constituye con la identificación de los esquemas compensatorios según el tipo de afección de que se trate; es decir, el uso de material concreto, físico y llamativo, que permita al niño dotar de sentido a las acciones. Por ejemplo, para el caso con discapacidad visual Correa y Pulido (2013) proponen materiales didácticos manipulativos que propicien una acción reflexiva en el estudiante; dicho de otra forma, es necesario poner en juego el triángulo epistemológico para la adquisición del conocimiento matemático.

Referencias

- Arias, J. R. y Prieto, A. I. (2015). Aprendizaje de los números (del 0 al 9) en alumnos con discapacidad intelectual leve. *Revista nacional e internacional de educación inclusiva*, 8(1), 42-58.
- Correa, Y. y Pulido, E. (2013). Adaptación e implementación de recursos didácticos para la enseñanza de ecuaciones de primer y segundo grado a niños con discapacidad visual en

- un aula inclusiva. *Revista Científica*, 17(2), 510-514.
- diSessa, A. (2007). An interactional analysis of clinical interviewing. *Cognition and Instruction*, 25(4), 523-565. DOI: <https://doi.org/10.1080/07370000701632413>
- Eisner, E. (1998). *El ojo ilustrado. Indagación cualitativa y mejora de la práctica educativa*. Barcelona, España: Paidós
- Fischbein, E. (1975). *The intuitive sources of probabilistic thinking in children*. Dordrecht, Holanda: Reidel.
- Florian, L. (2010). Special education in an era of inclusion: the end of special education or a new beginning. *The Psychology of Education Review*, 34(2), 22-29.
- Hacking, I. (1975). *The emergence of probability*. Nueva York, EE. UU.: Cambridge University Press.
- Hawkins, A. y Kapadia, R. (1984). Children's conceptions of probability a psychological and pedagogical review. *Educational Studies in Mathematics*, 15(1), 349-377. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00311112>
- Heitele, D. (1975). An epistemological view on fundamental stochastic ideas. *Educational Studies in Mathematics*, 6(2), 187-205. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00302543>
- Maturana, H. (2003). *Desde la Biología a la Psicología*. Buenos Aires, Argentina: Lumen-Editorial Universitaria.
- Mevarech, Z. (1983). A deep structure model of students' statistical misconceptions. *Educational Studies in Mathematics*, 14(4), 415-429. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00368237>
- Ojeda, A. M. (1994). *Understanding fundamental ideas of probability at pre-university levels* (tesis de doctorado). King's College London, Londres, Reino Unido.
- Ojeda, A. M. (2006). Estrategia para un perfil nuevo de docencia: un ensayo en la enseñanza de estocásticos. En E. Filloy (ed.), *Matemática Educativa, treinta años: una mirada fugaz, una mirada externa y comprensiva, una mirada actual* (pp. 195-214). México D.F.: Santillana.
- Ojeda, A. M. (2007). *Probabilidad y estadística en Matemática Educativa. Seminario de investigación*. Documento interno. México D.F.: Cinvestav, IPN.
- Piaget, J. e Inhelder, B. (1951). *La Genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*. París, Francia: Presses Universitaires De France.
- Romero, S. y García, I. D. (2013). Educación especial en México. Desafíos de la educación inclusiva. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 7(2), 77-91.
- Steinbring, H. (1989). The interaction between teaching practice and theoretical conceptions. A cooperative model of in-service training in stochastics for mathematics teachers (Grades 5-10). En R. Morris (ed.), *Studies in Mathematics Education. The Teaching of Statistics* (pp. 202-214). París, Francia: Unesco.
- Steinbring, H. (1991). The concept of chance in everyday teaching: aspects of a social epistemology of mathematical knowledge. *Educational Studies in Mathematics*, 22, 503-522. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00312713>
- Steinbring, H. (2005). *The construction of new mathematical knowledge in classroom interaction*. Boston, EE. UU.: Springer.
- Vasilachis, I. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona, España: Gedisa.
- Verdugo, M. A. (1988). *La integración personal, social y vocacional de los deficientes psíquicos adolescentes* (tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Vygotski, L. S. (1997). *Fundamentos de la defectología. Obras escogidas V*. Madrid, España: Visor Dis.
- Zazkis, R. y Hazzan, O. (1999). Interviewing in mathematics education research: Choosing the questions. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(4), 429-439.





Diseño del trabajo de aula: un proceso fundamental hacia la profesionalización de la acción docente

Classroom Work Design: A Fundamental Process towards the Professionalization of Teaching Action

Design trabalho de aula: um processo fundamental para a profissionalização da ação docente

Álvaro García-Martínez¹
Rubinsten Hernández-Barbosa²
Leonardo Abella-Peña³

Recibido: abril de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: García-Martínez, A., Hernández-Barbosa, R. y Abella-Peña, L. (2018). Diseño del trabajo de aula: un proceso fundamental hacia la profesionalización de la acción docente. *Revista Científica*, 33(3), 316-331. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12623>

Resumen

En este artículo se exponen algunas ideas sobre los aspectos que son necesarios considerar en la planeación, el diseño, la puesta en marcha y la evaluación de una unidad didáctica. Se resalta la importancia que tiene la comprensión de los elementos que la constituyen y su articulación con los objetivos, los recursos y las actividades que se proponen en su desarrollo. Además, se pretende resaltar lo fundamental que resulta para los docentes el ejercicio mismo de planeación, diseño y evaluación como un espacio de reflexión, reconstrucción y cualificación de su práctica docente. Un aporte importante es el relacionado con el mapa de diseño curricular, el cual, desde nuestro parecer, es fundamental a la hora de guiar los procesos de enseñanza y aprendizaje.

También se exponen algunas reflexiones sobre la importancia que tienen el desarrollo de las habilidades cognitivo-lingüísticas y el uso de las nuevas tecnologías en el diseño, desarrollo y evaluación de las unidades didácticas.

Palabras clave: habilidades cognitivo-lingüísticas, mapa de diseño curricular, proceso enseñanza y aprendizaje, práctica docente, unidad didáctica.

Abstract

In this paper, some ideas are presented on the aspects that need to be considered in the planning, design, implementation and evaluation of a didactic unit. The importance of understanding the elements that constitute it and its articulation with the objectives, resources, and activities proposed in its development

¹. Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. alvaro.garcia@udistrital.edu.co
². Universidad Autónoma de Colombia, Bogotá, Colombia. rhbjd@hotmail.com
³. Secretaría de Educación Distrital. Bogotá, Colombia. leabellap@gmail.com

are emphasized. In addition, it is intended to highlight how relevant is the exercise of planning, design and evaluation done by teachers, as a space for reflection, reconstruction, and qualification of their teaching practice. An important contribution is the one related to the curriculum design map, which, since our point of view, is fundamental when it comes to guiding the teaching and learning processes. Some reflections on the importance of the development of cognitive-linguistic skills and the use of new technologies in the design, development, and evaluation of didactic units are also presented.

Keywords: Linguistic cognitive abilities, map of curricular design, teaching and learning process, didactic unit.

Resumo

Em este artigo, os autores, as idéias, as idéias, os projetos, a implementação e a avaliação de uma unidade didáctica, ressaltando a importância que tem a compreensão dos elementos que a constituição e a articulação com os objetivos, os recursos e as atividades que se propõem em su desarrollo. Além disso, é necessário procurar o fundamental para o exercício de planejamento, design e avaliação, como um espaço de reflexão, reconstrução e qualificação de suprimento prático. É importante relacionar-se com o mapa de design curricular, o qual, desde a nossa óptica, é fundamental para a hora de guiar os processos de ensino e aprendizagem. Também se exponen Algumas reflexões sobre a importância que têm o desenvolvimento das habilidades cognitivo-lingüísticas e o uso de novas tecnologias no projeto, desenvolvimento e avaliação das unidades didáticas.

Palavras-chaves: habilidades cognitivas-lingüísticas, mapa de desenho curricular, processo de ensino e aprendizagem, unidade didática.

Introducción

El diseño de unidades didáticas ha dejado de ser una responsabilidad de personas ajenas al contexto escolar para ser una tarea fundamental del docente, o equipo de docentes, quienes tienen un papel activo y decisivo en la selección,

organización y secuenciación de los contenidos; así como también en la elección y diseño de los materiales, de las actividades, de las estrategias de desarrollo y de las formas de evaluación, entre otros aspectos. Esta tarea, como lo señala Coll (1994), permite una configuración del currículo a nivel institucional y de las asignaturas o de los proyectos de aula, reflejándose en el salón de clase y en la institución, dependiendo de los contextos educativos.

Este artículo tiene tres objetivos: el primero, describir los aspectos que son necesarios considerar en la planeación y desarrollo de una unidad didáctica (UD); el segundo, resaltar la importancia que tiene el diseño y secuenciación de actividades y su articulación con el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas; y el tercero, destacar la importancia que tiene el ejercicio mismo para los docentes, como un espacio de reflexión, reconstrucción y cualificación de su práctica docente.

Para una mejor comprensión, el texto está dividido en ocho apartados. En el primero, se define el concepto y resalta la importancia que tiene en el ámbito escolar el diseño de UD. En el segundo, se describen los elementos que deben tenerse en cuenta en su estructura. En el tercero, se plantean las características e importancia del mapa de diseño curricular (MDC) como elemento base para el diseño de la UD. En el cuarto, se propone la organización de la UD. En quinto lugar, se mencionan la clase de actividades y su secuenciación. En el sexto se establece la relación entre las actividades y el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas. En el séptimo, y dada la importancia que tienen actualmente las tecnologías de la información y comunicación (TIC), se describe la manera como se incorporan y el apoyo que generan al desarrollo de las actividades. En el octavo apartado, se mencionan algunos aspectos a la hora de evaluar la UD. Por último, se exponen algunas reflexiones que resultan no solo del ejercicio de escritura del artículo sino de la experiencia que han tenido los autores en el diseño e

implementación de UD con docentes de diferentes niveles de formación, particularmente en los proyectos de investigación AIDETC y ACACIA, en los cuales se enmarca la propuesta que se presenta a continuación⁴.

La unidad didáctica y su diseño

El concepto de unidad didáctica (UD), sus elementos constituyentes y los criterios que se han tenido en cuenta a la hora de diseñarla han ido reestructurándose y ajustándose a las necesidades, a las nuevas visiones sobre educación y los aspectos que esta cubre, teniendo en cuenta también los resultados de la investigación, particularmente en el campo de la didáctica de las ciencias. Estos aspectos se pueden evidenciar haciendo una exploración y seguimiento al concepto mismo, rasgo que no es objetivo de este trabajo.

Los autores entienden la UD como un sistema (Abella *et al.*, 2013) producto del diseño del profesor, que interrelaciona los actores y los elementos que intervienen en el proceso de enseñanza y aprendizaje, propósitos, contenidos, evaluación e interacciones, con una alta coherencia metodológica interna. La UD se emplea como instrumento de planeación, programación y orientación de la práctica profesional docente y se estructura mediante un conjunto de actividades que se desarrollan en un espacio y tiempo determinado para la consecución de unos objetivos didácticos específicos. Estos responden a intereses y necesidades de los estudiantes y docentes en un contexto determinado y es el resultado de un proyecto de trabajo individual o colectivo.

Entre otros elementos, en la UD se considera el qué enseñar (objetivos y contenidos), cuándo enseñar (secuencia ordenada de actividades

y contenidos), cómo enseñar (actividades, organización del espacio y del tiempo, materiales y recursos didácticos) y qué aspectos se deben tener presente a la hora de evaluar (criterios e instrumentos para la evaluación). Su puesta en marcha pone en escena las acciones de los agentes del acto educativo en un marco conjunto de actividades que se articulan y desarrollan en espacios y tiempos establecidos con anterioridad, y que son, en últimas, la base para el alcance de los objetivos didácticos.

En esa perspectiva, en una UD toman sentido todos los elementos del currículo, los cuales deben siempre orientarse para tener en cuenta la diversidad de los estudiantes. Al interpretar la unidad como un instrumento que sirve de guía y orientación permanente, tanto a la actividad docente como a la actividad del estudiante, se toman en cuenta los conocimientos previos de los niños y las niñas, se concibe la construcción de aprendizajes significativos y se diseñan actividades y ambientes propicios para ello.

Estructura de una UD

En el diseño y estructura de una UD es necesario contemplar varios aspectos, los cuales no se pueden ver de forma aislada, sino conformando un sistema en el que se relacionan, articulan y crean interdependencia. En el proceso de construcción se hacen evidentes las concepciones que los docentes tienen, de manera explícita o implícita, sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje, sobre el currículo, la evaluación e imagen de ciencia, entre otros elementos determinantes en el modelo didáctico que los docentes tienen (Sánchez y Varcargel, 1993). A continuación, en la tabla 1 se describen estos aspectos:

⁴ El proyecto de investigación "Desarrollo didáctico y tecnológico en escenarios didácticos para la formación de profesores que acogen la diversidad: factores para su implementación y su validación en la UDFJC". AIDETC, con financiación externa de Colciencias. Proyecto Erasmus +, ACACIA: Centros de cooperación para el fomento, fortalecimiento y transferencia de buenas prácticas que Apoyan, Cultivan, Adaptan, Comunican, Innovan y Acogen a la comunidad universitaria, financiado por la Unión Europea.

Aspecto	Características a considerar
Objetivos/ competencias	Deben ser enunciados para favorecer su desarrollo en el estudiante, teniendo presente sus capacidades y lo que él puede realmente hacer. Es necesario puntualizar las acciones que el estudiante debe realizar, considerando el marco de los contenidos conceptuales, procedimentales, actitudinales y comunicativos que están siendo objeto de estudio y que se pretenden potenciar. También se resalta la necesidad de tener en cuenta el contexto, ya que incide en la consecución de los objetivos y el desarrollo de competencias (Caamaño, 2011).
Selección de contenidos	Se ha podido identificar que el presentar los contenidos como hechos aislados trae dificultades a la hora de establecer relaciones y conexiones, como también para construir esquemas mentales de un fenómeno. Por lo tanto, los estudiantes no le encuentran sentido a lo que están aprendiendo e incluso lo pueden olvidar fácilmente. En esta línea, los contenidos están organizados en un conjunto de hechos, los cuales se agrupan sin tener en cuenta, por ejemplo, su origen científico (De Vos, Bulte y Piloto, 2002). Otro aspecto que agudiza el problema es la carencia de transferencia, lo cual se refiere a las dificultades que presentan los estudiantes a la hora de extrapolar, usar y aplicar un conocimiento aprendido en un contexto diferente al que se desarrollaron las actividades. Esta ausencia de transferencia muestra unos bajos índices de acercamiento a las ciencias naturales para su aprendizaje permanente o para establecer sus usos en la vida cotidiana (Osborne, Simon y Collins, 2010). Frente a este aspecto, una alternativa de organización es que la selección puede hacerse por: 1) conceptos estructurantes y/o fundamentales; 2) aspectos históricos; 3) por proyectos para dar respuesta a una pregunta de investigación escolar o a los intereses específicos.
Secuenciación de contenidos	Generalmente, la secuenciación de contenidos ha sido establecida considerando dos grandes criterios: la organización que presentan los libros de texto y las orientaciones curriculares o <i>estándares curriculares</i> del gobierno local o nacional. Por ello, se considera que es necesario que todas las actividades deben diseñarse, estructurarse y desarrollarse de manera articulada y coherente con los objetivos y competencias propuestos, partiendo siempre del reconociendo y la importancia de las concepciones de los estudiantes. Desde esta perspectiva, los contenidos objeto de estudio se pueden organizar en un MDC, cuyas características se mencionarán más adelante. Esta propuesta de organización se fundamenta desde una perspectiva psicológica, particularmente desde los planteamientos piagetianos.
Estrategias y actividades	Conformadas por la serie de procedimientos, actividades y diferentes tipos de trabajos prácticos que permiten alcanzar los objetivos y/o competencias propuestos en términos de los aprendizajes que se quieren lograr. Su selección, organización y secuenciación deben pensarse desde la planeación, aunque pueden surgir en el desarrollo de la UD, lo cual requiere hacer los ajustes respectivos. Se deben organizar de manera secuencial. Su diseño y puesta en marcha se estructuran teniendo en cuenta el nivel desarrollo de los estudiantes, sus intereses, necesidades y la manera como aportan a la consecución de los objetivos y competencias propuestas. Es importante anotar que las actividades deben generar interés en los estudiantes, que se conviertan en un reto permanente de reflexión, análisis y de construcción de habilidades de pensamiento de orden básico y superior. Además, deben promover la reflexión permanente en los estudiantes sobre lo que hacen, cómo lo hacen y para qué lo hacen, con el fin de desarrollar diferentes procesos de autorregulación.
Recursos	En este apartado se consideran todos los materiales y recursos técnicos, económicos, espaciales y humanos. Es necesario que se describan para cada una de las actividades a desarrollar.
Adaptaciones curriculares	Este aspecto es fundamental a la hora de pensar en una escuela inclusiva, que considere tanto aspectos del contexto cultural como de las características, necesidades e intereses particulares de la población. Este elemento cubre también la reflexión sobre estudiantes de baja visión, ciegos, población sorda y con diversas dificultades de aprendizaje.
Seguimiento y evaluación	Este aspecto, fundamental en cualquier proceso educativo, se debe pensar desde el momento de la concepción de la UD. De igual modo, caracterizarse por ser un elemento que ayude a los estudiantes a alcanzar los objetivos, aprender mejor y aprender a aprender, es decir, contribuir a la autorregulación de los estudiantes. Por lo tanto, debe ser un proceso continuo, flexible, integral, abierto, holístico y responder a los objetivos propios de la unidad, con los propósitos de la institución y con los fines de la educación, entre otros. Es necesario que el docente proponga y oriente actividades de autoevaluación y coevaluación con miras al desarrollo de una autorregulación efectiva.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Mapa de diseño curricular (MDC)

Partiendo del principio en que la didáctica de las ciencias es una ciencia del diseño, consideramos necesario orientar al profesor en cómo generar buenos diseños para desarrollar mejores aprendizajes en sus estudiantes. En ese sentido, hemos concebido al MDC como una herramienta para ayudar al profesor a reconocerse como profesional de la educación, el cual diseña, lleva al aula y estudia su implementación, reflexiona sobre su acción docente y genera otras propuestas para mejorar lo realizado; como aquel que puede investigar sobre cómo generar mejores rutas de orientación de los aprendizajes y contribuye a lograr una educación de calidad.

Como su nombre lo indica, el MDC (García-Martínez, Mora y Enciso, 2005) se constituye en un instrumento que orienta no solamente el desarrollo de la UD en términos conceptuales, procedimentales, actitudinales y comunicativos, y la manera como se visualizan en el entramado de relaciones que se pueden generar entre los conceptos que se establecen., Su realización permite planear, diseñar y organizar las actividades que son las que dinamizan el desarrollo de la UD y es a través de estas que se alcanzan los objetivos propuestos. Es un instrumento diseñado por los docentes para orientar su trabajo profesional, por lo que los estudiantes no tendrán conocimiento de esta herramienta. Esto porque el MDC traza las posibles rutas de trabajo didáctico que puede seguir el profesor para orientar el aprendizaje de los mismos, con lo cual, si los estudiantes lo conocen, no desarrollarán sus propias rutas, sino las que el profesor ha previsto; esto limitaría el desarrollo del pensamiento creativo y crítico, y de igual modo los problemas didácticos diseñados ya no serán problemas para ellos, pues sabrán la forma de resolverlos antes de plantearse los (García-Martínez e Izquierdo, 2014).

La construcción del MDC se fundamenta en la investigación desarrollada desde perspectivas constructivistas sobre la enseñanza y el aprendizaje, ya

que tiene en cuenta: 1) los propósitos de formación (competencias, habilidades, objetivos y valores, entre otros) que se han previsto desde el perfil del egresado, a nivel institucional, y del espacio académico específico en el que se desempeña el profesor. 2) las ideas previas de los estudiantes, ya que cuando el profesor las reconoce puede saber qué conceptos o procedimientos debe tener en cuenta para comenzar, en cuáles debe profundizar o en cuáles hay que reforzar. 3) el conocimiento científico escolar en el que se ubica lo que desea que sus estudiantes aprendan, pues así sabrá qué conceptos serán más complejos y abstractos y cuáles más simples y concretos. 4) los conocimientos y práctica profesional del profesor, ya que le permitirá reconocer los conceptos que son más difíciles o más sencillos para los estudiantes a la hora de trabajarlos en clase, los tiempos más adecuados para abordarlos, las metodologías o estrategias más pertinentes para desarrollarlos y las diferencias en las formas de aprender que tienen sus estudiantes, dependiendo de la diversidad del aula de clase y del contexto en donde se desarrolle el acto educativo.

Es importante mencionar que al momento de empezar la construcción del MDC se debe ir pensando en el fenómeno, o conjunto de fenómenos, que será objeto de estudio y que se planteará a los estudiantes para el análisis de los conceptos que conforman el mapa. Se establece así una relación entre lo conceptual y lo práctico contextual, que se va desarrollando de manera paralela. Así, se reflexiona sobre qué fenómeno permite orientar mejor el proceso de modelización de los estudiantes y, a la vez, qué conceptos deseo estudiar a través de ese fenómeno y en qué grado de profundidad se trabajarán.

En la realización del MDC es necesario tener presente los siguientes aspectos: se organiza por niveles y tiene en cuenta los mismos principios que un mapa conceptual (seleccionar, ordenar y agrupar conceptos, uso de conectores, establecer categorías y jerarquización, entre otros aspectos). Se parte del conocimiento de las ideas previas del

estudiante, en relación con el tema de estudio; estos aspectos se deben diferenciar en el MDC por colores, de lo más sencillo a lo más complejo; parte de lo concreto a lo abstracto; inicia con el establecimiento, en la parte inferior, de pocas relaciones entre los conceptos, a niveles en los que hay relaciones más complejas, que se ubican en la parte superior.

Considerando la experiencia de los autores en el ejercicio mismo de pensar, planear, esbozar y estructurar el MDC, que representa la secuenciación de los diferentes tipos de contenidos objeto de estudio, se sugiere tener en cuenta: 1) partir siempre del análisis contextual de la institución escolar y de los estudiantes; en ambos casos se deben considerar sus necesidades e intereses, entre otros aspectos. 2) desarrollar el ejercicio primero en forma individual y luego en equipos de trabajo; estos equipos pueden ser por áreas de conocimiento o interdisciplinarios. 3) revisar, evaluar y hacer los ajustes necesarios durante el desarrollo de la UD.

A continuación, en la figura 1 se presenta el MDC que se generó en GREECE (Grupo de Investigación en Educación en Ciencias Experimentales) para el diseño de una UD sobre cambio químico con el apoyo de objetos virtuales de aprendizaje (OVA).

Como se observa en el ejemplo, el MDC se construye de abajo hacia arriba. En la parte inferior se ubican los conceptos más concretos y simples, y en la parte superior los más complejos y abstractos. Se diferencian niveles de complejidad por colores, esto orienta al profesor sobre cómo desarrollar sus actividades dependiendo de los conocimientos de sus estudiantes.

Organización de la UD

Se trata del registro de los elementos o aspectos anotados anteriormente y que se esquematizan de forma ordenada, como producto concreto que orientará la acción docente. El esquema que los autores proponen refleja el trabajo adelantado con

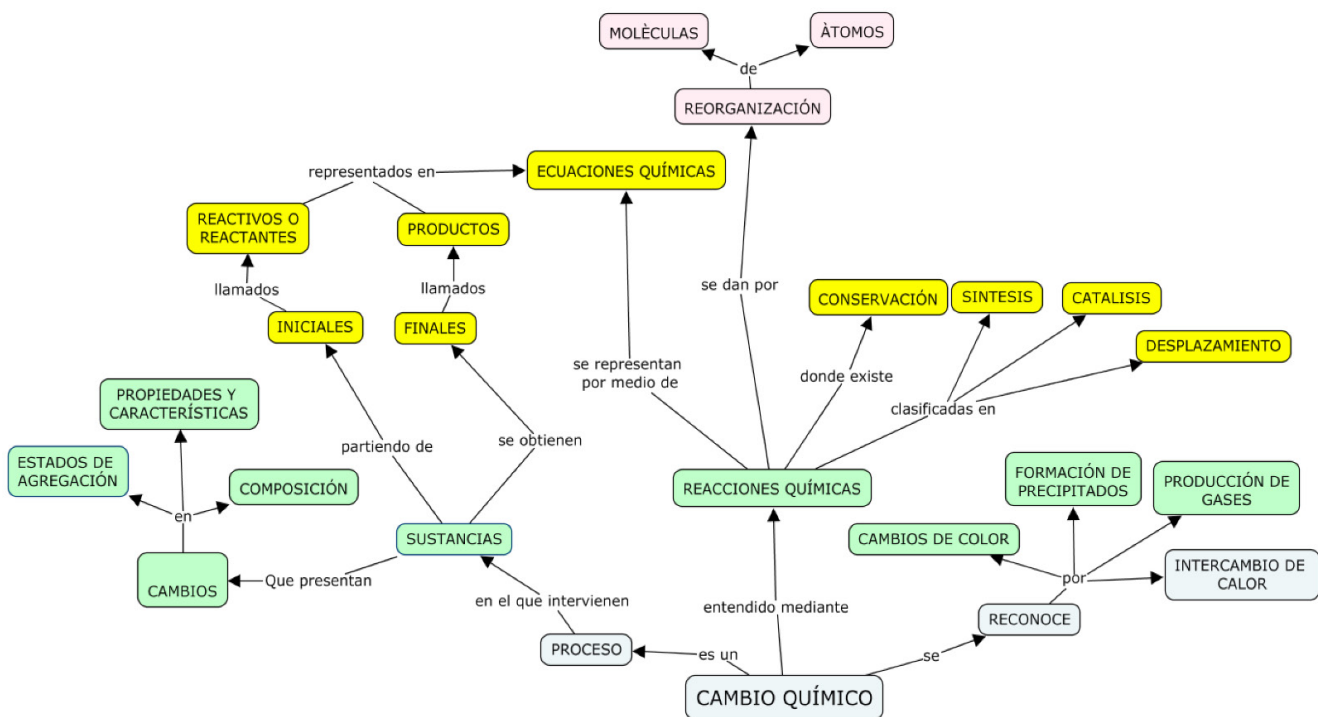


Figura 1. MDC sobre cambio químico.
Fuente: elaboración propia de los autores.

docentes en ejercicio, con estudiantes para profesor de Ciencias Naturales y como parte del diseño de unidades didácticas con estudiantes de pregrado y maestría. Este modelo de organización se ha validado con estas poblaciones y se presentó como tesis de grado; actualmente se emplea en el proyecto

de investigación mencionado. Es importante aclarar que la UD contempla lo que se describe en este numeral y en el siguiente, de tal manera que el esquema completo incluye los aspectos que se mencionan en el apartado cinco. En la tabla 2 se señalan los aspectos que identifican a la UD.

Título de la unidad. Es la denominación que el grupo de docentes, o incluso los mismos estudiantes, proponen. Puede estar relacionado con el tema central, que sea llamativo para los propios estudiantes y ser analizado desde diferentes perspectivas. Se puede formular a manera de pregunta.		
Contextualización		
Institución Nombre de la institución, tipo de educación y ubicación geográfica.	Grupo de estudiantes Características del grupo. Es importante resaltar las habilidades y destrezas, así como también hacer un diagnóstico con respecto a la población destacando los rasgos más relevantes para el desarrollo de la unidad.	
Resumen. Cobija aspectos como la importancia y necesidad del desarrollo y el orden de las actividades de la unidad. También es fundamental que se consideren las condiciones necesarias para su ejecución. Aclarar si es interdisciplinaria, en términos de participación de algunos o todos los docentes de un grado o de un nivel. Deben ser mencionadas las salidas pedagógicas (museos, parques naturales y empresas, entre otras), las visitas a otros lugares o los invitados posibles.		
Objetivo general	Se enuncia con respecto al trabajo a adelantar en el proceso de desarrollo de la UD. Se redacta pensando en los estudiantes e indica lo que se quiere conseguir con el trabajo propuesto.	
Objetivos específicos. Redactar cada uno de los objetivos teniendo en cuenta los aspectos que aparecen a continuación. Para guiarse en la formulación del objetivo de tipo comunicativo, puede revisarse la sección seis de este documento, el cual hace alusión a las habilidades cognitivo- lingüísticas.		
Actitudinal		
Procedimental		
Conceptual		
Comunicativo		
Justificación. Resalta la importancia y necesidad del desarrollo de la unidad. Se argumenta el por qué es necesario y pertinente el desarrollo de la misma, sus temáticas y actividades. Se destacan los aportes desde los mismos objetivos específicos de la unidad, así como también desde los objetivos de la institución y metas de educación.		
Población a quien va dirigida	Ciclo de educación, grado y curso.	
Tiempo. Se expresa en meses o semanas lectivas y considerando el número de horas en la semana y el calendario escolar.	Número de sesiones	Número de horas
	Es necesario, por cuestiones de organización, especificar el número de sesiones. Esto depende a su vez de la manera como están organizados los periodos escolares y el número de horas de las asignaturas y del tipo de actividades.	Para cada sesión y actividades que se desarrollan en la misma se sugiere determinar el número de horas.
Tema, tópico generativo, concepto estructurante o proyecto	General	Específicos
	Se presenta la denominación genérica como mejor se conoce lo que se piensa a estudiar.	Se puntualizan los conceptos particulares objeto de estudio.
Materiales	Se mencionan todo tipo de materiales que son necesarios para el desarrollo conveniente de las actividades que se planean en la UD. Para el caso de los recursos tecnológicos, es trascendental que se considere su uso a partir de aspectos como la edad, condición física, lingüística, étnica, de género y económica, ambiente geográfico y cultural, formas de interacción que el recurso propicia y condiciones para que los equipos tecnológicos funcionen adecuadamente (electricidad, temperatura, otros) (García-Martínez <i>et al.</i> , 2014).	
Bibliografía	Se referencian todas las fuentes (lecturas, folletos, videos y películas, entre otras) que van a ser objeto de análisis y estudio en el desarrollo de la UD.	

Fuente: elaboración propia de los autores.

Las actividades y su secuenciación

Un aspecto importante en el diseño de una UD, el cual determina el alcance de los objetivos de la misma, son las actividades. Por ello, es fundamental que el docente o el equipo de docentes sean muy metódicos a la hora de establecer los criterios de selección y secuenciación de las mismas, sus objetivos, características y la forma como se articulan en la UD. A continuación, se señalan las cuatro tipos de actividades y se describen sus particularidades, las cuales, de alguna manera, se direccionan de acuerdo a los objetivos y competencias que se quieren alcanzar y constituyen una guía para su secuenciación en el diseño de la UD (Karplus, 1977; Sanmarti, 2000). Se sugiere que la formulación de las actividades sea en forma de pregunta, ya que abre un espacio posible para orientar y despertar interés para abordar la situación planteada, generando un reto intelectual para resolverla.

1. Actividades de iniciación o de exploración.

Tienen tres objetivos fundamentales: 1) motivar a los estudiantes; 2) sirven para explorar el problema objeto de aprendizaje a través de situaciones concretas y reales, las cuales se sugieren deben ser cercanas al estudiante; 3) permiten reconocer las ideas iniciales que tienen los estudiantes sobre una temática en particular, es decir, ayuda al docente a identificar las ideas previas de los estudiantes.

2. Actividades de introducción de conceptos.

Tienen como objetivo presentar e introducir nuevos conceptos, variables y formas distintas de explicar, de analizar y observar el objeto de estudio, así como formas posibles de resolver un problema. Este tipo de actividades permiten que los estudiantes construyan distintos modelos de interpretación de los hechos, conceptos, situaciones o fenómenos objeto de estudio y reflexión.

3. Actividades de síntesis.

Esta clase de actividades tienen como objetivo identificar los nuevos

modelos construidos. Por eso, deben estar encaminadas a la organización, sistematización, reflexión y determinación de las conclusiones sobre los nuevos aprendizajes, que se pueden representar y evidenciar a través de diferentes tipos de actividades que realizan los estudiantes: textos escritos, exposiciones orales, mapas conceptuales, dibujos, esquemas, foros, chats, debates, cuestionarios, análisis de situaciones y modelos matemáticos, entre otros.

4. Actividades de aplicación y transferencia.

También se denominan actividades de generalización; están orientadas al uso y aplicación de los nuevos conocimientos en contextos o situaciones reales para el estudiante. Este tipo de actividades se pueden desarrollar a través de proyectos, planteamiento de situaciones, investigaciones escolares, juegos de rol, entre otros.

Es esencial anotar que, además del diseño y la secuenciación de las actividades, es preciso que el docente o equipo de docentes considere que las actividades deben ser motivadoras y que susciten el interés de los estudiantes. Además, deben favorecer el autoaprendizaje, el trabajo colaborativo y la autorregulación, así como potenciar el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas.

Como una forma de organizar el diseño de actividades y orientar al docente en su planeación y consecuente desarrollo y evaluación, en la tabla 3 se establece algunos criterios que se deben tener presente a la hora de esbozar y planear una actividad dentro del desarrollo de una UD. La importancia de este ejercicio radica en comprender que no es una actividad en concreto la que facilita o permite los aprendizajes, sino el conjunto de actividades planeadas, organizadas, secuenciadas y desarrolladas. Es necesario que todas las actividades se piensen teniendo en cuenta lo que los estudiantes pueden realmente hacer, que se conviertan en un reto para ellos y no en algo que es imposible desarrollar y alcanzar o que está por encima de las expectativas del docente y de las propias del

estudiante. En este contexto, el profesor analizará el aporte didáctico que se generará al desarrollar los cuatro tipos de actividades en conjunto.

El desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas a través de la UD

La educación se debe pensar como un acto comunicativo centrado en la formación de ciudadanía.

Sin embargo, la especialización de las áreas de conocimiento hace que esta visión, la mayoría de las veces, se distorsione cuando se lleva a los currículos escolares. Ha sido tendencia que, con el ánimo de mejorar la educación, se piense en la creación de procesos de formación cada vez más especializados, con mayor nivel de profundidad en ciertos campos de conocimiento. Se formaliza de esta manera el surgimiento de áreas específicas,

Nombre de la actividad	Es la denominación que se le asigna a la actividad a desarrollar. Tiene en cuenta el tema, los conceptos y contenidos a abordar. Se puede recurrir a un nombre llamativo y en forma de pregunta que tenga relación con los diferentes contenidos a trabajar y que sea atractivo y motivador para los estudiantes.	
Tipo de actividad	La clasificación se hace teniendo en cuenta: actividades de motivación, exploración o de iniciación, actividades de introducción de conceptos, actividades de síntesis y actividades de aplicación.	
Enunciado de la actividad	Hace referencia a la forma como se va presentar a los estudiantes.	
¿Por qué la clasifica como una actividad de este tipo?	Es la justificación de la secuenciación de la actividad, la cual tiene en cuenta el papel que tiene esta en el conjunto de actividades que se desarrollan a lo largo de la UD.	
¿Qué se pretende con la actividad?	Debe hacerse evidente cuál o cuáles son las pretensiones de la actividad en particular, y la manera como esta se articula a las otras. Se pueden plantear en términos de objetivos o competencias a desarrollar.	
¿Qué hace el profesor y qué hace el estudiante?	<p>Profesor</p> <p>Se especifican las acciones que el docente debe realizar para alcanzar los objetivos y para el buen desarrollo de las actividades. Incluye preguntas, instrucciones, seguimiento y tipo de evaluación, entre otros aspectos. Es decir, contempla los tres tipos de regulación que realiza el profesor: interactiva, proactiva y retroactiva.</p>	<p>Estudiante</p> <p>Al igual que con el docente, es fundamental que se delimiten las acciones que deben realizar los estudiantes, y estas están determinadas a su vez por los objetivos de la unidad y de las actividades programadas en la misma.</p>
¿Cómo se realizará el seguimiento y la retroalimentación a la actividad?	Este aspecto hace referencia a la manera como se va hacer la evaluación, sus criterios y formas. También se debe explicitar las actividades posibles de retroalimentación y, de manera particular, para aquellos estudiantes que no alcancen los objetivos o tenga dificultades para hacerlo. Es fundamental que se planeen y estructuren las preguntas que promoverán la auto y coevaluación.	
Espacio, tiempo y recursos a emplear.	<p>Espacio: aula, taller, laboratorio, salón de informática, salida de campo y visita a museo, empresa o institución, entre otros espacios físicos.</p> <p>Tiempo: horas, días, semanas y periodos que considera necesarios para el desarrollo de la actividad o conjunto de actividades de la unidad.</p> <p>Recursos: materiales, equipos y recursos económicos. También se debe prever personas de apoyo (sea docente o de función administrativa).</p>	

Fuente: elaboración propia de los autores.

las cuales están a cargo de personas que se especializan en cada uno de estas. Esta situación se ha dado durante décadas, de modo que el profesor hace énfasis en un campo de conocimiento particular. Es tal el grado de especialización de este tipo de profesional, que por momentos se olvida de los otros campos en los cuales se forma el estudiante diariamente en la escuela.

Así, el profesor de Química únicamente se ubica en los conceptos propios del campo (reacciones químicas, estequiometría y periodicidad, por citar algunos ejemplos), lo mismo ocurre en la Biología y otras áreas del saber escolar. En esta perspectiva, el docente olvida que el estudiante debe formarse como un ciudadano, es decir, con las habilidades suficientes para analizar, seleccionar, clasificar y tomar decisiones, entre otras, conforme enfrenta situaciones que se presentan en su sociedad y en el medio que lo rodea. Lo anterior requiere de habilidades comunicativas, las cuales se ponen en acción al interactuar con sus vecinos, amigos y con los demás miembros de su comunidad para expresar, de manera adecuada y pertinente, sus sentires, sus emociones, defender sus puntos de vista y preocupaciones sobre situaciones que influyen, positiva o negativamente, sobre sí mismo y su grupo social. Lo anterior lo hace mediante diferentes tipologías textuales, escritas u orales, como: descripciones, narraciones y explicaciones sobre situaciones que requieren ser expresadas a la comunidad de manera coherente, oportuna y acertada.

En el ámbito de la educación primaria y secundaria, inclusive en la universitaria, este tipo de formación ha sido relegada por tradición a los profesores de Español y áreas afines al lenguaje; quizás porque se asume que la competencia comunicativa, oral o escrita, pertenece únicamente a este campo y no se asume como una responsabilidad desde todas las áreas. En ese orden de ideas, lo que este texto propone es que profesores de otras áreas de conocimiento (Matemáticas, Física, Química, por mencionar algunas) se reconozcan

también como profesores de lenguaje, es decir, que desde sus áreas disciplinares de conocimiento pongan en acción habilidades textuales próximas a su campo. Lo anterior mediante el uso de diferentes recursos que permitan al estudiante potenciar la construcción de descripciones, narraciones y explicaciones que se dan de manera cotidiana y permanente.

Las habilidades cognitivo-lingüísticas se aprenden en todo momento en la escuela y se desarrollan mejor en los campos de conocimiento en los que se emplean. Es por ello que el profesor de otro campo de formación diferente al Lenguaje, debe orientar a sus estudiantes a comprender el nuevo lenguaje de su campo (Química, Música, etc.); ya que es él quien representa a la comunidad académica en el aula de clase. Por ejemplo, el que orienta sobre cómo hacer una buena descripción de un procedimiento en química, cómo generar una excelente explicación de un proceso en el laboratorio o cómo argumentar frente a posturas teóricas contrarias en torno a un fenómeno de la ciencia como la combustión, por citar un caso de la enseñanza de la química.

Estas habilidades se denominan cognitivo-lingüísticas (describir, definir, explicar, narrar y argumentar, entre otras), pues su empleo exige el desarrollo de habilidades cognitivas como analizar, sintetizar, discriminar, clasificar, comparar e inferir, por mencionar algunas (Jorba, 2000). En consecuencia, estas habilidades cognitivas activan las cognitivo-lingüísticas a través de la producción de diversos tipos de textos que se generan de manera escrita u oral.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, se establece una relación directa entre el conocimiento científico escolar y las habilidades cognitivo-lingüísticas al momento de generar representaciones o modelos sobre los hechos y fenómenos de la realidad cotidiana del estudiante, orientados a través de problemas didácticos generados por el profesor. Esta relación se representa en la figura 2.

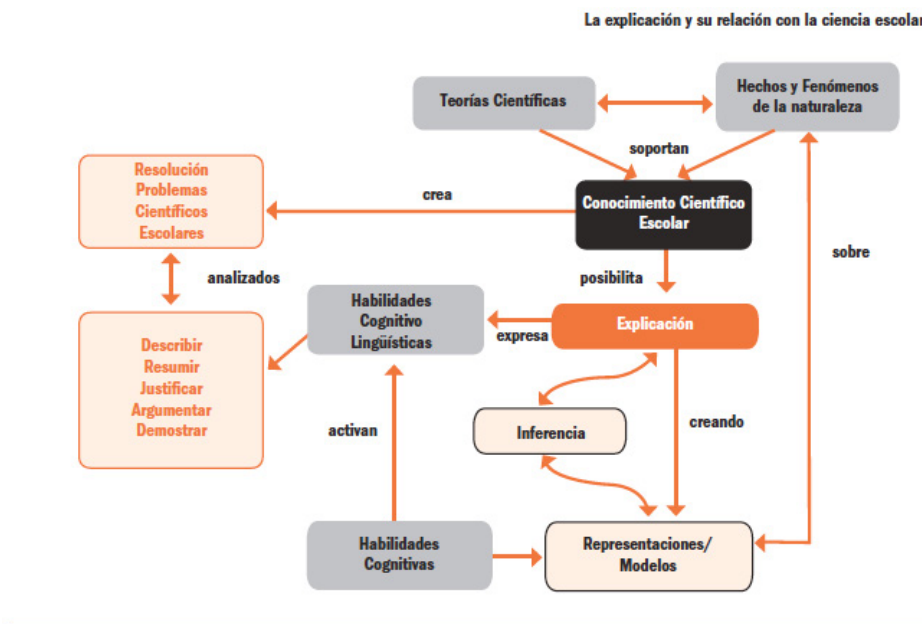


Figura 2. La explicación y su relación con la ciencia escolar.

Fuente: García-Martínez y Pinilla (2007).

Finalmente, es importante recordar, en palabras de Vigotsky (1988), que el lenguaje genera pensamiento y el pensamiento su vez el lenguaje, pues cuando se emplean palabras se generan conceptos. Lo mejor es que se desarrolle en todo momento y no solamente en ciertas áreas de conocimiento. Por lo tanto, el énfasis que se hace en la UD, desde lo comunicativo oral o escrito, pretende, entre otras cosas, que de manera consciente y bien planeada el profesor desarrolle una formación en comunicación desde su área de conocimiento, ya que de esta manera potenciará sus propias habilidades de pensamiento, así como las cognitivo-lingüísticas. Esto, a su vez, se espera, se proyecta hacia los estudiantes, no solo en la asignatura a su cargo como docente, sino en todos los campos de conocimiento, con el fin de contribuir a la formación de verdaderos ciudadanos.

El papel de las TIC como apoyo a las actividades de la UD

Los elementos de la UD hasta el momento expuestos pueden complementarse y fortalecerse con el

desarrollo de habilidades digitales. Estas se interpretan como recursos para la apropiación del uso de diferentes medios tecnológicos que promueven nuevas formas de enseñanza y aprendizaje, además de que fortalecen la comunicación efectiva y ordenada (OCDE, 2010). A su vez, deben ser el eje sobre el cual se estructuran los procesos y funciones propias de la escuela, que se asocian con el desarrollo de TIC incorporadas a la educación (Domínguez, 2009).

En este contexto, para el diseño de UD es conveniente también considerar las implicaciones del uso de estas tecnologías en la educación, que permiten el diseño de herramientas y recursos tecnológicos que pueden ser incorporados directamente en las aulas (Román, Cardemil y Carrasco, 2011). Para ello es preciso reconocer la necesidad de integrar saberes didácticos, pedagógicos, disciplinares y tecnológicos (Koehler y Mishra, 2009) como fundamentos para el diseño de propuestas que incluyan no solo las tecnologías diseñadas para tal fin, sino el desarrollo de herramientas digitales propias y con fines específicos, de tipo simulación, animación e incluso videojuegos (Abella y García-Martínez, 2010).

En este panorama, al construir una UD que se apoye en mediaciones tecnológicas se requiere también generar y potenciar en los estudiantes sus habilidades cognitivo-lingüísticas, con el fin de mejorar sus procesos de comprensión de los fenómenos y conceptos científicos. Las TIC, especialmente las plataformas informáticas y software especializados, pueden ser aprovechadas como un sistema de mediación y regulación para la planeación, desarrollo y evaluación de la UD. Un ejemplo se evidencia en el trabajo de Abella (2010), quien desarrolló una estrategia didáctica soportada en la relaciones entre historia y filosofía de la Química para mejorar la comprensión de la discontinuidad de la materia. Para ello, el autor diseñó un videojuego como elemento estructurante de la estrategia en mención.

El videojuego se concibió como mecanismo de mediación e interacción en internet, lo que creó un ambiente de actividad social en red. La red social virtual a la que se refiere es una red administrada por el profesor titular, quien por medio de diferentes fuentes de información (lecturas, videos, enlaces web) organizó y articuló las actividades para el trabajo con los estudiantes. Por medio de la red se realizó la planeación de las diferentes actividades (laboratorios, talleres, clases magistrales), y se contó con espacios para ser aprovechados según las actividades a desarrollar. Por ejemplo, se hicieron foros (para realizar debates generales), blogs (para la presentación de actividades de consulta y construcción), wikis (para organizar una enciclopedia con los términos y definiciones más significativas para los estudiantes), sección de fotos (para el registro visual de las actividades desarrolladas en clases laboratorios y eventos), sección de videos (como apoyo a las actividades previas y las conclusiones de temas) y sección de archivos (usualmente en formato Word, Power Point, Excel y PDF).

La estrategia didáctica integra el videojuego y la red como medios para evaluar, hacer seguimiento y evaluación de la propuesta, en la medida en que permiten el registro, almacenamiento y recuperación analítica de las actividades que realizan los

estudiantes. Permite también desarrollar análisis de contenidos, con lo cual se obtienen valiosos insumos para el proceso de regulación por parte del profesor y la autorregulación por parte del estudiante (Abella, 2010).

Los aspectos mencionados son ejemplo de las posibilidades que ofrecen las TIC para el mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Estos se regulan con base en los objetivos planeados por el docente, el contexto en el cual se desarrolla, los recursos disponibles y los aprendizajes que desean generar en los estudiantes; todos estos se convierten en criterios que son necesarios considerar y evaluar al momento de seleccionar el tipo de tecnología a emplear en el aula.

Evaluación de la UD

La evaluación es un proceso inherente a todos los aspectos educativos. En ese sentido, es necesario considerar, tal y como lo plantean Hernández y Moreno, que:

[...] la escuela de hoy exige nuevas maneras de relacionarse con el aprendizaje, ya que pensar y actuar en el mundo moderno implica reflexionar sobre cómo construye el ser humano conocimiento, sobre cómo genera formas de aprendizaje que permitan la apropiación del mismo y, por supuesto, sobre cuál es su papel en la cultura y en la historia. (2004, p. 206)

Enseñar, aprender y evaluar son tres procesos inseparables; no puede cambiarse uno solo sin modificar los demás (Flórez, 2001, p.109). Por ello es importante que el docente tenga en cuenta que la evaluación tiene su origen en sus propias interpretaciones sobre enseñanza y aprendizaje, lo cual orienta sus actuaciones en el aula. Esto requiere una mirada alejada de posturas tradicionales y que considere, entre otros aspectos, su modelo pedagógico y didáctico, el currículo, el contexto escolar, los propósitos de formación de sus estudiantes y los objetivos y competencias que desea desarrollar en ellos.

La evaluación debe ser un proceso continuo, flexible, integral, abierto y holístico. Debe responder y ser coherente con los objetivos propios de la unidad, con los propósitos de la institución y con los fines de la educación, entre otros. Su planeación y diseño, además de ser objeto también de evaluación (metaevaluación), debe considerar los contextos, las competencias a desarrollar y el impacto esperado. En ese sentido, los aspectos que aquí se sugieren para evaluar el diseño de la

unidad deben ser leídos como una propuesta, una guía, con la que es necesario ampliar al desarrollo y resultados de la misma. Es por ello que este ejercicio, visto como una actividad metacognitiva para el docente o equipo de profesores, permite hacer ajustes y cambios, según sea el caso.

A continuación, en la tabla 4 se propone, a manera de preguntas, aspectos que pueden guiar la evaluación de la planeación, de la puesta en marcha, alcances y resultados del desarrollo de una UD.

Aspectos a tener presente a la hora de evaluar el diseño y desarrollo de la UD	Escala valorativa			
	Nunca	Algunas veces	Frecuentemente	Siempre
¿Hay coherencia entre los objetivos o competencias y los contenidos que se quieren abordar?				
¿Plantea contenidos conceptuales, procedimentales, actitudinales y comunicativos?				
¿Se potencia el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas?				
¿Hay coherencia entre los contenidos a tratar y las actividades que se diseñan?				
¿Los contenidos son apropiados para el grupo con el cual se quiere desarrollar la unidad?				
¿Se cuenta con los materiales y los recursos didácticos necesarios?				
¿Son adecuados los procedimientos de seguimiento y evaluación?				
¿Se promueve la autoevaluación y coevaluación?				
¿Se fortalece la autorregulación?				
¿Se favorece la participación permanente de los estudiantes?				
¿Se tienen en cuenta los conocimientos y experiencias previas de los estudiantes?				
¿Los contenidos mantienen una complejidad progresiva?				
¿Los contenidos están relacionados con otras áreas o asignaturas?				
¿Se promueve la interdisciplinariedad e integración de saberes?				
¿Los aprendizajes que se pretenden alcanzar son adecuados para el nivel de los estudiantes?				
¿Las actividades responden a las necesidades e intereses de los estudiantes?				
¿Tiene en cuenta o genera motivación en los estudiantes?				
¿El desarrollo de las actividades promueve y posibilita el trabajo autónomo de los estudiantes?				

Fuente: elaboración propia de los autores.

El modelo de rúbrica anterior presenta una escala de valoración que puede modificarse y ajustarse dependiendo de los diferentes sistemas evaluativos de las instituciones escolares. Como se desprende de lo planteado en la rúbrica, la evaluación debe tener en cuenta la mirada de los actores del proceso. En este sentido, la autoevaluación contempla y tiene en cuenta al estudiante y su interpretación de sus aprendizajes; la coevaluación, centra la atención en la mirada que tiene el compañero; y, finalmente, la heteroevaluación, que la realiza el profesor como orientador del proceso.

Reflexiones finales

La labor pedagógica requiere una permanente reflexión por parte de los docentes alrededor de diversos aspectos; uno de ellos tiene que ver con su papel de diseñador. El profesor tiene la posibilidad de generar diseños curriculares en diferentes niveles, principalmente a nivel meso y micro curricular, dependiendo de las dinámicas institucionales que permitan su participación. El diseño micro curricular se constituye en su compromiso como profesional de la educación y tiene que ver con los aspectos que se han planteado en este documento. Lo anterior, en coherencia con la visión del profesor como representante en el aula de una comunidad académica especializada, que para el caso que se describe en este texto es la didáctica de las ciencias experimentales, es quien va construyendo la ciencia escolar para ser enseñada en la escuela.

Así, es el propio docente de Ciencias quien debe considerar todos los aspectos señalados en este texto de manera articulada, coherente, adecuada y pertinente a los diversos contextos socioculturales que se evidencian en las aulas. Esta diversidad tiene diferentes formas de expresarse en el espacio escolar y debe también ser considerada por el docente como una oportunidad e insumo valioso para sus propuestas didácticas. La comprensión de la diversidad cultural implica compromisos y aperturas de todos los actores que conforman la institución escolar. Independiente del espacio,

hay dos formas en las que se puede manifestar el compromiso al que apela: la primera, se refiere a la actitud de una acción abierta a la diferencia y a lo heterogéneo; y la segunda asume la condición de lo diverso y heterogéneo en cuanto a lo cognitivo, a las concepciones y cosmovisiones del sujeto. El reconocimiento de este amplio abanico de condiciones humanas significa que las particularidades que constituyen la diversidad, como la entendemos hoy, son una cuestión pública. Ya no se trata de una educación para formar ciudadanos iguales, por lo que las particularidades étnicas, religiosas, lingüísticas, sensoriales y económicas son susceptibles de atención educativa, dando sentido a la noción de educación para todos sin menoscabo de las particularidades.

En síntesis, la UD, vista como un sistema, se convierte en el producto de las reflexiones permanentes del profesorado, las cuales pueden surgir de los intereses y necesidades de los miembros de la comunidad educativa. Estos toman forma en preguntas, temas, núcleos problémicos, proyectos y tópicos generativos, entre otros, que deben ser abordados de manera sistemática en la planeación, diseño y desarrollo de la UD. Es importante decir que, en los procesos evaluativos de estas fases, se van generando nuevas dinámicas de interacción entre los elementos que constituyen y dinamizan la unidad. Lo anterior conlleva a considerar que la unidad en sí misma no es un producto acabado sino que, por el contrario, se va reconfigurando en la medida en que se pone en acción en el aula.

Hoy en día el uso de las TIC, como un elemento innovador en el aula, se convierte en un requisito, en algunos casos imprescindible, para la acción docente. Los estudiantes y docentes cuentan con diferentes dispositivos de interacción que les permite, al mismo tiempo, acceder a una gran variedad de fuentes y recursos informativos que favorecen los procesos de enseñanza y aprendizaje, así como también el desarrollo de habilidades intelectuales y la construcción de nuevas y diversas comunidades en redes sociales. Este aspecto es de

vital importancia en la medida en que estos procesos comunicativos que se generan en cada una de estas comunidades pueden favorecer el desarrollo de diferentes habilidades cognitivo-lingüísticas que, orientadas por el profesor, potencian procesos cognitivos de diferente nivel: analizar, sintetizar, discriminar, secuenciar, jerarquizar y comparar, entre otros.

Referencias

- Abella Peña, L. (2010). *Conciencias en el Quiroga Alianza Red virtual para el aprendizaje de las ciencias experimentales, en Redes escolares en el territorio de derechos. Instituto para la investigación educativa y el desarrollo pedagógico*. Bogotá: Editorial Magisterio.
- Abella Peña, L. y García-Martínez, A. (2010). *El uso de videojuegos para la enseñanza de las ciencias, nuevos desafíos al papel docente en Revista Virtual EDUCyT*. Recuperado de <http://dintev.univalle.edu.co/revistasunivalle/index.php/educyt/article/view/1817>
- Abella, L., Bonilla, M., Calderón, D., Correal, M., Gil, D., García-Martínez, A. Portilla, L. (2013). *Orientaciones específicas para la incorporación de tecnología en procesos de formación de profesores de ciencias naturales, lenguaje y comunicación, y matemáticas en contextos de diversidad para el diseño de secuencias de enseñanza aprendizaje*. Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 17(69), 21-34
- Castelblanco, J. (2010). El rol comunicador del docente de ciencias, estado del arte y proyecciones. En *Memorias del Segundo Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología*, 21, 22 y 23 de junio, Cali, Colombia.
- De Vos, W., Bulte, A. y Pilot, A. (2002). Chemistry curricula for general education: analysis and elements of a design, en J.K. Gilbert et al. (eds.), *Chemical Education: Towards Research-base Practice*(pp- 101-124). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Domínguez, M. (2009). Las TIC como apoyo al desarrollo de los procesos de pensamiento y la construcción activa de conocimientos. *Zona Próxima*, 10, 146-155.
- Flórez, R. (2001). *Evaluación, pedagogía y cognición. Docente del siglo XXI*. Bogotá: McGraw-Hill.
- García-Martínez, A., Merino Rubilar, C., Rodríguez Pineda, D., Hernández Barbosa, R. Reyes Cárdenas, F., Abella Peña, L. y Guevara Bolaños, J. C. (2014). *La formación del profesorado de ciencias en contextos de diversidad. Una mirada desde la mediación con las TIC y la construcción de diseños didácticos*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García-Martínez, A. y Pinilla, G. J. (2007). *Orientaciones curriculares en el campo de ciencia y tecnología*. Recuperado de http://www.educacionbogota.edu.co/Centro_Documentacion/anexos/publicaciones_2004_2008/101083_Ciecia%20y%20tecnologia_bja.pdf
- García-Martínez, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2014): Contribución de la historia de las ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), pp. 265-281.
- García-Martínez, Mora, W. y Enciso, S. (2005). La formación pedagógico didáctica del profesorado universitario de las áreas de ciencias naturales y tecnología. *Enseñanza de las ciencias*, número extra.
- Jorba, J. (2000). La comunicación y las habilidades cognitivo-lingüísticas. En J. Jorba, I. Gómez y A. Prat (eds.), *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situación de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*. (pp. 29-49). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, Editorial Síntesis.

- Hernández, B. y Moreno, S. M. (2007). La evaluación cualitativa: una práctica compleja. *Revista Educación y Educadores*, 10(2), 215-223.
- Hernández, R. (2010). Las biografías: un valioso recurso en las clases de Ciencias Naturales. *Revista Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 3(5), 1-20.
- Koehler, M. J. y Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.
- Karplus, R. (1977). Science Teaching and the Development of Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(14), 169-175. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.3660140212>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2010). *Habilidades y competencias del siglo XXI para los aprendices del nuevo milenio en los países de la OCDE*. París: OCDE. Recuperado de <http://goo.gl/19Gwmm>
- Osborne, J; Simon, S y Collins, S. (2010). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*. Recuperado de <https://www2.pd.infn.it/~lacaprar/ProgettoScuola/Biblio/Attitudes%20towards%20science.pdf>
- Román M., Cardemil, C. y Carrasco, A. (2011). Enfoque y metodología para evaluar la calidad del proceso pedagógico que incorpora 8 TIC en el aula. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 4(2), 8-35.
- Sánchez, G. y Valcarcel, M. V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, V., 11(l), 33-44.
- SanMarti, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En: *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. (pp. 239-266). Editorial Marfil.
- Vygotsky, L. (1988). *Pensamiento y Lenguaje*. México: Ediciones Quinto Sol.





Modelo para la evaluación de habilidades profesionales en un sistema de laboratorios a distancia

Model for the evaluation of professional skills in a System of Remote Laboratories

Modelo para avaliação de habilidades profissionais em um Sistema de Laboratórios Remotos

Omar Mar-Cornelio¹
Jorge Gulín-González²

Recibido: abril de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: Mar-Cornelio, O. y Gulín-González, J. (2018). Modelo para la evaluación de habilidades profesionales en un sistema de laboratorios a distancia. *Revista Científica*, 33(3), 332-343. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12707>

Resumen

La evaluación del comportamiento de los estudiantes en el desarrollo de sus actividades profesionales representa un elemento importante para medir su rendimiento académico. En la Universidad Central Martha Abreu de las Villas se implementan prácticas profesionales mediante un sistema de laboratorios a distancia. Sin embargo, no se cuenta con procedimientos que permitan mediar las habilidades profesionales. La presente investigación describe una solución a la problemática planteada a partir del desarrollo de un modelo para la evaluación de habilidades profesionales para el sistema de laboratorios a distancia. El modelo propuesto utiliza un enfoque multicriterio multiexperto con el empleo de mapa cognitivo difuso para representar el conocimiento causal. Se aplican dos experimentos para

comprobar el impacto de la propuesta utilizándose la prueba no paramétrica de rango con signo de Wilcoxon. Se obtuvo como resultado del primer experimento que existe una diferencia estadística significativa del control de acceso inferido por el modelo respecto al total de personas que desarrollaron las prácticas de laboratorios; en el segundo experimento se comprobó que no existe una diferencia estadística significativa del control de acceso inferido por el modelo respecto al desarrollo exitoso de las prácticas de laboratorio. Los resultados corroboran que su aplicación garantiza el diagnóstico de habilidades profesionales para el control de acceso de las prácticas de laboratorios en el sistema de laboratorios a distancia.

Palabras clave: modelo, habilidades profesionales, mapa cognitivo difuso, sistema de laboratorios a distancias.

¹. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. Correo: omarmar@uci.cu
². Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. Correo: gulinj@uci.cu

Abstract

The evaluation of student behavior in the development of their professional activities represents an important element to measure their academic performance. At the Central University Martha Abreu de las Villas, professional practices are implemented at distances through a system of remote laboratories. However, there are no procedures to mediate professional skills. The present investigation describes a solution to the problematic raised from the development of a model for the evaluation of professional abilities for the system of remote laboratories. The proposed model uses a multiexpert multicriteria approach with the use of a diffuse cognitive map to represent causal knowledge. Two experiments are applied to test the impact of the proposal using the Wilcoxon signed nonparametric range test. It was obtained as a result of the first experiment that there is a significant statistical difference of the access control inferred by the model with respect to the total of people who developed the laboratory practices; In the second experiment it was found that there is no significant statistical difference in access control inferred by the model with respect to the successful development of laboratory practices. The results corroborate that its application guarantees the diagnosis of professional skills for access control of laboratory practices in the system of remote laboratories.

Keywords: diffuse cognitive map, model, professional skills, system of remote laboratories.

Resumo

A avaliação do comportamento do aluno no desenvolvimento de suas atividades profissionais representa um elemento importante para medir seu desempenho acadêmico. Na Universidade Central Martha Abreu de las Villas, as práticas profissionais são implementadas a distâncias através de um sistema de laboratórios remotos. No entanto, não há procedimentos para mediar habilidades profissionais. A presente investigação descreve uma solução para a problemática levantada a partir do desenvolvimento de um modelo para a avaliação de habilidades profissionais para o sistema de laboratórios remotos. O modelo proposto utiliza uma abordagem multicritério multiexpertista com o uso de um mapa

cognitivo difuso para representar o conhecimento causal.

Dois experimentos são aplicados para testar o impacto da proposta usando o teste de alcance não paramétrico assinado por Wilcoxon. Obteve-se como resultado do primeiro experimento que existe uma diferença estatisticamente significativa do controle de acesso inferido pelo modelo em relação ao total de pessoas que desenvolveram as práticas laboratoriais; No segundo experimento, verificou-se que não há diferença estatisticamente significativa no controle de acesso inferido pelo modelo em relação ao desenvolvimento bem-sucedido de práticas de laboratório. Os resultados corroboram que sua aplicação garante o diagnóstico de habilidades profissionais para controle de acesso das práticas laboratoriais no sistema de laboratórios remotos.

Palavras-chaves: modelo, habilidades profissionais, mapa cognitivo difuso, sistema de laboratório de distância.

Introducción

El proceso de enseñanza aprendizaje de la automática se adapta al actual contexto en el que las tecnologías de la información y las comunicaciones marcan una nueva forma de desarrollar las actividades en los sistemas educacionales. En la Universidad Central Martha Abreu de las Villas se implementan prácticas de laboratorios mediante un sistema de laboratorios a distancia (SLD), con las que es posible la aplicación del contenido recibido, ya sea presencial o a distancia para desarrollar habilidades profesionales. A partir de este proceso, el estudiante materializa los conocimientos adquiridos en laboratorios equipados en correspondencia con la asignatura o perfil que se requiera (Saenz, Chacon, De La Torre, Visioli y Dormido, 2015; Samuelsen y Graven, 2016).

En este contexto, el usuario puede realizar las prácticas en laboratorios físicos, con equipos afines a la materia recibida (variante altamente que resulta costosa para ser aplicada en el sistema educacional cubano) (Moody, Alonso, Barbosa y Morales, 2016; Ivanov, Pezzei, Plank, Pock y Leitgeb,

2016; Luthon y Larroque, 2015; Mar, Leyva y Santana, 2015).

Sin embargo, la evaluación de las habilidades de los usuarios que realizan las prácticas de laboratorios es un problema aún sin resolver. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo útil para la evaluación de habilidades profesionales.

Materiales y métodos

El modelo muestra el comportamiento del razonamiento (Singh, 2011) en el que, identificadas las habilidades profesional, se gestionan las relaciones casuales (Bueno y Salmerón, 2009), permitiéndose modelar el sistema con retroalimentación causal de grados difusos (Leyva y Rosado, 2012). El modelo propuesto se basa en un enfoque multicriterio multiexperto (Grajales y Serrano, 2013) representado mediante mapas cognitivos difusos (Merigóy Gil, 2010), el cual cuenta con las siguientes actividades (Mar, Leyva y Santana, 2015; Mar y Gulín, 2017):

- Actividad 1: identificar las habilidades profesionales.
- Actividad 2: obtener y agregar los mapas cognitivos difusos.
- Actividad 3: realizar el análisis estático.
- Actividad 4: diagnosticar y determinar el control de acceso a las prácticas de laboratorios.
- Actividad 5: generar el sistema de recomendaciones.
- Actividad 6: realizar análisis de estabilidad.

A continuación, se presenta el flujo de trabajo propuesto para el diagnóstico de habilidades profesionales y se hace la descripción textual de cada actividad fundamentando el modelo matemático que sustente el proceso. El proceso tomó como base las propuestas referidas en la literatura basándose sobre relaciones de preferencia lingüística (Calle, 2009). La figura 1 presenta el flujo de trabajo del modelo.

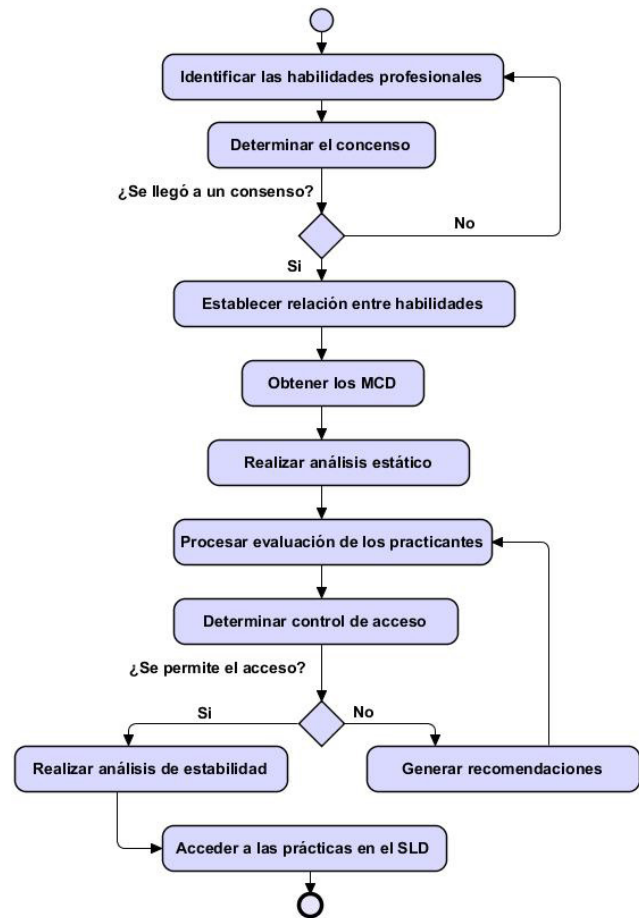


Figura 1. Flujo de trabajo del modelo.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Identificar las habilidades profesionales

El componente para identificar las habilidades profesionales se define como la tupla $\{E, Hp\}$, donde:

- E representa el conjunto no nulo de expertos que intervienen en el proceso para identificar las habilidades profesionales.
- Hp representa el conjunto de requisitos o habilidades profesionales a identificar mediante la consulta a expertos.

Para el conjunto de expertos que intervienen en el proceso se debe cumplir como condición necesaria: que el dominio de valores que representa los expertos no sea nulo. Diferentes autores han teorizado sobre el número óptimo de expertos a utilizar

en procesos de este tipo (Artola, 2002; Garza, 2012). Desde estos mismos autores se asume como umbral que el dominio de los expertos $E_i \rightarrow \exists, 7 \leq i \leq 15$ se puede expresar mediante la ecuación (1).

$$E_i = \{Hp_1, Hp_2, \dots, Hp_r\}, r \geq 1, r \in N, r \neq \infty \quad (1)$$

Para la identificación de las habilidades profesionales se utilizó el método Delphi, con el cual se pudo obtener el conocimiento de los expertos en condiciones de anonimato, garantizándose una dispersión geográfica de los participantes (González, 2013; Bouza, Castro, García y Rueda, 2016).

Para aplicar el método Delphi se necesita la identificación de los expertos en el área del conocimiento de la automática y sistemas computacionales, para ello se consideraron un grupo de criterios como:

- Que los candidatos ostenten las categorías docentes principales de profesor auxiliar o profesor titular.
- Que los candidatos posean más de 10 años de trabajo como profesor universitario vinculado a la automática y sistemas computacionales.
- Que los candidatos tengan publicadas sus experiencias sobre automática y sistemas computacionales.
- Que se garantice participación de al menos tres instituciones nacionales y una extranjera.

Para la selección de los expertos se revisó la síntesis curricular de los candidatos, seleccionándose 11. A continuación, se enuncian las características de este grupo que avala la calidad de los mismos para la investigación:

- El 81.8% proviene del sistema educacional cubano.
- El 18.2% proviene de dos universidades extranjeras.
- El 63.6% ha trabajado en procesos industriales.
- El 100% ha publicado al menos cinco artículos sobre sus experiencias en automática y sistemas computacionales.

Para la identificación de las habilidades profesionales se realizó un estudio de la literatura científica sobre el tema, así como de las experiencias documentadas con la ayuda de expertos, esto a partir del método Delphi en su primera ronda. Los resultados obtenidos fueron sometidos al grupo focal exploratorio en el cual se enriqueció la propuesta.

Por último, se aplicó la segunda ronda de Delphi con las informaciones procesadas en el paso anterior. Como resultado, se obtuvo un grupo de habilidades profesionales y recomendaciones utilizadas para enriquecer la investigación.

Identificación de habilidades profesionales de la Ingeniería en Automática (Delphi ronda 1)

A partir de las habilidades profesionales rescatadas de la revisión bibliográfica, se tomó como punto de partida las propuestas por Santana (2012) en su investigación doctoral. Se realizó la primera ronda de consulta con los expertos para adaptar al contexto nacional. La encuesta aplicada fue abierta en su primera ronda para identificar los criterios de los expertos a incorporar.

Al realizar una comparación con los resultados se observa la correspondencia entre la votación de los expertos y la propuesta antes identificada.

El grupo de habilidades profesionales identificadas una vez concluida la primera ronda de Delphi tuvo un nivel de conformidad superior al 60%, por lo que se asumen estas habilidades como parámetros de entrada al modelo. Otros elementos a valorar son la identificación a partir de las preguntas abiertas realizadas a los expertos de nuevas habilidades profesionales que no estaban recogidas inicialmente.

Identificar habilidades profesionales mediante el método grupo focal

El grupo focal exploratorio se realizó con el objetivo de validar las habilidades identificadas en

la consulta a expertos. Se incorporan para ello las nuevas habilidades propuestas en el proceso.

Para el desarrollo del grupo focal se conformaron dos equipos de cinco expertos y se realizaron dos sesiones de trabajo. En la primera, el moderador presentó las habilidades profesionales identificadas, así como las propuestas por los expertos. Durante esta sesión los dos grupos validaron las habilidades y realizaron propuestas de recomendaciones.

En la segunda sesión se reunieron los dos grupos conformados para determinar el consenso de los elementos analizados y las propuestas generadas. Como resultado del análisis de la segunda sesión, se llegó al consenso de los siguientes elementos:

- Mantener 9 de las 11 habilidades profesionales identificadas en el proceso.
- Incorporar las dos habilidades propuestas por los expertos en la primera ronda de Delphi: capacidad para analizar el funcionamiento de un sistema de control y capacidad para determinar que una propuesta de solución es incorrecta.

Identificación de habilidades profesionales de la Ingeniería en Automática (Delphi ronda 2)

A partir de la conceptualización de las habilidades profesionales identificadas y la propuesta de recomendaciones resultantes del grupo focal exploratorio, se aplicó otra encuesta para la segunda ronda de expertos. Estos volvieron a dar su consideración sobre las habilidades profesionales y su obtuvo un consenso superior a la primera ronda. Así mismo, los expertos valoraron el uso de las recomendaciones para el diagnóstico de habilidades profesional; se observó también una alta concordancia con las valoraciones emitidas del grupo focal, que fueron en todos los casos por encima del 72%.

Del análisis antes realizado se pudo definir las habilidades profesionales que se utilizarán como entradas al modelo. Dichas entradas permitirán

establecer las relaciones causales objeto de estudio para clasificar las diferentes alternativas en función del control de acceso a las prácticas de laboratorios. De igual manera, se determinó un conjunto de recomendaciones que orientan las diferentes alternativas hacia el crecimiento profesional.

Obtener y agregar los mapas cognitivos difusos

Esta actividad tiene como objetivo la representación del conocimiento causal expresado por los expertos sobre el conjunto de habilidades profesionales. Se basa en la utilización de un enfoque multiexperto con una participación recomendada de 7 a 15 expertos en el área de conocimiento del objeto de estudio (Garza y Salinas, 2005; Trujillo *et al.*, 2015). La figura 2 muestra el flujo de trabajo para la obtención del modelo causal.

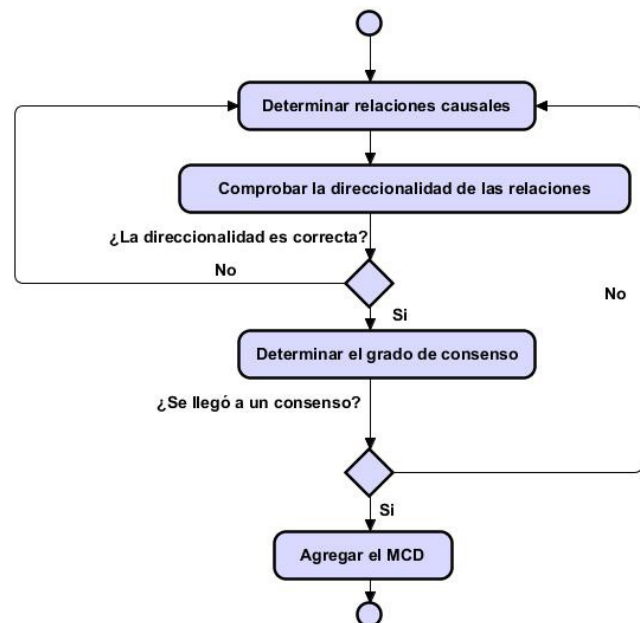


Figura 2. Flujo de trabajo para la obtención del modelo causal.

Fuente: elaboración propia de los autores.

A continuación, se describe el flujo de trabajo para la obtención del modelo causal:

- Determinar las relaciones causales: a partir de la valoración emitida por los expertos sobre los

diferentes conceptos se establecen las relaciones causales y se precisa la influencia causal. La influencia puede ser representada positivamente o negativamente, así como el peso de las relaciones para lo cual se utiliza el método 2 tuplas lingüísticas en la representación propuesta por Pérez (2014), tal como muestra la tabla 1.

- Comprobar la direccionalidad de las relaciones: la comprobación de la direccionalidad en la relación permite, a partir de las valoraciones emitidas por los expertos, conocer si un experto introdujo incorrectamente la dirección de la relación causal.
- Determinar el grado de consenso: este es el paso previo a la agregación de los modelos mentales. Permite conocer si existe consenso para las relaciones causales propuestas entre el grupo de expertos.
- Agregar los MCD: el proceso de agregación permite, una vez obtenido el consenso entre los expertos, agregar los modelos causales individuales propuestos en una única representación. La representación agregada constituye la idealización del conocimiento expresado en las relaciones causales de todos los expertos que intervinieron en el proceso.

Para expresar las relaciones causales se utiliza el enfoque lingüístico difuso con dos tuplas (Calle, 2009; Doña, 2008). Este enfoque facilita la forma de interactuar de los expertos para la representación del conocimiento causal.

Se puede formalizar la obtención de los mapas cognitivos difusos como un problema de toma de decisiones en grupo. El conjunto de expertos utiliza un contexto lingüístico para expresar la causalidad entre los diferentes conceptos, tal que:

$$E_i = \{e_1, \dots, e_n\} \quad (2)$$

Donde E_i representa el dominio de expertos que intervienen en el proceso para expresar el grupo de modelos mentales individuales mediante un

conjunto de términos lingüísticos difusos S propuestos por Pérez (2014), tal como muestra la tabla 1,

$$S_i = \{s_0, \dots, s_k\} \quad (3)$$

Tabla 1. Conjunto de términos lingüísticos empleado.

S0	Negativamente muy fuerte (NMF)	(-1;-1;-0.75)
S1	Negativamente fuerte (NF)	(-1;-0.75;-0.50)
S2	Negativamente media (NM)	(-0.75;-0.0;-0.25)
S3	Negativamente débil (ND)	(-0.50;-0.25;0.0)
S4	Cero (C)	(-0.25;0.0;0.25)
S5	Positivamente débil (PD)	(0.0;0.25;0.50)
S6	Positivamente media (PM)	(0.25;0.50;0.75)
S7	Positivamente fuerte (PF)	(0.50;0.75;1)
S8	Positivamente muy fuerte (PMF)	(0.75;1;1)

Fuente: elaboración propia de los autores.

En la anterior se expresan las correlaciones causales entre los conceptos que intervienen en el proceso (Leyva, Pérez, Febles y Gulín, 2013) y que representan la agrupación de las habilidades profesionales H_p .

$$H_p = \{Hp_1, \dots, Hp_r\}, r \geq 1, r \in N, r \neq \infty \quad (4)$$

El peso de las conexiones de los conceptos que van desde Hp_1 hasta el concepto Hp_r , expresado por los expertos E , es representado mediante dos tuplas lingüísticas propuestas por (Espinilla, Jun y Martínez, 2011), tal como se expresa en la ecuación 5.

$$w_{ij}^E = (s_u, \alpha)_{ij}^E \quad (4)$$

Donde:

w_{ij} : vector de correlación expresado por los expertos.

s_u : valor del término lingüístico apuntados por u definidos en la tabla 1.

α : una traslación simbólica.

La comprobación de la direccionalidad de las relaciones consiste en: validar si la relación causal expresada por el grupo de expertos E desde E_1 hasta E_k poseen el mismo sentido causal. Las relaciones causales expresadas por los expertos E_i sobre el concepto Hp_r respecto al concepto $Hp_r + 1$ tienen que poseer el mismo sentido de implicación.

Si, durante el proceso de comprobación de las direccionalidades, se identifican inconsistencias en las relaciones expresadas por un experto E_i , con respecto al resto de los expertos E_n , se pide que sea valorada la direccionalidad expresada por este.

Para determinar el grado de consenso en grupo se han realizado diversas investigaciones (Mendonça, Chron, Finocchio y Mello, 2015). En esta investigación se asume la propuesta presentada por Pérez (2014).

El grado de consenso consiste en determinar para cada relación causal expresada por los expertos E_i su correspondiente valor β ; el dominio de valores definidos para este intervalo está comprendido cómo: $\beta \in N, 0 \leq \beta \leq 1$. El grado de consenso puede expresarse como β_{ij}^E , y es calculado de la siguiente forma (Pérez, Leyva y Estrada, 2014):

$$\beta_{ij}^E = \Delta^{-1}(s_w, \alpha)_{ij}^E = u \quad (6)$$

Siendo Δ^{-1} la función de transformación.

Por cada par de expertos $E_k, E_t, (k < t)$ se determina la matriz de similaridad.

$SIM_{kt} = (sim_{ij}^{kt})^{n \times n}$, $sim_{ij}^{kt} \in [0,1]$ calculada de la siguiente forma:

$$sim_{ij}^{kt} = 1 - \frac{|\beta_{ij}^k - \beta_{ij}^t|}{g} \quad (7)$$

La matriz de consenso $CM = (cm_{ij})^{n \times n}$, que representa la similaridad entre todas las relaciones causales dadas por los expertos y que contiene la información a partir de la cual se va a calcular el grado de consenso, se obtiene de la siguiente forma:

$$cm_{ij} = OAG_1(SIM_{ij}) \quad (8)$$

Donde OAG_1 es un operador de agregación $SIM_{ij} = \{sim_{ij}^{12}, \dots, sim_{ij}^{1m}, \dots, sim_{ij}^{(m-1)m}\}$ y representa la similaridad en las opiniones de los expertos con respecto a la relación causal existente entre (C_i, C_j) y cm_{ij} es el grado de consenso alcanzado por el grupo de expertos con respecto a la relación causal existente entre (C_i, C_j) .

El grado de consenso cn_i con respecto a la influencia que ejerce el nodo C_i (en caso de no permitirse la autoconexión) es calculado de la siguiente forma:

$$cn_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n cm_{ij}}{n - 1} \quad (9)$$

Finalmente, el grado de consenso general es calculado.

$$cg = \frac{\sum_{i=1}^n cn_i}{n} \quad (10)$$

La agregación de los mapas cognitivos difusos consiste en la fusión del conocimiento causal expresado individualmente por el grupo de expertos para representar las relaciones entre los conceptos (Kosko, 1988). La agregación de conocimiento permite mejorar la fiabilidad del modelo final, al hacerlo menos susceptible a errores (Stach, Kurgan y Pedrycz, 2010).

Durante la determinación de las relaciones causales se obtiene un arreglo denominado matriz de adyacencia, la cual es representada a partir de los valores asignados a los arcos y puede ser expresada como:

$$M = \begin{bmatrix} \ddots & \ddots & \ddots \\ \ddots & \ddots & \ddots \\ \ddots & \ddots & \ddots \end{bmatrix} \quad (11)$$

La matriz de adyacencia $M = M(Hp_i, Hp_j)$ representa el valor causal de la función del arco, el nodo Hp_i que imparta Hp_j representando un vértice. Hp_i incrementa causalmente a Hp_j si $M_{ij} = -1$, y no imparta causalmente si $M_{ij} = 0$.

El proceso de agregación tiene lugar a partir del establecimiento de una función promedio de las matrices que representan el conocimiento causal de los expertos, tal como muestra la siguiente expresión.

$$VA_{ij} = \frac{\sum W_{ij}}{E} \quad (12)$$

Donde:

VA_{ij} : valor agregado.

E : cantidad de expertos que participan en el proceso.

W_{ij} : vector de correlación expresado por los expertos para los criterios Hp_{ij} .

Los valores agregados emitidos por los expertos agrupados mediante la matriz de adyacencia conforman las relaciones con los pesos de los nodos, a través del cual es generado el mapa cognitivo difuso resultante (White y Mazlack, 2011).

Diseño experimental

Con el objetivo de validar la investigación se realizó un experimento. La propuesta de diseño experimental está guiada por una secuencia de ocho pasos propuesto por Grau y Correo (2004).

A continuación, se describen los pasos propuestos para realizar un experimento:

Paso 1. Decidir cuántas y cuáles variables independientes y dependientes son incluidas en el experimento.

Para identificar las variables de la investigación se parte del planteamiento realizado en el diseño teórico, en el que se define como hipótesis: el desarrollo y validación de un modelo para el diagnóstico de habilidades profesionales que utilice mapas cognitivos difusos, contribuirá al control de acceso de las prácticas de control automático en un SLD. Así, es posible identificar en el contexto de la presente investigación las siguientes variables:

- Variable independiente: modelo para el diagnóstico de habilidades profesionales.
- Variable dependiente: contribución al control de acceso de las prácticas de control automático en un SLD.

Paso 2. Elegir los niveles de manipulación (nivel de medición) de las variables independientes y traducirlos en tratamientos experimentales (convertir variables teóricas a manipular en grupos o tratamientos).

Este paso no es aplicable en la investigación en cuestión, ya que no se desea la manipulación de la variable independiente.

Paso 3. Elegir o desarrollar un instrumento o los instrumentos para medir las variables dependientes.

Los instrumentos de medición utilizados para la medición en la preprueba y post prueba estuvieron soportados sobre el SPSS v13.0 y el Weka 3.7.10.

Paso 4. Seleccionar el diseño experimental a realizar. En el caso de experimentos verdaderos, decidir si los participantes se aleatorizan o aparecen respecto a alguna(s) variable(s).

Se selecciona el pre experimento del tipo pre y post prueba con un solo grupo

$$GO_1XO_2 \quad (13)$$

Donde:

G : grupo experimental utilizado.

X : condición experimental (variable independiente de la hipótesis).

O_1, O_2 : medición de la variable dependiente de la hipótesis (O_1 , preprueba O_2 , postprueba).

Para el diseño propuesto no se desea manipular la variable independiente, por lo que no es necesaria la introducción de un grupo de control. El

resultado experimental expresará la variación de la variable dependiente en relación con su historial.

Paso 5. Seleccionar una muestra de personas para realizar el pre experimento.

Pre prueba O_1 , condición experimental (X) y post prueba O_2 :

G: 54 controles de acceso.

O_1 : medición de la variable dependiente de la hipótesis sobre la aplicación del modelo.

X: aplicación del modelo.

O_2 : medición de la variable dependiente de la hipótesis después de la aplicación del modelo.

En el análisis de los resultados se utilizó como método estadístico la prueba no paramétrica de rango con signo de Wilconxon.

Paso 6. Si se trata de sujetos, reclutarlos. Ello implica tener contacto con ellos, dar las explicaciones necesarias y “citarlos”. Dar facilidades y motivarlos.

Paso 7. Aplicar las pre pruebas, tratamientos y post pruebas.

Paso 8. Recolectar los datos y analizar los mismos con las pruebas estadísticas pertinentes.

Resultados y discusiones

Declaración del pre experimento uno

El pre experimento está diseñado para comparar el control de acceso real y el control de acceso inferido por el modelo propuesto.

Objetivo: demostrar que el control de acceso real y el control de acceso inferido por el modelo difiere estadísticamente.

Método: determinar que hay diferencia estadística significativa entre el control de acceso real y el control de acceso inferido mediante la prueba no paramétrica de los rangos con signo Wilconxon.

De acuerdo al experimento realizado, se alcanzaron los siguientes resultados:

Se comprobó el control de acceso real y el control de acceso inferido por el modelo para 54 casos mediante la prueba no paramétrica de rango con signo Wilconxon.

Medición

- 1) Control de acceso real (pre prueba).
- 2) Control de acceso inferido por el modelo (post prueba).

Hipótesis de la prueba de Wilconxon

H_0 : no hay diferencia entre la medida del control de acceso real y el control de acceso inferido por el modelo.

H_1 : hay diferencia entre la medida del control de acceso real y el control de acceso inferido por el modelo.

Regla de decisión: si $P \geq 0.05$ no se rechaza la hipótesis H_0 .

Tabla 2. Estadística de muestra relacionadas.

		Mediana	N	Z	Sin(p_valor)
Par	Control de acceso real.	54	54	1.25	0.105
	Control de acceso inferido por el modelo.	28			0.042

Fuente: elaboración propia de los autores.

Los resultados experimentales muestran un $p_{valor} < 0.05$, a partir del p_valor obtenido, se rechaza la hipótesis nula, la cual indica que hay diferencia estadística significativa entre los valores del control de acceso real y el control de acceso inferido por el modelo. $Z=1.25$ p_valor 0.105. La diferencia estadística significativa que

demuestra el experimento representa la inexistencia de un mecanismo de control de acceso para el SLD.

Declaración del pre experimento dos

El pre experimento está diseñado para comparar el resultado de las prácticas de laboratorios realizadas satisfactoriamente con respecto al control de acceso inferido por el modelo propuesto.

Objetivo: demostrar que el control de acceso inferido por el modelo no difiere estadísticamente respecto al desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios.

Método: determinar que no hay diferencia estadística significativa entre el control de acceso inferido por el modelo y el desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios mediante la prueba no paramétrica del rango con signo Wilconxon.

Del experimento realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

Se comprobó que el control de acceso inferido por el modelo se corresponde con el desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios de 43 casos mediante la prueba no paramétrica de rango con signo Wilconxon.

Medición

1. Control de acceso inferido por el modelo (pre prueba).
2. Desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios (post prueba).

Hipótesis de la prueba de Wilconxon

H_0 : no hay diferencia entre la medida del control de acceso inferido por el modelo y el desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios.

H_1 : hay diferencia entre la medida del control de acceso inferido por el modelo y el desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios.

Regla de decisión: Si $P \geq 0.05$ no se rechaza la hipótesis H_0 .

Tabla 3. Estadística de muestra relacionadas.

		Mediana	N	Z	Sin(p_valor)
Par	Control de acceso inferido por el modelo.	28	54	1.2	0.00
	Desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios.	24			0.00

Fuente: elaboración propia de los autores.

Los resultados experimentales muestran un $p_{valor} > 0.05$, a partir del p_valor obtenido. No se rechaza la hipótesis nula, la cual indica que no hay diferencia estadística significativa entre los valores del control de acceso inferido por el modelo y el desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios. $Z=1.2$ $p_valor = 0.00$. La diferencia estadística no significativa demuestra que el mecanismo de control de acceso a las prácticas de laboratorios para el SLD respecto al desarrollo satisfactorio de las prácticas de laboratorios es correcto, o lo que es lo mismo, que las personas que acceden a las prácticas de laboratorios poseen el conjunto de habilidades profesionales para realizar las mismas.

Conclusiones

El modelo para el diagnóstico de habilidades profesionales se nutre del conocimiento de los expertos para representar el conocimiento causal de la base de inferencia del modelo para establecer el control de acceso a las prácticas de laboratorios.

A partir de la implementación del diseño experimental para validar la solución mediante la correlación existente entre las variables objeto de estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se identifica diferencia estadística entre el control de acceso real realizado y el control de acceso inferido por el modelo para el diagnóstico de habilidades, elemento que evidencia la necesidad de implementar mecanismos para el diagnóstico de habilidades.

- Se constata que el control de acceso inferido por el modelo no difiere estadísticamente con el desarrollo exitoso de las prácticas de laboratorios, lo que demuestra que la utilización del modelo para el diagnóstico de habilidades garantiza la clasificación de las habilidades profesionales para el desarrollo de las prácticas de laboratorios.

Referencias

- Artola, M. (2002). *Modelo de evaluación del desempeño de empresas perfeccionadas en el tránsito hacia empresas de clase en el sector de servicios ingenieros en cuba*. La Habana: Universidad de Matanzas.
- Bouza, C., Castro, C., García, J. y Rueda, M. (2016). Una clase de estimadores basados en una razón: muestreo simple aleatorio y muestreo por conjuntos ordenados. *Revista Investigación Operacional*, 37(1). Recuperado de <http://ojs.uh.cu/InvestigacionOperacional/index.php/InvOp/article/view/495/459>
- Bueno, S. y Salmerón, J. (2009). Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5221-5229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.072>
- Calle, R. (2009). *Evaluación del Desempeño: nuevos enfoques desde las teorías de subconjuntos difusos y de la decisión multi-criterios* (tesis doctoral). Universidad de Valladolid.
- Doña, J. (2008). *Modelado de los procesos de toma de decisión en entornos sociales mediante operadores de agregación OWA*. Málaga, España: Universidad de Málaga. Recuperado de <http://www.lcc.uma.es/~jmdona/Borrador%20TESIS%20040308.pdf>
- Espinilla, M., Jun L. y Martínez, L. (2011). An extended hierarchical linguistic model for decision-making problems. *Computational Intelligence*, 27(3), 489-512. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8640.2011.00385.x>
- Garza, R. (2012). Concepción de un procedimiento utilizando herramientas cuantitativas para mejorar el desempeño empresarial. *RII*, 33(3).
- Garza, R. y Salinas, C. (2005). Aplicación de las técnicas multicriterio multiexpertos dentro del perfil del ingeniero industrial. *RII*, 6(1).
- González, J. (2013). Propuesta de algoritmo de clasificación genética. *RCI*, 4(2), 37-42.
- Grajales, A. y Serrano, E. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, 36.
- Grau, R. y Correa, C. (2004). *Metodología de la investigación*. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué, Coruniversitaria.
- Ivanov, H., Pezzei, P., Plank, T., Pock, C. y Leitgeb, E. (2016). Design of a hardware channel emulator as lab demonstrator for detailed verification of long-distance FSO systems. En *International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications* (CoBCom). DOI: <https://doi.org/10.1109/COBCOM.2016.7593517>
- Kosko, B. (1988). Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2(4), 377-393. DOI: [https://doi.org/10.1016/0888-613X\(88\)90111-9](https://doi.org/10.1016/0888-613X(88)90111-9)
- Leyva, M. y Rosado, R. (2012). Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos. *Ciencias de la Información*, 2(43). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181423798006>
- Leyva, M., Pérez, K., Febles, A. y Gulín, J. (2013). Técnicas para la representación del conocimiento causal: un estudio de caso en Informática Médica. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 24(1), 78-83.
- Luthon, F. y Larroque, B. (2015). Remote Laboratory for Game-Like Training in Electronics. *Learning Technologies, IEEE Transactions on*, 8(3), 311-321. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2386337>

- Mar, O. y Gulín, J. (2017). Competency assessment model for a virtual laboratory system and distance using fuzzy cognitive map. *Revista Investigación Operacional*, 38(2). Recuperado de <http://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/38217/38217-07.pdf>
- Mar, O., Leyva, M. y Santana, I. (2015). Modelo multicriterio multiexperto utilizando mapa cognitivo difuso para la evaluación de competencias. *Ciencias de la Información*, 46(2). Recuperado de <http://cinfo.idict.cu/index.php/cinfo/article/download/700/530>
- Mendonça, I. R. Chrun, Finocchio, M. A. F. y Mello, D. E. (2015). Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in an University. *IEEE Latin America Transactions*, 13(12). DOI: <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7404928>
- Merigó, J. y Gil, A. (2010). New decision-making techniques and their application in the selection of financial products. *Information Sciences*, 180(11), 2085-2094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.01.028>
- Moody, J. A. O., Alonso, R. E. S., Barbosa, J. J. G. y Morales, G. R. (2016). Virtual Laboratories for Training in Industrial Robotics. *IEEE Latin America Transactions*, 14(2), 665-672. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7437208>
- Pérez, K. (2014). *Modelo de proceso de logro de consenso en mapas cognitivos difusos para la toma de decisiones en grupo*. (tesis doctoral). Doctorado en Ciencias Técnicas, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.
- Pérez, K., Leyva M. y Estrada V. (2014). Proceso de consenso en modelos mentales y aplicación al desarrollo de software ágil en bioinformática. *Revista Cubana de información en ciencias de la salud*, 25(3), 318-332.
- Saenz, J., Chacon, J., De La Torre, L., Visioli, A. y Dormido, S. (2015). Open and Low-Cost Virtual and Remote Labs on Control Engineering. *Access, IEEE*, 3, 805-814. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2442613>
- Samuelsen, D. A. H. y Graven, O. H. (2016). Remote laboratories in engineering education - an overview of implementation and feasibility. En *LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.050>
- Santana, I. (2012). *Herramientas para la docencia en automática orientadas hacia la metodología ECTS* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid.
- Singh, A. (2011). *Architecture value mapping: using fuzzy cognitive maps as a reasoning mechanism for multi-criteria conceptual design evaluation* (tesis de posdoctorado). Universidad de Missouri, Missouri, EE. UU.
- Stach, W., Kurgan, L. y Pedrycz, W. (2010). Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps. En M. Glykas (ed.), *FuzzyCognitiveMaps* (pp. 23-41). Berlín: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-03220-2_2
- Trujillo, J., Martínez, M., Velásquez, T., Contreras, A., Bolívar, H., Vallejo, J. D. y Pérez, J. F. (2015). Methodology for decisions making in transportation logistics function. En *Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093776>
- White, E. y Mazlack, D. (2011). Discerning suicide notes causality using fuzzy cognitive maps. En *FuzzySystems (FUZZ), IEEE International Conference On*. DOI: <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2011.6007692>





Comprensión de futuros profesores de ciencia sobre aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en cuatro controversias de historia de la ciencia

Pre-service science teachers' understanding of epistemic aspects of the nature of science in four controversies from the history of science

Compreensão de futuros professores de ciência sobre aspectos epistêmicos da natureza da ciência em quatro controvérsias da história da ciência

José Antonio Acevedo-Díaz¹
María del Mar Aragón-Méndez²
Antonio García-Carmona³

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: Acevedo-Díaz, J. A., Aragón-Méndez, M. M. y García-Carmona, A. (2018). Comprensión de futuros profesores de ciencia sobre aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en cuatro controversias de historia de la ciencia. *Revista Científica*, 33(3), 344-355. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13355>

Resumen

Se presenta un análisis global de los resultados de cuatro estudios que evalúan la comprensión de futuros profesores de ciencia de Educación Secundaria sobre aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia (NDC). Para ello, se utilizan cuatro controversias de historia de la ciencia (HDC) como contexto de enseñanza/aprendizaje, cuya implementación en el aula se lleva a cabo mediante un enfoque crítico y reflexivo. El análisis realizado se concreta en determinar las referencias en las respuestas de los futuros profesores de ciencia a los distintos indicadores epistémicos de las rúbricas de evaluación, así como en la cantidad de veces que esos indicadores son aludidos en total. Los resultados obtenidos permiten concluir que los futuros profesores de ciencia, en general, mejoran

significativamente su comprensión sobre la influencia de los aspectos epistémicos de la NDC en las cuatro controversias de HDC empleadas.

Palabras clave: aspectos epistémicos, formación inicial del profesorado de ciencia, historia de la ciencia, naturaleza de la ciencia, procesos de la ciencia, productos de la ciencia.

Abstract

This article presents a global analysis of the results from four studies on pre-service secondary science teachers' understanding of epistemic aspects of the nature of science (NOS). To this end, four controversies from the history of science (HOS) were used as teaching/learning context, and whose implementation in class was conducted through a critical and reflective approach. The analysis focused on

¹. Inspector de Educación jubilado. Huelva, España. Contacto: ja.acevedodiaz@gmail.com

². Universidad de Cádiz. España. mmaragonmendez@gmail.com

³. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, España. garcia-carmona@us.es

determining the references that pre-service science teachers made in their responses to the different epistemic indicators established in the assessment rubrics, and the number of times that these were alluded. The findings obtained allow to conclude that, in general, the pre-service science teachers significantly improved their understanding on the influence of the epistemic aspects of NOS in the four controversies of HOS which were employed.

Keywords: epistemic aspects, history of science, nature of science, pre-service science teacher education, science processes, science products.

Resumo

Este artigo apresenta uma análise global sobre os resultados de quatro estudos que avaliaram a compreensão de futuros professores de ciência em formação inicial, sobre aspectos epistémicos da natureza da ciência (NDC). Para isso, quatro controvérsias da história da ciência (HDC) foram utilizadas como contexto de ensino/aprendizagem, cuja implementação em sala de aula foi realizada por meio de uma abordagem crítica e reflexiva. A análise buscou determinar as referências feitas pelos professores de ciência em formação inicial em suas respostas, aos diferentes indicadores epistémicos estabelecidos nas rubricas de avaliação, assim como o número de vezes em que esses foram mencionados. Os resultados obtidos permitem concluir que, em geral, os professores de ciências em formação inicial melhoraram significativamente sua compreensão sobre a influência dos aspectos epistémicos da NDC nas quatro controvérsias das HDC que foram utilizadas.

Palavras-chaves: aspectos epistémicos, formação inicial de professores da ciência, história da ciência, natureza da ciência, processos da ciência, produtos da ciência.

Introducción

Existe cierto consenso mundial en considerar la naturaleza de la ciencia (NDC) como un conocimiento clave para la alfabetización científica de la ciudadanía (Acevedo-Díaz y García-Carmona 2016a; Hodson, 2014; Next Generation Science Standards [NGSS]⁴, 2013; Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]⁵, 2017; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018; entre otros). Una buena comprensión de la NDC tiene valor *per se* en la cultura científica deseable para la ciudadanía (Acevedo y García-Carmona, 2017); además de un papel esencial para enriquecer la educación científica (Acevedo, 2008).

Las razones de esa consideración son diversas, pero una es que las personas recurren esencialmente a sus conocimientos, más o menos informados, sobre la NDC (Shamos, 1995) cuando valoran asuntos públicos relacionados con la ciencia y la tecnología. Por tanto, una buena comprensión de la NDC ayudaría a que esas valoraciones estén mejor fundamentadas (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2017). En esta línea, el programa marco Horizonte 2020 para la Investigación e Innovación en la Unión Europea⁶ establece entre sus objetivos básicos promover “*La participación ciudadana en la ciencia, de manera que los ciudadanos desarrollen intereses y capacidades hacia la ciencia, que les permitan participar activamente en actividades científicas*” (s.f.). Esta iniciativa ha trascendido recientemente al ámbito de la educación científica formal con el desarrollo de proyectos como IRRESISTIBLE (*Including Responsible Research and innovation in cutting Edge Science and Inquiry-based Science education to improve Teacher's Ability of Bridging Learning Environments*), financiado por la Unión Europea

⁴ Los NGSS abordan la NDC en el apéndice H, titulado *Understanding the Scientific Enterprise: The Nature of Science in the Next Generation Science Standards*. La matriz de la NDC incluye ocho temas.

⁵ El documento de la OCDE lo hace de una manera simple, con muy pocas preguntas propias de la NDC, y de modo incompleto porque enfoca la NDC exclusivamente a asuntos epistémicos.

⁶ Con el eslogan “*ciencia con y para la sociedad*”, este proyecto europeo propone que la alfabetización científica debe encaminarse a que la ciudadanía se interese por la ciencia y sea partícipe de manera activa, crítica y responsable con los distintos actores e instituciones que propician el desarrollo científico-tecnológico (véase Horizonte 2020 para la Investigación e Innovación en la Unión Europea, s.f.).

dentro del programa *Science in Society* y en el que participan 10 países europeos (Laherto *et al.*, 2018).

Hasta ahora la propuesta de enseñanza sobre NDC que ha dominado en la bibliografía internacional es la que viene dada por los siete principios de Lederman (2007). Estos constituyen una lista restringida a aspectos epistémicos de la naturaleza del conocimiento científico; esto es, aspectos racionales o cognitivos relativos a la naturaleza epistémica de los productos elaborados por la ciencia. Sin embargo, durante la presente década está teniendo lugar una discusión relevante sobre qué aspectos de NDC serían los más adecuados para el currículo de ciencia en la educación preuniversitaria (Acevedo y García Carmona, 2016a; Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2017a; Allchin, 2011; Dagher y Erduran, 2016; Hodson y Wong, 2017; Martins, 2015; entre otros).

Marco teórico

La posición que adoptamos sobre qué enseñar de NDC se basa en una perspectiva holística más acorde con la complejidad de la construcción del conocimiento científico (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2017a), coherente con la práctica científica real (Acevedo y García Carmona, 2016a), y que tenga en consideración el continuo existente entre los contextos de descubrimiento y de justificación⁷ (Acevedo-Díaz, 2017). Esta perspectiva incluye aspectos epistémicos de la NDC, relativos al conocimiento científico producido y a los procesos de indagación científica (Driver, Leach, Millar y Scott, 1996)⁸, así como otros aspectos no-epistémicos internos y externos a la comunidad científica. En este artículo no se tratarán los aspectos no-epistémicos de la NDC, los

cuales suelen ser los más comunes entre las diferentes ciencias (Acevedo-Díaz, 2018).

El enfoque que se ha seguido en la enseñanza de la NDC ha sido explícito, reflexivo y contextualizado. Explícito, en el sentido de que la NDC se incluye de forma planificada y evaluable como un contenido curricular específico (Acevedo-Díaz, 2009). Reflexivo, en tanto que se plantea a los estudiantes mediante cuestiones para su análisis crítico⁹ (Clough, 2011). Y contextualizado, en este caso mediante la HDC, utilizando narraciones de controversias científicas elaboradas por los propios autores de este artículo (Acevedo y García-Carmona, 2016b, 2016c y 2017; Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2016a, 2016b y 2017b).

El propósito de este artículo es mostrar la comprensión global lograda por futuros profesores de ciencia de Educación Secundaria sobre diversos aspectos epistémicos de NDC, a partir del análisis crítico-reflexivo y los argumentos correspondientes, en el aula de cuatro casos de historia de la ciencia (HDC). Los casos históricos que fueron analizados y discutidos por los futuros docentes fueron los siguientes: “Semmelweis y la fiebre puerperal”; “La controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación”; “la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea” y “Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN”.

Metodología

Contexto académico

En España es necesario obtener un título de postgrado denominado Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria (en adelante, MAES) para poder ejercer la profesión docente en Educación Secundaria. Este consta de: 1) un módulo

⁷. Terminología introducida, *circa* 1930, por el filósofo positivista Reichenbach para diferenciar la génesis de los descubrimientos científicos (ciencia privada) de los resultados finales de la investigación científica (ciencia publicada).

⁸. Es muy importante no confundir el conocimiento *de* procedimientos científicos, propios de la indagación científica, con el conocimiento epistémico *sobre* los procedimientos científicos empleados en la indagación científica; el segundo es de naturaleza epistémica, mientras que el primero no (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2017a).

⁹. Un enfoque acorde con el *pensamiento crítico*, que tal y como lo definen Norris y Ennis (1989) es: “[...] una actividad práctica y reflexiva, cuya meta es una creencia o una acción sensata; [...] una forma de pensamiento racional, reflexivo, enfocado a decidir en qué creer o qué hacer.”

genérico para todas las especialidades docentes, que proporciona una formación psicopedagógica general; 2) un módulo orientado a la formación específica de cada especialidad docente; y 3) un módulo de prácticas en centros educativos. Para acceder al MAES, los estudiantes deben poseer, al menos, un título de graduado universitario.

El currículo de ciencia para Educación Secundaria en España es muy poco explícito en sugerir la NDC como un contenido esencial de la educación científica. Sin embargo, el plan de estudios del MAES establece que los estudiantes de profesorado deben adquirir una comprensión básica sobre NDC y su enseñanza.

Participantes

La implementación de la controversia relativa a Semmelweis y la fiebre puerperal se realizó, durante el curso 2015-16, en la Universidad de Cádiz con estudiantes de la especialidad docente de Biología y Geología del MAES. Participaron 12 mujeres y 5 hombres, graduados en Biología, Ciencias Ambientales, Ciencias del Mar, Farmacia y Bioquímica. La asignatura para desarrollar la actividad fue *Aprendizaje y Enseñanza de la Biología y Geología*, de 12 créditos, impartida por la coautora de este artículo; más concretamente, en la unidad *Análisis curricular*.

La implementación de la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación se llevó a cabo, durante el curso 2015-16, en la Universidad de Sevilla con estudiantes de la especialidad docente de Física y Química del MAES. Los participantes fueron 10 mujeres y 9 hombres, entre los que había 2 graduados en Ciencias Físicas, 2 en Biotecnología, 13 en Ciencias Químicas y 2 en Ingeniería Química. La asignatura para desarrollar la actividad fue *Aprendizaje y Enseñanza de las materias de Física y Química*, que cuenta con 60 horas presenciales, impartida por el segundo autor de este artículo; concretamente, dentro de una unidad breve denominada *¿Qué es la Ciencia? Algunas reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia y sus implicaciones didácticas*.

Las implementaciones de las controversias entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea y de la participación de Rosalind Franklin en la elucidación de la estructura del ADN se hicieron, durante el curso 2016-17, en la Universidad de Cádiz con estudiantes de la especialidad docente de Biología y Geología del MAES. Los participantes en ambas fueron los mismos, 14 mujeres y 3 hombres, licenciados o graduados en Ciencias Ambientales, Ciencias del Mar, Biología, Biotecnología, Biomedicina, Bioquímica y Veterinaria. Algunos de ellos tenían doble titulación, como Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales. La asignatura para desarrollar las dos actividades fue *Complementos de Formación disciplinar de Biología y Geología*, impartida por la coautora de este artículo; concretamente, en el bloque *Naturaleza e Historia de la Ciencia*. Los contenidos de este bloque giran en torno a diferentes episodios de HDC, sobre todo de Biología y Geología, como hilo conductor para la formación de los futuros profesores en la NDC en aspectos epistemológicos, ontológicos y sociológicos de la ciencia.

Breve descripción de la propuesta de enseñanza

Los aspectos epistémicos de la NDC abordados entre las cuatro controversias se refieren tanto a los productos de la ciencia (tabla 1) como a los procesos que tienen lugar en la construcción del conocimiento científico (tabla 2). A continuación, se señalan estos aspectos, indicándose asimismo las controversias en las que se tratan.

En todos los casos, los estudiantes se organizaron en grupos pequeños de trabajo para el desarrollo de las actividades. Se emplearon unas cinco horas en cada implementación, que se estructuraron en tres fases: 1) lectura del relato de la controversia de HDC y respuestas a diversas cuestiones de NDC, a partir de la reflexión y discusión entre los miembros de cada grupo, que se redactaron en un informe inicial; 2) sesión con el grupo-clase, dirigida por los educadores correspondientes para que los grupos compartieran y debatieran sus

respuestas iniciales; y 3) conclusiones finales de los grupos tras la fase anterior, que se concretaron en la revisión y reelaboración/ampliación de sus respuestas iniciales. Estas respuestas también se registraron por los grupos en un informe final que entregaron, junto con el informe inicial, para su evaluación.

Instrumentos de análisis de datos y evaluación

Respecto a la evaluación de aprendizajes sobre NDC, nos alineamos con Allchin (2011), quien propone un enfoque contextual mediante el

análisis interpretativo de casos actuales e históricos de la ciencia. Por tanto, la metodología de evaluación de los aspectos de NDC abordados con la actividad tiene un carácter cualitativo, está contextualizada mediante controversias de HDC, es de índole interpretativa y se basa en el uso de rúbricas para el análisis de datos.

Para la evaluación de las respuestas a cada una de las cuestiones planteadas se estableció una escala de progresión que permitiera el análisis del nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes. Se decidieron cinco niveles, de 0 a 4, correspondiendo el máximo aprendizaje conseguido al nivel

Tabla 1. Naturaleza epistémica de los productos de la ciencia.

Productos de la ciencia	Controversias en las que se tratan
Características de las teorías científicas.	Fiebre puerperal; Fermentación.
Diferencias entre leyes y teorías científicas.	Fermentación.
Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno.	Fermentación; Generación espontánea.
Provisionalidad de las teorías científicas.	Fermentación; Generación espontánea.
Dominancia de algunas teorías científicas sobre otras.	Fermentación.
Carácter tentativo y dinámico del conocimiento científico.	Fermentación; Generación espontánea.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tabla 2. Naturaleza epistémica de los procesos de la ciencia.

Procesos de la ciencia	Controversias en las que se tratan
Observación vs. inferencia	Fiebre puerperal.
Metodologías científicas.	Fiebre puerperal; Fermentación; ADN.
Papel de las hipótesis.	Fiebre puerperal.
Creatividad e imaginación.	Fiebre puerperal; Fermentación; ADN.
Papel de la experimentación en la ciencia.	ADN; Generación espontánea.
Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia.	Fermentación; Generación espontánea.
Influencia de las creencias personales, actitudes y habilidades de los científicos.	Fermentación; Generación espontánea.
Papel de los esquemas de clasificación.	Fermentación.
Interés de las controversias científicas para el avance de la ciencia.	Fermentación.
Diseños de investigación y resultados experimentales.	ADN; Generación espontánea.
Influencia de la especialidad del científico en la planificación y desarrollo de una investigación científica.	ADN.
Pregunta que dirige la investigación y objetivos perseguidos.	ADN.
Modelos y modelización en la ciencia.	ADN.

Fuente: elaboración propia de los autores.

4. Los indicadores que definen el nivel máximo se establecieron tomando como punto de partida el texto de la narración de HDC, los puntos de vista actuales sobre la NDC y la información proporcionada por las respuestas de los grupos. Estos indicadores se modificaron y reestructuraron varias veces hasta que los autores de este trabajo llegaron

a un consenso. Los diferentes niveles de progresión y los indicadores correspondientes se recogieron luego en una rúbrica de evaluación para cada controversia empleada. Como ejemplo, se muestra la parte de la rúbrica correspondiente a las cuestiones relativas a la controversia sobre el caso de Rosalind Franklin y la estructura del ADN (tabla 3).

Tabla 3. Rúbrica de evaluación de aspectos epistémicos de la NDC en el contexto del caso Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN.

Contenido de NDC	Nivel 4 (máximo)	Niveles 3-0
C1. Pluralidad de metodologías de las investigaciones científicas.	Se explica que no hay un método científico único y se describen las dos metodologías identificables en la narración histórica: 1) La empírica sistemática de Franklin. 2) La de Watson y Crick basada en la elaboración de un modelo funcional. 3) Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra.	Nivel 3: se explica que no hay un método científico único, pero solo se describe una de las dos metodologías [1] o 2)]Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra [3]]. Nivel 2: se explica que no hay un método científico único, pero no se describe ninguna de las metodologías [ni 1) ni 2)]. Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra [3]). Nivel 1: Se considera que son posibles varias metodologías científicas y, aunque se describan, se asume que una de ellas es <i>per se</i> mejor que otra. Nivel 0: se considera que solo hay un único método científico válido.
C2. Objetivos de las investigaciones científicas.	Se explica que los objetivos eran diferentes y en la explicación se señalan tres de las razones siguientes: 1) Se explica el objetivo de Franklin. 2) Se explica el objetivo de Watson y Crick. 3) Se relacionan los objetivos con la formación de los científicos. 4) Se relacionan los objetivos con las metodologías empleadas. 5) Se relacionan los objetivos con las prioridades de los centros de investigación.	Nivel 3: se explica que los objetivos eran diferentes y en la explicación se señalan dos de las razones anteriores. Nivel 2: se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señala una de las razones anteriores. Nivel 1: se explica que los objetivos eran diferentes, pero no se aportan argumentos válidos. Nivel 0: no se identifican diferencias significativas entre los objetivos.
C3. Fortalezas del modelo de Watson y Crick.	Se indican, de forma justificada, al menos tres fortalezas; por ejemplo: 1) Explica la estructura del ADN. 2) Permite dar explicaciones y hacer predicciones sobre el código genético. 3) Permite establecer una hipótesis fecunda para investigaciones futuras. 4) Da respuesta a problemas multidisciplinarios.	Nivel 3: se indican dos fortalezas de forma justificada. Nivel 2: se indica una fortaleza y se justifica. Nivel 1: se indica alguna fortaleza, pero no se justifica o la justificación no es válida. Nivel 0: no se indica ninguna fortaleza.

Fuente: elaboración propia de los autores.

La validez y fiabilidad de este sistema de evaluación fueron establecidas mediante procesos iterativos de análisis inter e intra-jueces, realizados por los autores, y el uso de indicadores de baja inferencia (en este caso, citas textuales de las respuestas de los grupos a las preguntas planteadas); ambos muy recurrentes y apropiados en investigaciones cualitativas como esta (Seale, 1999).

Para abordar el objetivo de este trabajo, se ha realizado un análisis del número total de referencias de los grupos a los indicadores epistémicos, establecidos en las rúbricas de evaluación, y de la cantidad de veces que tales indicadores fueron aludidos como argumentos en conjunto.

Resultados

El número total de indicadores epistémicos citados de las rúbricas (tabla 4) fue más elevado en los informes finales (86%) que en los iniciales (68%). Asimismo, la cantidad de veces que se citaron tales indicadores en total aumentó de forma notable, aproximadamente el doble, en los informes finales respecto de los iniciales. Puede comprobarse que este incremento no es muy diferente en cada una de las cuatro controversias de HDC implementadas. De igual manera, cabe señalar que, si bien esta comprensión ya se manifestó de manera suficiente en los informes iniciales de los grupos, mejoró en los informes finales. En consecuencia, estos resultados muestran que los futuros profesores de

Ciencia en educación secundaria son capaces de apreciar, comprender y argumentar la influencia de los aspectos epistémicos de la NDC en las controversias tratadas.

En la tabla 5 se muestran algunos ejemplos de la variedad de argumentos usados en las respuestas de los informes finales de los grupos a tres cuestiones epistémicas de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea. A saber: 1) el papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones; 2) el papel de los diseños experimentales en los resultados obtenidos; y 3) la presencia o ausencia de experimentos cruciales durante la controversia.

En la obtención de los resultados finales hay que resaltar la influencia que tuvo la sesión con el grupo-clase en la que se debatieron las ideas que los grupos plasmaron en los informes iniciales. Para ello, el papel de los educadores respectivos durante esta sesión resultó clave en cada implementación.

Durante la puesta en común del grupo-aula en cada implementación el educador intervino como moderador, formulando preguntas que ayudasen a la reflexión de los futuros profesores de ciencia y que, por tanto, sirvieran de andamios para facilitar la evolución de sus ideas sin imponerlas¹⁰.

De manera general, se puede decir que los educadores usaron tres estrategias durante la fase intermedia de la actividad: la generación de conflictos cognitivos, la formulación de nuevas preguntas

Tabla 4. Aspectos epistémicos de NDC relativos a las cuatro controversias de HDC implementadas.

Controversias	Nº de grupos	Nº de indicadores de las rúbricas	Nº de indicadores citados		Nº de veces que se citan los indicadores	
			Inicial	Final	Inicial	Final
Semmelweis	4	24	17	20	25	52
Fermentación	8	28	21	26	58	99
ADN	4	16	10	12	19	38
Generación espontánea	4	22	13	19	23	56
TOTAL	20	90	61 (68%)	77 (86%)	125	245

Fuente: elaboración propia de los autores.

¹⁰. Cabe recordar, al respecto, que las posturas dogmáticas en educación solo logran que los estudiantes declaren lo que se espera de ellos, en el mejor de los casos, sin que realmente integren las nuevas ideas en sus esquemas mentales.

Tabla 5. Fragmentos de los argumentos usados en las respuestas de los informes finales de los grupos a tres cuestiones epistémicas de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea.

Contenidos epistémicos de NDC de las cuestiones	Fragmentos de algunas respuestas finales de los grupos con alusiones argumentadas a los descriptores
C1. Papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones.	<p><i>"[...] la aparición o no de organismos vivos tras un experimento, cada uno [Pasteur y Pouchet] lo interpretaba de una forma distinta, apareciese vida o no era explicable, de manera que siempre su teoría era la válida".</i></p> <p><i>"[...] Pasteur rechazaba de plano la teoría de la generación espontánea, si un experimento fallaba y en el matraz usado aparecían microorganismos, argumentaba que había una contaminación accidental, sin evidencias directas de esto, y lo mismo podría decirse de Pouchet".</i></p>
C2. Papel de los diseños experimentales en los resultados obtenidos.	<p><i>"Tuvo mucha importancia el uso de la infusión de heno (como hacía Pouchet), en lugar de utilizar infusión de levadura (como hizo Pasteur), ya [que] la temperatura idónea para la total eliminación de los microorganismos en la muestra de heno es de 120 °C y de 100 °C en la de levadura, lo que no se conocía en la época".</i></p> <p><i>"[...] las variables estudiadas tenían influencia en los resultados y el control de esas variables no se tuvo en cuenta, no solo en la elección de la muestra, sino también en los lugares en los que se hacía la experiencia cuando se quiso estudiar la influencia del aire".</i></p> <p><i>"[...] no existía forma de demostrar [directamente] si había o no microorganismos en el aire, por lo que necesitaban usar métodos indirectos, lo que hace la interpretación de los resultados más compleja".</i></p> <p><i>"Pasteur quería demostrar que la generación espontánea no se producía, era falsa, y esto no es lo mismo que demostrar, como pretendía Pouchet, que una teoría es cierta".</i></p>
C3. Experimentos cruciales.	<p><i>"En 1876 Bastian demostró que en el extracto hervido de heno se encontraban esporas termoestables de bacilos que empezaban a desarrollarse con el suministro de oxígeno y que por lo tanto son resistentes al calor, datos que en el momento del debate se desconocían".</i></p> <p><i>"[...] el mismo Pasteur tuvo que aceptar el sesgo experimental de los diseños en su disputa con Pouchet; teniendo que rediseñar los experimentos para asegurar que se alcanzaban los 120 °C".</i></p> <p><i>"[...] Tyndall demostró el papel del aire como vector de microorganismos ya que consiguió esterilizarlo, verificar que lo estaba, y de esta manera impedir que los líquidos orgánicos esterilizados se alterasen".</i></p> <p><i>"[...] esto deja una pregunta sin contestar, y es la procedencia del primer ser vivo, cuestión de fondo siempre presenta en la teoría de la generación espontánea, y motivo por el que quizás la creencia fue tan persistente".</i></p>

Fuente: elaboración propia de los autores.

para enriquecer los debates y la introducción de información adicional en forma de ejemplos de otros casos de HDC. La efectividad de estas estrategias puede ser valorada a partir de los resultados finales mostrados en la tabla 4.

Un ejemplo de ello fue la discusión del significado y papel del error en el contexto de la controversia entre Pasteur y Liebig. Lo siguiente es un extracto de lo que se discutió en clase al respecto,

y cómo el educador trató de encauzar el debate hacia ideas mejor informadas por medio de preguntas auxiliares para generar conflictos cognitivos principalmente¹¹:

EM12: [...] *La única forma que hay de profundizar experimentalmente es llegando a equivocarte. Si no te equivocas y aciertas a la primera, pues estupendo. Pero normalmente es ensayo y error [...].*

¹¹. ED es educador. EM estudiante del MAES.

ED: *¿Estás intentando decir que cuando se hace un experimento, si el investigador acierta a la primera con su hipótesis, se debe dar por satisfecho?*

EM12: *Bueno, es que es muy difícil que se compruebe a la primera.*

ED: *Y el error, ¿cómo lo detecta el investigador? ¿Sabe cuándo ha tenido un error?*

EM11: *En algunas ocasiones lo sabe, y si no, seguramente se lo dirán otros.*

ED: *¿Puedes poner un ejemplo?*

EM11: *Por ejemplo, cuando estás en el laboratorio haciendo una reacción química y quieres obtener un resultado final, pero luego no lo obtienes.*

ED: *Eso es porque tú tienes un marco teórico en la cabeza y sabes lo que debería obtenerse, ¿no? Pero, ¿y si no existe un marco teórico sólido? En el caso de la controversia no había un marco teórico previo consistente, de hecho, Liebig y Pasteur estaban siendo los precursores. Además, ninguno de los dos llegó a explicar bien el fenómeno de la fermentación.*

EM4: *Yo no entiendo a qué nos referimos con error en este contexto porque ellos [Pasteur y Liebig] no se estaban equivocando. Ellos estaban malinterpretando en función de lo que pensaban filosóficamente. En la época de estos señores había una discusión en todos los ámbitos de la ciencia entre el mecanicismo y el vitalismo. Así que ellos no se equivocaron, sino que dijeron: “sobre lo que yo sé, esto es lo que puedo concluir”.*

ED: *¿Creéis que ellos pensaron que estaban equivocados en algún momento? Porque nosotros tenemos la ventaja de la perspectiva del tiempo para juzgar sus propuestas [...]*

EM15: *Tendemos a pensar que el error es algo malo, y en la ciencia realmente un error es un avance, te hace reconducir tus investigaciones [...]*

EM5: *La prueba de que las interpretaciones de Pasteur y Liebig no eran un error total es que sirvieron de punto de partida para las investigaciones posteriores sobre el fenómeno [de la fermentación].*

EM4: *Yo es que pienso que los dos tenían razón.*

EM8: *A ver, la parte explicativa de sus teorías no era correctas. Habían hecho experimentos interesantes, pero no fueron bien explicados [...]*

EM4: *Pienso que cada uno dio una explicación parcial del fenómeno... Entonces, si juntas las dos... cuando se muele el fermento o la levadura encuentras que lo que hay dentro es una reacción química, que era lo que proponía Liebig. Pero al final necesita la participación de un ser vivo; con lo cual, es una superposición de explicaciones evidentemente mejorable. Porque eso es lo bueno de la ciencia, que como se construye por capas, al final llega uno [se refiere a Büchner] que te limpia de filosofía toda la explicación anterior y da una explicación científica más correcta que las de Pasteur y Liebig.*

Conclusiones

Las conclusiones que se pueden extraer del análisis de los cuatro estudios realizados son las siguientes:

1) La lectura inicial de la narración en grupos pequeños permitió que los futuros profesores de ciencia hicieran alusión, en los argumentos de sus informes, a más de dos tercios de los indicadores epistémicos de las rúbricas. El número de veces que se citaron estos indicadores fue, globalmente, alrededor de dos. Si bien variaron entre las diversas controversias, siendo mayor en el caso de la fermentación, en valor absoluto, que en las otras tres.

2) En los argumentos de sus informes finales los futuros profesores de ciencia hicieron alusión a más de cuatro de cada cinco indicadores epistémicos de las rúbricas. El número de veces que se citaron estos indicadores fue, globalmente, alrededor de 3; aunque variaron entre las diversas controversias, siendo otra vez mayor en la de la fermentación, en valor absoluto, que en las otras tres. Estos resultados son indicativos de la incidencia positiva que tuvo la segunda fase en gran grupo. A pesar de que los resultados ya fueron bastante aceptables en la fase inicial, al concluir la actividad los futuros profesores de ciencia fueron capaces de aportar argumentos más variados, y en mayor cantidad, para razonar sus ideas sobre las cuestiones planteadas. Ello evidenció un progreso considerable en su capacidad de argumentación al respecto.

En resumen, podemos destacar el valor didáctico de la metodología cualitativa empleada para enseñar sobre los aspectos epistémicos de NDC seleccionados. En el contexto de las distintas controversias de HCD empleadas, se promovió que los estudiantes analizaran críticamente su contenido y, en respuestas a preguntas abiertas y reflexivas, argumentaran sus puntos de vista sobre los aspectos de NDC discutidos en el contexto de las mismas. Todo ello en un clima de discusión y debate entre los estudiantes (tanto en pequeño grupo como en gran grupo), con la orientación apropiada y esencial del educador, para favorecer la progresión o enriquecimiento de tales argumentos, conforme a las ideas epistémicas sobre NDC mejor informadas¹².

Por último, consideramos que son necesarios más estudios empíricos en el aula para seguir profundizando en los aspectos epistémicos tratados, o en otros que pudieran considerarse necesarios incluir.

Referencias

- Acevedo-Díaz, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i2.02
- Acevedo-Díaz, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.04
- Acevedo-Díaz, J. A. (2017). *Sobre la naturaleza de la ciencia y los contextos científicos de descubrimiento y justificación*. En *Divulgación y Cultura Científica Iberoamericana*. Recuperado de <http://www.oei.es/historico/divulgacion-cientifica/?Sobre-la-naturaleza-de-la-ciencia-y-los-contextos-cientificos-de-descubrimiento>
- Acevedo-Díaz, J. A. (2018). *¿Naturaleza de la ciencia o naturaleza de las ciencias?* En *Divulgación y Cultura Científica Iberoamericana*. Recuperado de <http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/?Naturaleza-de-la-ciencia-o-naturaleza-de-las-ciencias>
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2016a). Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado. Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19. DOI: <http://hdl.handle.net/10498/18010>
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2016b). Rosalind Franklin y la estructura del ADN: un caso de historia de la ciencia para aprender sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Científica*, 27, 162-175. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a2>
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2016c). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11(33), 203-226.
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M. M. (2016a). La controversia Pasteur vs. Pouchet sobre la generación espontánea: un recurso para la formación inicial del profesorado en la naturaleza de la ciencia desde un enfoque reflexivo. *Ciência & Educação*, 22(4), 913-933. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320160040006>

¹². Las personas interesadas en conocer las mejoras relativas a la comprensión de los aspectos epistémicos por niveles, así como de los indicadores de las rúbricas más y menos citados en los argumentos de los informes iniciales y finales, pueden consultar los capítulos 7, 8, 9 y 11 de Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez (2017a).

- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M. M. (2016b). Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 408-422. DOI: <http://hdl.handle.net/10498/18297>
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M. M. (2017a). *Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia. Resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica*. Madrid: OEI.
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M. M. (2017b). Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química*, 28(3), 140-146.
- Allchin, D. (2011). Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Education*, 95(3), 518-542. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Clough M.P. (2011). The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education. *Science & Education*, 20(7-8), 701-717. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9310-7>
- Dagher, Z. R. y Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the nature of science for science education. Why does it matter? *Science & Education*, 25(1-2), 147-164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9800-8>
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Reino Unido: Open University Press.
- Hodson, D. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. En M. R. Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 911-970). Dordrecht: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_28
- Hodson, D. y Wong, S. L. (2017). Going Beyond the Consensus View: Broadening and Enriching the Scope of NOS-Oriented Curricula. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271919>
- Horizonte 2020 para la Investigación e Innovación en la Unión Europea (s.f.). *Ciencia con y para la Sociedad*. Recuperado de <https://eshorizonte2020.es/mas-europa/ciencia-con-y-para-la-sociedad>
- Laherto, A., Kampschulte, L., de Vocht, M., Blonder, R. Akaygun, S. y Apotheke, J. (2018). Contextualizing the EU's "Responsible Research and Innovation" Policy in Science Education: A Conceptual Comparison with the Nature of Science Concept and Practical Examples. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2287-2300. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/89513>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Mahwah, EE. UU.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703-737. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703>
- Next Generation Science Standards (NGSS) (2013). *The Next Generation Science Standards: For States, by States*. Washington D.C.: National Academy of Sciences Press.
- Norris, S. P. y Ennis, R. H. (1989). *Evaluating Critical Thinking. The Practitioners' Guide to Teaching Thinking Series*. Pacific Grove, EE. UU.: Critical Thinking Press.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE) (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science*,

Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, revised edition.
París: OCDE.

Seale, C. (1999). *The quality of qualitative research. Introducing qualitative methods series.* Londres: Sage. DOI: <https://doi.org/10.4135/9780857020093>

Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy.*
New Brunswick, EE. UU.: Rutgers University Press.

Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2018). El conocimiento epistémico en la evaluación de la competencia científica en PISA 2015. *Revista de Educación*, 380, 103-128. DOI: [10.4438/1988-592X-RE-2017-380-373](https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-380-373)



REVISTA CIENTÍFICA

Enfoque y alcance

La *Revista Científica* publica artículos científicos, revisados por pares en el área de las Ciencias Naturales, cubriendo todos los campos de la Física, la Química, la Biología, las Matemáticas, Ciencias de la Computación, las Ciencias Ambientales y la Educación Científica. Nuestro objetivo es difundir investigaciones originales, útiles y relevantes que presenten nuevos conocimientos sobre aspectos teóricos o prácticos de las metodologías en las Ciencias Naturales y la Educación Científica. Todas las conclusiones presentadas en los artículos deben estar basadas en el estado actual del conocimiento y soportadas por un análisis riguroso y una evaluación equilibrada.

Dadas las políticas de Colciencias y los índices internacionales, solo se publicará un 30% de artículos de miembros de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Alcance geográfico: nacional e internacional.

Políticas de sección

Artículos

1) Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

2) Artículo de reflexión: documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

3) Artículo de revisión: documento resultado de una investigación terminada donde se analizan,

sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

Proceso de evaluación por pares

Los artículos convocados para la Revista Científica del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se someten a evaluación por parte de pares académicos, en su gran mayoría externos, nacionales e internacionales, expertos en las temáticas y bajo la modalidad de doble ciego.

Fases del proceso de revisión por pares

Fase 1: El artículo es revisado por el editor, para verificar que cumple con las políticas de la revista y las normas para autores. Los artículos que cumplen son revisados por el comité editorial para evaluar la calidad de los mismos y se seleccionan aquellos que son de investigación y revisión, para ser enviados a pares evaluadores

Fase 2: Se envía el artículo a los pares evaluadores, quienes contarán con un tiempo máximo de un mes para enviar el dictamen del manuscrito.

Fase 3: Una vez enviado el dictamen por parte de los pares, se procede a reenviar las sugerencias a los autores. Estos contarán con un tiempo aproximado de dos semanas para enviar las correcciones a partir de la fecha de envío.

Fase 4: Si las evaluaciones son positivas, el comité editorial decide la publicación del artículo. Por el contrario, si son negativas, se rechaza. En caso de un dictamen positivo y uno negativo, se envía a un tercer par y según su evaluación se tomará una decisión editorial.

Frecuencia de publicación

La *Revista Científica* tiene una periodicidad cuatrimestral. Se recibirán artículos por medio de convocatorias, los números serán visibles, *el primero de enero, primero de mayo y primero de septiembre.*

Política de acceso abierto

La revista edita sus contenidos bajo la modalidad de *Acceso Abierto*. Esta es una manera de difundir la producción académica, en la cual el acceso libre debe ser garantizado por la revista sin restricciones al momento de su publicación en línea.

Misión

La misión de la *Revista Científica* es difundir artículos originales, de calidad técnica y científica elaborados por los miembros de la comunidad académica y profesional nacional e internacional, el área de la Ciencias Naturales, así como artículos de revisión y actualización, u otros trabajos que contribuyan al conocimiento y desarrollo del país.

Proceso editorial

Recepción de artículos

Todos los artículos serán sometidos a detección de plagio por medio del software Turnitin, cuando este se detecte total o parcialmente, el texto no continuará al proceso editorial y se le notificará al autor.

Son criterios excluyentes para la aceptación de los documentos:

- El tema no corresponde al campo temático de la revista.
- No emplea el tipo de referencia y citación American Psychological Association (APA)
- No se envía el escrito en el soporte requerido (formato Word).

- El autor(es) ha publicado en el último año en la *Revista Científica*.
- El trabajo es enviado fuera de la convocatoria.
- No cumple con las normas para los autores.

Los artículos susceptibles de publicación pasarán a revisión por pares académicos, una vez estos emitan su apreciación, remitiremos las sugerencias al autor, quien deberá en un tiempo establecido por el comité editorial, ajustar el manuscrito, o si es el caso, argumentar la no realización de los ajustes.

Proceso de arbitraje

- Una vez cerrada la convocatoria el comité editorial hace una primera revisión, después de la cual, *el trabajo puede ser rechazado sin evaluación* adicional si no cumple con las políticas de la revista o se acepta para la evaluación de los pares evaluadores. Por lo anterior, no se asegura a los autores la publicación inmediata de dicho artículo. *La decisión de rechazar un trabajo es definitiva e inapelable.*
- Los trabajos pueden ser rechazados en esta primera evaluación porque no cumplen con los requisitos de redacción, presentación, estructura o no son originales o pertinentes con la revista.
- Los trabajos que son aceptados en esta primera etapa inician la evaluación mediante el proceso de “doble ciego”, los artículos son enviados a los pares expertos en el área respectiva, cuyas identidades no serán conocidas por el autor y, a su vez, los pares evaluadores tampoco conocerán la(s) identidad(es) del(los) autor(es).
- En cuanto se reciben todos los resultados de las evaluaciones, el comité editorial se reúne y define la respuesta sobre el proceso de evaluación del artículo y comunica cualquiera de las siguientes respuestas:

Aceptado para publicación sin modificaciones: el artículo se publicará tal cual se ha recibido y solo se harán correcciones de ortografía y estilo.

Aceptado para publicación con correcciones menores: el trabajo será publicado una vez los autores realicen las correcciones menores sugeridas por los evaluadores. Estas serán revisadas por el comité editorial, el cual decidirá si estas son aceptadas o no.

Rechazado: el artículo no se recomienda para publicación.

- Si el trabajo es aceptado, pero con la recomendación de hacer modificaciones, se le devolverá al (los) autor(es) junto con las recomendaciones de los árbitros para que preparen una nueva versión corregida, para lo cual dispone del tiempo que le indique el comité editorial, en un plazo máximo de 15 días calendario.
- Los trabajos se reciben por convocatoria, aquellos que lleguen una vez cerrada serán trasladados a la siguiente, y la revisión inicial se realizará una vez cierre la convocatoria.
- Los trabajos no publicados serán archivados como artículos rechazados.
- La *Revista Científica* trabaja en línea con las políticas definidas por Colciencias.

Guía para evaluadores

Los artículos sometidos a ser publicados en la *Revista Científica* serán evaluados por dos pares expertos y anónimos. Cada evaluador deberá leer atentamente el manuscrito y emitir un informe justificado y argumentado en torno a la conveniencia o no de su publicación, incluyendo sugerencias y orientaciones para su mejora cuando sea el caso.

Las dimensiones a tener en cuenta son las siguientes:

1. Claridad, relevancia y novedad del tema y del problema analizado.
2. Fundamentos (marco teórico y antecedentes).
3. Metodología y análisis de datos.

4. Estructuración del discurso (argumentación, coherencia, hilo conductor).
5. Cumplimiento de las normas de la revista (título, resumen y las palabras claves en español, inglés y portugués). Véase <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#authorGuidelines>
6. Formato, presentación y extensión.
7. Otros que considere el par.

La evaluación concluirá con una de las siguientes decisiones:

- a) Publicar sin modificaciones; b) Publicar con modificaciones; c) No publicar.

A continuación, encontrará el formato de evaluación:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/11468>

Ética y buenas prácticas de publicación

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, el Centro de Investigaciones Científicas (CIDC) y el comité editorial de la revista, con el propósito de mantener la calidad científica y académica de las publicaciones, establece los siguientes principios éticos, promulgados por el *Committee on Publications Ethics-COPE*, así como por los estándares éticos y legales del *Manual de Publicaciones* de la American Psychological Association (APA) 6ta edición. Estas buenas prácticas deben ser llevadas a cabo tanto por los autores, el comité editorial y la institución.

Responsabilidades de los autores

En caso de ser necesario, el autor debe presentar en el artículo la información pertinente (organismos de financiación, afiliación institucional, participantes, etc.) que autoriza su publicación en repositorios u otras formas de almacenamiento.

Declarar la originalidad del manuscrito, hacer uso de la información como lo demanda los derechos de autor (Decisión Andina 351 de 1993).

En caso de ser necesario, se debe garantizar que los estudios realizados en humanos u otras especies cumplen con la normatividad nacional e internacional. Para tal fin, debe presentar la prueba de consentimiento informado o aval del comité de ética.

Declarar cualquier posible conflicto de interés

El autor debe advertir al comité editorial sobre cualquier error significativo en el artículo publicado para que sea subsanado mediante una *fe de erratas*, adenda, carta al editor o retiro de la publicación.

En caso de detectarse plagio, suplantación de información u omisión de la misma, el autor está obligado a retractarse públicamente y, dependiendo de la gravedad de la falta, se estimará el retiro o corrección de la publicación.

Responsabilidad del comité editorial

El comité editorial de la *Revista Científica* actúa objetivamente en el desempeño de sus labores, evitando cualquier tipo de discriminación motivada por razones de género, sexo, religión, condición étnica o ubicación geográfica de los autores.

Establece procesos claros y transparentes para los casos de denuncia de tipo ético o de conflicto de interés. Todos los reclamos serán estudiados y se permitirá a los autores responder a ellos en un plazo razonable.

Asegura la confidencialidad de la información y de los procesos editoriales. Asimismo, evita publicar artículos que presenten las siguientes irregularidades:

- Conflicto de interés.
- Que no sean originales.
- Falsifiquen o adulteren la información.
- Publicación fragmentada.
- Con plagio o autoplagio.
- Exceso de autocitas y referencias no citadas.
- Las publicaciones de los miembros del comité editorial y el comité científico están restringidas.

Responsabilidad de la institución editora

El Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas velarán por la ejecución de buenas prácticas éticas y editoriales en todas sus publicaciones.

Identificación de comportamiento no ético

Si se detecta una mala conducta ética, la denuncia debe estar apoyada en pruebas suficientes que permitan iniciar el proceso de investigación. Se debe seguir el debido proceso, así como mantener los criterios de confidencialidad de la información. El comité editorial de la *Revista Científica* finalizará el proceso con una decisión que será informada al autor o autores implicados y se tomarán las medidas pertinentes para la resolución del caso.

Las infracciones

Leves:

Las faltas menores serán tratadas directamente con el autor para que en un plazo establecido responda a las acusaciones.

Graves:

Las faltas graves pueden requerir algunas de las siguientes acciones:

- Informar sobre la mala conducta y tomar medidas para evitar errores futuros.

- Publicación de notificación formal detallando la mala conducta.
- Publicación editorial que detalla el comportamiento no ético.
- Carta formal al autor y a la institución financiadora.
- Retracción formal o retiro del artículo, previa información al autor, servicios de indexación y lectores de los motivos de la decisión.
- Informar sobre el caso y el resultado a una organización profesional o autoridad superior para una mayor investigación y acción.

Propiedad intelectual

El (los) autor(es) al enviar su artículo a la *Revista Científica* certifica que su manuscrito no ha sido ni será presentado ni publicado en ninguna otra

revista de carácter científico. Al enviar el artículo acepta, igualmente, que para su publicación transferirá los derechos a la revista, quien puede divulgarlo en versión impresa o electrónica.

Para tal fin se encuentra dispuesto el *formato cesión de derechos de autor*, que debe ser enviado y firmado por la totalidad de los autores y en formato PDF.

Historia

La Revista fue creada en 1999 por Vicerrectoría de Investigación, Innovación, Creación, Extensión y Proyección Social, con la intención de publicar artículos relacionados con los desarrollos científicos y tecnológicos en el área de las Ciencias Naturales.

REVISTA CIENTÍFICA

Focus and Scope

The *Revista Científica* publishes peer-reviewed scientific articles in the area of Natural Sciences, covering all fields of Physics, Chemistry, Biology, Mathematics, Computer Sciences, Environmental Sciences, and Scientific Education. Our objective is to disseminate original, useful and relevant research that presents new knowledge of theoretical or practical aspects of methodologies in Natural Sciences and Scientific Education. All conclusions presented in the articles must be based on the current state of knowledge and supported by rigorous analysis and balanced evaluation.

Given the policies of Colciencias and the international indexes, only 30% of articles by members of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas will be published.

Geographical scope: national and international

Section Policies

Articles

1) **Scientific and technological research article:** document that presents, in a detailed way, the original results of completed research projects. The structure generally used contains four important sections: introduction, methodology, results, and conclusions.

2) **Reflection article:** document that presents the results of completed research from an analytical, interpretative or critical perspective of the author, on a specific topic, using original sources.

3) **Review article:** a document resulting from completed research in which the results of published or unpublished research in a field of science or

technology are analyzed, systematized and integrated to account for progress and development trends. It is characterized by a careful bibliographic review of at least 50 references.

Peer Review Process

All the articles will be subject to plagiarism detection through the software Turniting Detector. If there is any detection in all or part of the document, the text does not pass to editorial process and the author will be notified.

They following are the particular criteria for acceptance of the documents:

- The issue is not related to the subject area of the journal.
- It does not use the reference and citation by the American Psychological Association (APA)
- The article is not written in the required format (Microsoft Word).
- The author (s) has published in the last year in the journal.
- The article is sent out of the call due date.
- It does not meet standards for authors.

Articles that could be published will be submitted to evaluation by academic peers. Once they send their possible conclusions, we will forward those to the authors, who must deliver the article to the Editorial Board, including the suggested adjustments or the reasoning for avoiding them.

Finally, once contrasted the changes by the Editorial Board, the article is approved for publication and the author is notified about the number and the respective volume.

Publication Frequency

The Journal has three times a year periodicity the numbers circulate the months of January, May and December.

Open Access Policy

Non-profit publication

Within the editorial policies established for the journal, at any stage of the editorial process will be charges; sending articles, editing, publishing and subsequent submission of the contents are free, because the journal is a non-profit, academic publication.

Scope

The mission of the *Revista Científica* is to disseminate original articles of technical and scientific quality produced by members of the national and international academic and professional community, the area of Natural Sciences, as well as articles for review and updating, or other works that contribute to knowledge and development of the country.

Referee Guidelines

The articles submitted to be published in the Scientific Journal will be evaluated by two expert and anonymous reviewers. Each evaluator should carefully read the manuscript and issue a justified and reasoned report on the appropriateness of publication, including suggestions and guidelines for improvement.

The dimensions to take into account are the following:

1. Clarity, relevance and novelty of the subject and the problem analyzed.
2. Foundations (Theoretical framework and antecedents)
3. Methodology and data analysis.
4. Structure of discourse (argumentation, coherence, guiding thread)
5. Compliance with the rules of the Journal (title, abstract and key words in Spanish, English and Portuguese) <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#AuthorGuidelines>.

6. Format, presentation and extension.
7. Others that consider the pair.

The evaluation will conclude with one of the following decisions:

- A. Publish without modification;
- B. Publish with modifications;
- C. Not to publish.

Below you will find the evaluation format <Http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/11468>

Good practice and Ethical standards

With the purpose of maintaining the scientific and academic quality of publications, District University Francisco José de Caldas, the Scientific Research Center – CIDC, and the Editorial Board of the magazine, establishes the following ethical principles developed by the Committee on Publication Ethics-COPE, as well as the ethical and legal standards included in the APA's sixth edition publication guidelines. These good practices should be carried out by the authors, the Editorial Board and the institution.

Authors Responsibilities

In case of necessary, the author should submit in the Article the relevant information (funding agencies, institutional affiliation, participants, etc.) authorizing its publication in repositories or other forms of storage.

Declare the originality of the manuscript, make use of the information as demanded by copyright (Andean Decision 351 of 1993).

Certification of the originality of the paper; make use of information as demanded by copyright.

In case of necessary, ensure that studies in humans or other species comply with national and

international standards. To this end, provide proof of informed consent.

Declare any potential conflict of interest.

The author should report the Editorial Board on any significant error in the article to be corrected with the publication of an erratum, appendix, notice or correction.

In case of plagiarism, theft or omission of information, it is mandatory that the author retract publicly and depending on the seriousness of the offense, will be considered a removal or correction of the publication.

Editorial Board responsibilities

The Editorial Board of the journal acting objectively, without any sexual, religious discrimination, political, origin or ethics of the authors.

Follow proper procedures to resolve any ethical complaints or conflicts of interest. All the complaints will be subject of study and will allow the author response in a reasonable time.

Maintain the confidentiality of the data supplied and the editorial process. Also, to avoid the publication of any article with the following irregularities:

- Conflict of interest.
- Not original articles.
- Falsification or erroneous data.
- Fragmented publication.
- Containing plagiarism or self-plagiarism.
- Excessive citation or references not cited.
- Publications of the Editorial Board and The Scientific Committee are restricted.

Editor responsibilities

The Scientific Research and Development Center and District University Francisco José de Caldas

will ensure that ethical standards and good practices are fully implemented.

Identification of unethical behavior

If unethical behavior is detected, the complaint must be supported by sufficient evidence to initiate the investigation process. It must follow the due process and maintain the criteria for confidentiality of information. The Editorial Board of the journal may conclude the process with a decision that will be reported to the author involved in the situation, and the appropriate actions will be taken.

Severities of Unethical behavior

Misdemeanor: will be treated initially directly by the author in a limited period of time to answer.

Serious offense:

Serious offenses may require some of the following actions:

- Report the offense and take the steps to prevent future errors.
- Publication of formal notice detailing the unethical behavior.
- Editorial publication detailing the unethical behavior.
- Formal letter to the author and the entity supporting the research.
- Formal retraction or remove the article, having informed the author, indexing services and readers about the reasons for the decision.
- Report the case and the result to a professional organization or higher authority for further investigation and action.

Intellectual Property

The author (s) by submitting their article to the journal, certify that the paper has not been, and will be submitted or published in any other scientific

journal. By submitting the article also accepts that he will transfer the rights to the journal for the publication, who can use it in printed or electronic version.

To this end, it is available the format: Transfer of copyright, which must be sent signed by all the authors and in PDF format.

Non-profit publication

Within the editorial policies established for the journal, at any stage of the editorial process will

be charges; sending articles, editing, publishing and subsequent submission of the contents are free, because the journal is a non-profit, academic publication.

History

The magazine was created in 1999 by the Vice-Rector for Research, Innovation, Creation, Extension and Social Projection, with the intention of publishing articles related to scientific and technological development.

Directrices para autores/as

Formato único de envío

Recepción de artículos

Los artículos presentados pueden ser de carácter teórico, técnico o de aplicación, deben ser producto de una investigación, una experiencia práctica de la profesión o revisión EN EL ÁREA DE LAS CIENCIAS NATURALES, los cuales serán sometidos a un proceso de doble arbitraje ciego que evaluará la originalidad del texto, su desarrollo, la calidad de su argumentación y su relevancia. Los autores cuyos artículos sean publicados ceden los derechos a la Revista y al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y se hacen responsables de las opiniones y afirmaciones que en ellos contengan.

Envío de artículos: Los artículos deben ser enviados a través de plataforma OJS <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#onlineSubmissions>

Consideraciones para la preparación del artículo

El artículo enviado debe ser inédito (no sometido al mismo tiempo a ninguna otra revista). Los autores son responsables del contenido del documento. La autenticidad de la información incluyendo figuras, tablas y citas bibliográficas es responsabilidad completa del autor o de los autores.

Extensión: Los artículos tendrán una extensión máxima de 20 páginas incluyendo la bibliografía a **espacio 1,5** y letra Times Román 12 en formato Word.

Títulos: Sugerimos que los títulos no excedan de 15 palabras. Este debe incluir su traducción al inglés y al portugués.

Resumen: Debe mencionar el objetivo central del trabajo, metodología usada en la toma de datos, resultados más importantes y conclusiones. No debe exceder las 250 palabras y su correspondiente traducción al inglés y portugués.

Palabras claves: 5 a 7 palabras claves diferentes a las usadas en el título organizadas alfabéticamente, y su correspondiente traducción al inglés y portugués. Se recomienda el uso de tesauros específicos de acuerdo al tema del artículo. Ejemplos: The CAB thesaurus, base de Scielo.

Información de los autores: Todos los autores deben incluir sus nombres completos, la institución a la que pertenecen y el correo institucional. Ejemplo: Adriana Patricia Gallego Torres¹ Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá – Colombia. Contacto: adpgallegot@udistrital.edu.co

Gráficos y Tablas: Todas las ilustraciones incluyendo fotos, diagramas, mapas y gráficas, se clasifican como figuras, incluirlas dentro del texto con su respectiva fuente, deben ir debidamente numeradas y enviarlas en un archivo adjunto en formato .jpp ó .tiff con una resolución mínima de 300 dpi. Cite cada figura y tabla en el texto de acuerdo al orden de aparición.

Bibliografía: Es necesaria y se ubica al final de cada artículo. Va ordenada alfabéticamente por el apellido del autor, debe ir en normas APA recientes.

Agradecimientos al final del texto: Indicar las fuentes de financiación y/o apoyos recibidos.

Enviar la hoja de vida de sintetizada (máximo 2 páginas) de los autores.

Por políticas editoriales la Revista Científica NO acepta artículos de autores que previamente han publicado durante el periodo de medición de

Publindex. Ni artículos enviados en la misma convocatoria.

Lista de comprobación para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El artículo no ha sido publicado previamente, ni se ha presentado a otra revista simultáneamente.
2. El fichero enviado está en formato Open Office, Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
3. Se ha incluido la información completa de los autores, filiación institucional, país, correo electrónico institucional en el formulario web, **NO en el archivo.**

NO INCLUIR DATOS DEL AUTOR EN EL TEXTO

4. Las imágenes deben estar incluidas en el texto y enviadas por separado en alta resolución.
5. **Extensión:** Los artículos tendrán una extensión máxima de 20 páginas incluyendo la bibliografía a **espacio 1.5** y letra Times Román en formato Word.
6. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
7. El artículo está escrito a una sola columna e incluye el título, resumen y las palabras clave traducidos al inglés y portugués.
8. El trabajo se encuentra ubicado dentro del área de las **ciencias naturales (física, química, biología, matemáticas, ciencias de la computación, ciencias ambientales y educación científica)**.
9. Adjuntar cartas de derecho autor y de originalidad.

10. Usted no ha publicado con nosotros en los últimos tres números.

11. Si no cumple con alguno de los ítems su artículo será rechazado por el comité.

Aviso de derechos de autor/a

El (los) autor(es) al enviar su artículo a la Revista Científica certifica que su manuscrito no ha sido, ni será presentado ni publicado en ninguna otra revista científica. Al enviar el artículo acepta igualmente, que para su publicación transferirá los derechos a la revista, quien puede divulgarlo en versión impresa o electrónica.

Dentro de las políticas editoriales establecidas para la Revista Científica en ninguna etapa del proceso editorial se establecen costos, el envío de artículos, la edición, publicación y posterior descarga de los contenidos es de manera gratuita dado que la revista es una publicación académica sin ánimo de lucro.

Declaración de privacidad

La revista Científica se acoge a las disposiciones Hábeas Data en la Ley Estatutaria 1266 de 2008. Los nombres y direcciones de correo electrónico se usarán exclusivamente para los fines declarados por la revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Author Guidelines

Manuscript format

SUBMIT

Articles submitted for publication may be theoretical, technical and implementation nature, must be the result of research, practical experience of the profession or review of a specific topic related to the natural sciences, engineering, mathematics, technologies and science education, which will

undergo a double-blind arbitration process that will assess the originality of the text, its development, the quality of its reasoning and its relevance. Authors whose articles are published grant the rights to the Journal and the Center for Research and Scientific Development at the University Francisco José de Caldas and responsible for the opinions and statements they contain are made.

Shipping Item: Items must be sent through OJS platform <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#onlineSubmissions>

CONSIDERATIONS FOR ARTICLE

The paper submitted must be original (not submitted simultaneously to any other journal). The authors are responsible for the content of the document. The authenticity of the information, including figures, tables and citations is complete responsibility of the author or authors. Extension: Items have a maximum length of 20 pages including references to space and 1.5 point Times Roman 12 in Word format.

Titles: We suggest that do not exceed 15 words. This should include a translation into English and Portuguese.

Abstract: You must mention the focus of the work methodology used in data collection, most important results and conclusions. Should not exceed 250 words and its translation into English and Portuguese.

Keywords: five to seven different from those used in the title keywords organized alphabetically, and its translation into English and Portuguese. The use of specific thesauri according to the subject of the article is recommended. Examples: The CAB thesaurus, base Scielo

Authors information: All authors should include their full names, the institution to which they belong and institutional mail

Graphs and Charts: All including photos, diagrams, maps and charts, illustrations are classified as figures in the text to include with their respective Fuente, must be properly numbered and sent in an attachment .jpp or .tiff format with a resolution minimum of 300 dpi. I cite each figure and table in the text according to order of appearance.

Bibliography: Required and is located at the end of each article. It is arranged alphabetically by author's last name, you must go in recent APA standards <http://www.apastyle.org/index.aspx>.

Acknowledgements must go to the end of the text and indicate the sources of funding and / or support received.

Send the resume synthesized (maximum 2 pages) of the authors.

For editorial policies Scientific journal does not accept articles from authors who have previously posted during the measurement period Publindex. Or items shipped in the same call.

Submit on line: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/index>

Submission Preparation Checklist

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

1. The article has not been previously published or submitted to another journal simultaneously.
2. The file is sent in Open Office, Microsoft Word, RTF, or WordPerfect format.
3. It is included all the necessary information on the authors, institutional affiliation, country, institutional email.

4. Articles should be no longer than 20 pages including references to space 1.5 and Times Roman font in Word format. Additionally, there should be included all images in the document and in individual files.
5. The text meets the style and bibliographic requirements outlined in the Author Guidelines which can be found in "About the Journal".
6. The article is written to a single column and includes the title, keywords and abstract translated into English and Portuguese and using APA standards.
7. The article is about a research or review and refers to the research project.
8. Attach letters of copyright (derecho autor) and originality.
9. Not having published with us in the last three numbers.
10. Failure to comply with any of the items your article will be rejected by the committee.

Copyright Notice

Authors Responsibilities

In case of necessary, the author should submit in the Article the relevant information (funding agencies, institutional affiliation, participants, etc.)

authorizing its publication in repositories or other forms of storage.

Certification of the originality of the paper; make use of information as demanded by copyright.

In case of necessary, ensure that studies in humans or other species comply with national and international standards. To this end, provide proof of informed consent.

Declare any potential conflict of interest.

The author should report the Editorial Board on any significant error in the article to be corrected with the publication of an erratum, appendix, notice or correction.

In case of plagiarism, theft or omission of information, it is mandatory that the author retract publicly and depending on the seriousness of the offense, will be considered a removal or correction of the publication.

Privacy Statement

The Revista Científica runs under the general standards of the Habeas Data, contained in Statutory Law 1266 from 2008, for the management of information contained in the personal Databases.