



EDITORIAL
TEINCO

REVISTA CIENTÍFICA

DYNAMIKOS

REVISTA DE INVESTIGACIÓN EN EL CAMPO DE LAS INGENIERÍAS



NÚMERO 1

VOLUMEN 1, NÚMERO 1

ENERO - JUNIO DE 2020

ISSN 2711-4724

CORPORACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL COLOMBIANA (TEINCO)



TEINCO
Corporación Tecnológica
Industrial Colombiana



REVISTA CIENTÍFICA

DYNAMIKOS

REVISTA DE INVESTIGACIÓN EN EL CAMPO DE LAS INGENIERÍAS



REVISTA CIENTÍFICA
DYNAMIKOS
ENERO - JUNIO DE 2020

Mag. Manuel Fernando García García

Editor

EDITORIAL TEINCO
Av. calle 63 #22-39
Sede 7 de agosto Bogotá D.C.
5714856565- 3124319746
manuel.garcia@teinco.edu.co

JUNTA DIRECTIVA TEINCO

William Fernando Sánchez Corredor

Rector

Ernesto Parra Herrera

Secretario General

Ferney Rodrigo Ortiz Jiménez

Representante del Consejo Directivo

Wilson Ferney Molano García

Vicerrectoría Académica

Yaneth Lucía Hernández Castellanos

Vicerrectoría de Gestión

Manuel Fernando García García

Dirección División Investigación Tecnológica Aplicada DITA

COMITÉ CIENTÍFICO

Ing. Jairo Enrique Roa León M.Sc

Lic. Luis Alejandro Parra Mora M.Sc

Ing. Sergio Arley Puerto Moreno M.Sc

Ing. Diego Felipe Torres M.Sc

COMITÉ EDITORIAL

Ferney Rodrigo Ortiz Jiménez

Wilson Ferney Molano García

Manuel Fernando García García

Luis Alejandro Parra Mora

Lady Johanna Herrera Vargas

Heriberto Alvares Bustos

DIAGRAMACIÓN Y ESTILOS

Dayiry Tatiana Bedoya

Jhonatan Fernando Castro



TEINCO
Corporación Tecnológica
Industrial Colombiana



TEINCO
con los
ODS

Economía

ECONOMÍA DIGITAL: UN PROTOCOLO FIABLE PARA UN FUTURO DISEÑADO

Adriana María Oviedo Llanos
Integrar, Corporación Tecnológica Industrial Colombia

Sistemas

GOBIERNO DIGITAL Y FORMACIÓN DE PROFESIONALES

Jhon Harold Ruiz Patiño
Facultad de Ingeniería de Sistemas, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana

Sergio Arley Puerto Moreno
Facultad de Ingeniería de Sistemas, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana

Mecatrónica

IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO EDUCATIVO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE RESISTENCIAS ELECTRÓNICAS A TRAVÉS DE REALIDAD AUMENTADA

Fabio Andrés Galeano Nieto
Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana

Wilson Ferney Molano García
Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana

Lina Margarita Serna Cortes
Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana

Mecatrónica

RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES CON REDES CONVOLUCIONALES EN MATLAB

Joseph Jhona Vogulys Medina
Davinchi, Ingeniería mecatrónica., Univ. Militar Nueva Granada - UMNG



Mecatrónica

ESTUDIO COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH USANDO SACCHAROMYCES

Adolfo León Agatón
 Profesor de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores
 Jennifer Yuliet Balcazar Alarcón
 Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores

Ciencia y Tecnología

EXTRACCIÓN DE ÁCIDO ANACÁRDICO Y CARDANOL A PARTIR DE ACEITE DE CASCARA DE NUEZ DE MARAÑÓN

Jorge Alberto Ducuara Hernández
 Estudiante de pregrado - Universidad de Sucre
 Alvaro Angel Arrieta Almario
 Profesor de planta del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre

Ciencia y Tecnología

LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO DAS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA RESOLUÇÃO DO SUDOKU

João Marcos de Andrade
 Estudiante del Curso de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil
 Me. Wesley Pereira Marcos
 Profesor, Departamento de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil

Ciencia y Tecnología

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CAVITACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO INTERNO EN TOBERAS DE INYECCIÓN DIESEL TRANSPARENTES

Oscar-Hernando Venegas-Pereira
 Profesor del Programa de Ingeniería Mecánica de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Colombia

Ciencia y Tecnología

IMPORTANCIA DE LA ADOPCIÓN DEL NIST CYBERSECURITY FRAMEWORK EN LAS ORGANIZACIONES

Luis Eduardo Baquero Rey
 Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia
 Miguel Hernández Bejarano
 Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia
 Gabriel Antonio Rojas Díaz
 Estudiante del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia

REVISTA CIENTÍFICA **DYNAMIKOS**

Rodrigo Ortiz Jiménez
Representante del Consejo Directivo
Corporación Tecnológica Industrial Colombiana TEINCO
rodrigoortiz@teinco.edu.co

Mientras en el ubérrimo se define el curso de un hecho histórico, la sociedad colombiana poco a poco se sacude de los embates de la pandemia y el mundo con más preguntas que respuestas sumergido en el caos propio de la modernidad, al unísono pide un cambio necesario, la academia sigue reclamando su lugar en la historia y en la cotidianidad humana.

En este presente rodeados de vejámenes, miedos e incertidumbres, la Corporación Tecnológica Industrial Colombiana presenta la primera edición de su revista DYNAMIKOS, la puesta en escena de un sueño que se hizo realidad. Años de experiencia académica, algunos intentos frustrados y el concurso de muchas mentes brillantes, en buena hora dan a luz esta propuesta investigativa que abre sus puertas al mundo del saber y la innovación.

Con cuatro modestos pero laboriosos artículos, DYNAMIKOS pretende deleitar a sus lectores con un acercamiento a este mundo y realidad digital, el mundo de la cuarta revolución, que hoy más que nunca necesita ser interpretado y reescrito, requiere ser analizado y reflexionado desde las diferentes aristas del saber, con el ánimo de construir nuevos caminos que conduzcan al aprendizaje y a la otrora dialéctica del conocimiento y la transformación social.

Al mismo tiempo, esta revista de investigación científica colabora desinteresadamente con el esfuerzo mundial planteado en la declaración del milenio de las Naciones Unidas del año 2000 y ratificado en la asamblea general

de este mismo organismo en septiembre de 2015. Los objetivos de desarrollo sostenible, noble causa que mediante 17 estrategias y 169 metas pretenden para el año 2030 cambiar, construir y entregar a las nuevas generaciones un mundo con esperanza y el sueño alcanzable de ser mejor.

Esta revista representa y sintetiza el espíritu y filosofía de TEINCO como institución de educación superior, esta publicación reconoce la valía e importancia de todo el conocimiento, del saber en su conjunto, de las interpretaciones y aportes ingenieriles, administrativos, artísticos, pedagógicos, sociales y todos aquellos esfuerzos intelectuales que desde cualquier punto o lugar en el espacio-tiempo realicen aportes en el desarrollo y progreso de las ideas como instrumento de interpretación y comprensión de la realidad.

DYNAMIKOS es una herramienta para expresar nuestras ideas, para comunicar la manera como entendemos la realidad y de la misma forma es nuestro instrumento de transformación. Creemos en una educación al servicio de la sociedad, una educación incluyente, igualitaria, solidaria, crítica y democrática. Los invitamos pues a sumergirse en el mundo mágico de la investigación, donde solo las mentes libres se pueden encontrar.



ECONOMÍA DIGITAL: UN PROTOCOLO FIABLE PARA UN FUTURO DISEÑADO

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

DIGITAL ECONOMY: A RELIABLE PROTOCOL FOR A DESIGNED FUTURE **ADRIANA MARÍA OVIEDO LLANOS**

Integrar, Corporación Tecnológica Industrial Colombia, Colombia. Email: adriana.oviedo@teinco.edu.co

RESUMEN

Este documento presenta una breve síntesis de la evolución tecnológica y los efectos sobre el crecimiento y desarrollo en la sociedad generando desafíos en la nueva tecnología denominada cuarta revolución. El papel de las plataformas digitales y las ventajas que han adquirido en los agentes consumidores, productores y gobierno ha enmarcado un círculo de nueva competencia.

Asimismo, de cara a esta nueva competencia se establece la relación futura de la tecnología blockchain y contratos inteligentes y las oportunidades y retos en la era digital.

PALABRAS CLAVE (JEL): Productividad, Cambio tecnológico, Innovación tecnológica, derecho cibernético, Contratos inteligentes, Cadenas de bloques, criptomonedas.

ABSTRACT

This document presents a brief summary of the technical evolution and the effects on growth and development in society. The role of digital platforms and the advantages that they have acquired in the agents of consumers, producers and the government have framed a circle of new competition.

Also, in view of this new competition, the future relationship of blockchain technology and smart contracts and the opportunities and challenges in the digital era are established.

KEYWORDS (JEL): Productivity, Technological Change, Technological Innovation, Cyber Law, Smart Contract, Blockchain, bitcoin.

Artículo de reflexión, desarrollado como apuntes de clase y parte preliminar de la tesis de maestría actualmente en desarrollo, candidata (Oviedo, A) a magister en derecho económico internacional, comercio, transacciones e inversiones por la Universidad Externado de Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Parece ser que en las últimas décadas la sociedad de la información ha observado el crecimiento potencial de las nuevas tecnologías y con ello, el beneficio que conlleva al progreso económico y social de las naciones. En el pasado, muchas de las tareas tradicionales desempeñada por la sociedad fueron reemplazadas paulatinamente a través de las primeras revoluciones e invenciones industriales donde las primeras disrupciones tecnológicas se introdujeron en la productividad generando eficiencia tales como la máquina del vapor, el generador eléctrico y la imprenta (FMI, 2018).

En los últimos 40 años se evidenciaron con mayor impulso las nuevas transformaciones y desarrollos tecnológicos donde la aceleración económica está acompañada a medida que la población aumenta en consumo y producción de bienes y servicios. Está correlación entre demanda y oferta forjaron en nuevas empresas de economía digitales para satisfacer el consumo de la población, empresarial y de gobernanza. Es así como podemos entonces mirar hacia atrás y recordar que gran parte de la búsqueda de información se realizaba entonces a través de los libros, archivos o documentos físicos, las grandes bibliotecas o centro de información documental ofrecían el servicio de hemerotecas. En la actualidad esta búsqueda dio un paso gigante a las grandes bases informáticas que ofrecen las empresas digitales como Google, Wikipedia, entre otras redes para realizar nuestras actividades académicas, profesionales y demás actividades comerciales, gracias a la aparición del internet.

Sin embargo, conforme a algunas limitaciones ejercidas por el internet antes de la nueva revolución, es decir, imaginemos hace 30 años atrás realizar virtualmente la compra de una vivienda, un auto, una importación, una exportación, enviar dinero de manera directa, entre otras transacciones con dinero digital de manera segura, confiable, transparente y sin riesgo alguno.

En cada operación existe una cadena de documentos o transacciones financieras que deben ser intercambiados, acordados, confirmados, validados o firmados. Todo esto tiene un elemento común de fricción en términos de seguridad, tiempo y costos. Nos referimos entonces a la nueva tecnología llamada Blockchain enfocada principalmente a los contratos inteligentes o "Smart Contracts" y sus retos jurídicos para ser implementada.

2. SUMA EVOLUTIVA DEL CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO

El desafío tecnológico que se encuentra la actual sociedad de la información ha permitido explorar y explotar el máximo de los beneficios de la cuarta revolución industrial, en donde el avance tecnológico ha influido en los agentes económicos para acelerar el consumo de los bienes o servicios que las empresas oferentes han introducido a través de las nuevas plataformas digitales.

A través de la evolución los seres humanos aprendimos a recolectar, cazar y pescar de acuerdo con las dotaciones y/o condiciones de la naturaleza, el hombre era nómada, y a medida que el cambio gradual biológico se daba así mismo fue especializando y desarrollando las fuerzas de producción, pasando de la comunidad primitiva hasta el desarrollo y subdesarrollo (Nikitin, 1997). De modo que el progreso tecnológico se manifestó espontáneamente, al igual que el cambio en el ecosistema natural de la tierra presentado transformaciones graduales así mismo ha sido esta disrupción.

El mundo ha presenciado invenciones desde la rueda, el fuego hasta la aceleración y creación de herramientas con la finalidad de impulsar e incrementar la utilidad y cambio tecnológico en los sectores industriales, solo tres tecnologías ganaron esta distinción: la máquina de vapor, el generador eléctrico y la imprenta (FMI, 2018).

No obstante, el mundo se encuentra a puertas de la revolución tecnológica y la necesidad de implementar nuevas tecnologías a las cadenas de producción para potencializar los mercados con un alto valor agregado; caracterizando la nueva competencia del mercado internacional (UNCTAD, 2019), ya no es una necesidad sino una realidad; donde las empresas tradicionales por sus productos comerciales en el mundo global ya no predominan por un bien tangible, sino todo lo contrario, por un servicio intangible aplicable, inventivo y novedoso.

Economía de Colores (Sala i Martin, 2016) cuestiona ¿Cuál es el valor económico de las ideas en el proceso económico de realizar desde una galleta o un iPhone? Un bello y sofisticado ejemplo que reflexiona como la humanidad sigue abriendo puertas al conocimiento que no deja de crecer. En el ejemplo de la galleta, aunque la respuesta es evidente, los economistas dan respuesta al valor agregado como: i. los elementos esenciales de la galleta (materia prima) se denomina capital físico, ii. la persona quien lo realiza es el capital humano, iii. la receta de que es una galleta será el conocimiento, la idea.

Por lo tanto, la relación entre capital físico, humano y el conocimiento, son la sumatoria de comprender que el progreso de la sociedad se infiere con la exploración e invención de nuevas técnicas que mejoran la calidad de vida. Cuando la creación de ideas se relaciona con el capital humano y físico se produce valor agregado y el valor económico adquiere una nueva forma de inventar nuevos productos, formas de fabricar, diseñar y distribuir los bienes y servicios (Sala i Martin, 2016, pág. 53) de un modo eficiente.

Disrupción: representa una apuesta por lo desconocido, lo arriesgado por un impacto que se presume de futuro inminente. Cuando aquello que produjo la disrupción es aceptado por la sociedad y asumiendo como normal, deja de ser disruptivo para convertirse en lógico, común e incluso convencional o tradicional. (Bayon, F, 2014). Disponible. <https://www.eoi.es/blogs/fernandobayon/2014/02/24/disrupcion/>

Entonces el conocimiento en esta revolución ha adquirido un papel fundamental, donde el valor es incuantificable; en el sentido que cuanta más personas, tengan acceso al conocimiento, la preparación y acceso a las ideas, siempre existirá la posibilidad de la reinvencción, de crear nuevas revoluciones de conocimiento. Un claro ejemplo es como gran parte de las personas realizaba la búsqueda de la información a través de medios físicos (libros, revistas, documentos) ubicados en las grandes bibliotecas; hoy en día la digitalización ha permitido que la concentración de los datos se masifique y concentre en plataformas electrónicas, permitiendo el acceso de todo conocimiento en estas bases como Wikipedia u otras fuentes de búsqueda para actividades académicas, profesionales o laborales.

Ahora veamos desde la aparición del internet, el ser humano se ha enfrentado a matar mosquitos y matar pensamientos como señala Yuyal Noah Harari, en su libro 21 lecciones para el siglo XXI, es decir que el homo y en su continúa búsqueda de aprendizaje en la necesidad controlar el mundo, aún no ha sido suficiente el control de sus deseos y sus necesidades; por ellos se evidencia que en los últimos 50 años la innovación tecnológica se transforma en cada periodo de forma cíclica, contribuyendo a la actual revolución tecnológica, biotecnológica e infotecnológica (Noah Harari, 2018).

Es decir, desde la última revolución industrial y la modernización del conocimiento estos últimos 50 años la disrupción tecnológica evidencia nuevos productos en beneficio de la sociedad y utilidades económicas.

“(…) la penicilina, lavadoras, electricidad, teléfonos, muñecas Barbie, el cine, la radio, la televisión, los ganchitos, los coches, los aviones, los transistores, los ordenadores, el internet, los teléfonos inteligentes, la nube, los sensores, los robots, las impresoras 3D, la biología sintética, la nanotecnología, la medicina personalizada, los big data y la inteligencia artificial.” (Sala i Martin, 2016, pág. 69).

¿Tiene límites el conocimiento para la creación del valor económico actual? En el informe Perspectivas de la OCDE sobre la economía digital 2017 enfatiza con respecto a la perspectiva tecnológica y de la importancia actual de los ecosistemas tecnológicos, que están impulsando la transformación de la economía digital otorgando nuevas oportunidades y retos de estas nuevas tecnologías emergentes, es así que en la década de los ochenta se conceptualizó y comercializó las computadoras personales, el Internet en los noventas, la computación móvil y los teléfonos inteligentes a inicios del 2000 y el Internet de las Cosas (OCDE, 2018), la nube, blockchain entre otras nuevas tecnologías en la década.

En efecto, el conocimiento no tiene límites, dado a que el crecimiento económico esta correlacionado con el nuevo conocimiento expuesto anteriormente que ha permitido la generación de nuevos bienes y servicios. Además, el mundo se enfrenta a la escasez de los recursos y en algunos sectores económicos está sucediendo que el progreso no significa la utilización de los recursos, sino la implementación de estas nuevas tecnologías en esta producción.

Dadas las características socio económicas que el actual panorama está visibilizando, los organismos internacionales como la FMI, OMC, UNCTAD, B.M, WIPO, entre otras están explorando las características, rasgos, oportunidades y retos de los avances que se avecinan con el crecimiento y cúspide de la disrupción tecnológica que hace 20 o 30 años atrás no se creían actuales ligeramente proyectos.

Cadenas de Bloques: Blockchain y Bitcoin ¿Cómo se relacionan?

Al reflexionar en los métodos transaccionales tradicionales de los últimos 50 años y la convergencia que el mundo ha presentado nunca se habría imaginado llegar a la criptomoneda como un método adicional, moderno y revolucionario ¿acaso lo es?

Hace más de 30 años la ciencia a través de la programación y la computación ha tratado de buscar las respuestas o soluciones posibles de la privacidad y seguridad planteada por el internet a través de la criptografía. Sin embargo, el desarrollo de la nueva tecnología blockchain permitió que todos los participantes de la interfaz que otorgaba internet mejorarán e interactuara a través de cadenas de bloques en la transferencia de un valor o activo de un lugar a otro sin la intervención de un tercero (Preukschat, 2017) creando un nuevo servicio denominado Blockchain.

Blockchain o las cadenas de bloques, pretende que los intermediarios interactúen a través de una confianza entre las partes sin necesidad de terceros; a medida que se realiza transacciones entre organizaciones, personas (sujetos) se está creando la necesidad de formar la importancia de cómo las organizaciones pueden distribuir, organizar y administrar de manera segura y transparente la negociación a través de las cadenas de bloques.

Lo anterior emerge los contratos inteligentes que incluyen la evolución son la consecuencia de los contratos web en la economía digital.

“En cada operación hay una cadena de documentos o transacciones financieras que deben ser intercambiados, acordados, confirmados, validados o firmados. Hay muchísima información duplicada en los sistemas digitales de cada uno de los participantes y no da las garantías de seguridad y confiabilidad que se requieren. Cuando se eliminan estas fricciones, podemos reducir costos de forma muy significativa (Portafolio, 2017).

Para tener esa seguridad, confiabilidad y aun transparencia, se origina una nueva tecnología que poco se conoce, sin incursionar completamente en el mundo, pero de la cual ya se está hablando: Blockchain.

La cadena de bloques (FMI, 2018, pág. 345) opera esencialmente como i. una base de datos distribuida y a prueba a cualquier ataque de hackers o ciberataques, ii. posee una capacidad de almacenamiento para las actividades que fue creada, iii. posee unas características de confianza transferida a los desarrolladores de la infraestructura de los nodos, iv. Los nodos en la cadena de bloques son coordinados a través de un protocolo específico que estipula unas reglas para el registro de los datos en esta base.

Dicho lo anterior el protocolo de las cadenas de bloques, por lo general permiten tener operadores centralizados encargados del mantenimiento de la base de datos, lo anterior es el resultado de establecer un protocolo computacional distribuido que garantiza la integridad de la información. Las cadenas de bloques (Preukschat, 2017, pág. 26). Ahora la infraestructura de la blockchain acorde a su creador Satoshi Nakamoto funciona directo y entre iguales o puerto a puerto (peer – to - peer o P2P); este nuevo protocolo se idealizó y creo como un nuevo pago electrónico que se usaba a través de una criptomoneda - bitcoin.

El P2P es en otras palabras el almacenamiento y administración de datos de una red distribuida de pares con la finalidad de conservar un libro distribuido (contable).

Los nuevos retos que se erigen en esta escala de disrupción a través de la Blockchain se constituyen en la distribución de la P2P, dado a la ausencia de un operador central encargado de la regulación entorno a la legalidad institucional, es difícil que la influencia gubernamental en el actual panorama realice la sinergia en estas redes de cadenas de bloques.

Es así de la crisis financiera del año 2008, la plataforma de Satoshi Nakamoto empieza a funcionar a partir de la manifestación de bitcoin, donde se permite la realización de pagos a través de la plataforma digital confiable alrededor del mundo. Un bitcoin (BTC) es una unidad de cuenta de la red bitcoin (protocolo p2p) como sistema de pago descentralizado que opera independientemente de cualquier banco central (FMI, 2018, pág. 346). La criptomoneda o moneda digital fue lanzada a mediados de 2009, en anonimato bajo el nombre de Satoshi Nakamoto mencionado anteriormente, dando una solución en medio de la crisis de operación a un protocolo fiable en torno de programación – computacional; institucional: la confianza en los bancos dado a que la población ha perdido la imagen en la banca central en medio de la crisis financiera y oportunidad de disrupción tecnológica (Cannucciari & Levy, 2017).

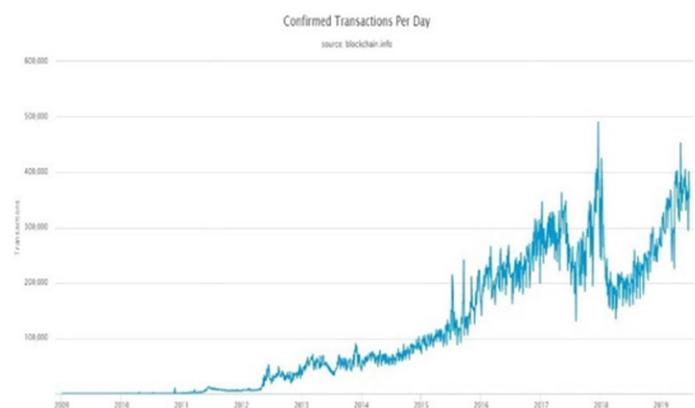
Consideramos ahora que “(...) Bitcoin está formado por una red consensuada que permite un sistema de pago nuevo con una moneda totalmente digital. Es la primera red P2P (entre pares) de pagos, siendo descentralizada e impulsada por sus usuarios sin una autoridad central o intermediarios (...) Es libre, es abierto, pero sobre todo es descentralizado y cuida tu privacidad. No está controlada por ningún banco, gobierno ni empresa. Depende de una red formada por ordenadores de personas. Una red descentralizada y gestionada por sus usuarios. O, dicho de otra forma: no existe un banco central que emita el dinero alegremente”. (Anónimo, s.f)

Podemos entender ahora la relación entre Blockchain y Bitcoin, en cómo se complementan; sin embargo, lo describimos un poco más.

Indicamos que Bitcoin es dinero digital, pero cuando pensamos en cosas digitales pensamos en ficheros que se pueden copiar y pegar, descargar y modificar una canción, un video musical, una fotografía o cualquier otro fichero que se pueda subir desde el ordenador. Ahora, desde el punto de vista del Bitcoin, la situación es diferente, el dinero no se puede copiar y pegar como la situación descrita. La operación de Bitcoin el usuario la puede llevar desde el ordenador a partir de la interfaz de la internet, pero las operaciones que realice el usuario están guardadas y almacenadas en el ordenador a través del libro contable, en esta red.

La anterior relación Blockchain – Bitcoin ha generado en los usuarios a partir del año 2009 transacciones de la red ha crecido de menos de 100 transacciones por día hasta más de 250,000 transacciones confirmadas a diario en el primer trimestre de 2017 (OCDE, 2018, pág. 346) a mayo de 2019 se han realizado 330,732 transacciones (Ver ilustración 1). Así mismo a la fecha existe más de 30 denominaciones en el mercado de monedas digitales transaccionales que operan en plataformas digitales, aparte del Bitcoin (BTC), también existe el Ether, Ripple, Bitcoin cash, Litecpoin entre otras valorizadas a 2017 en US\$ 143 mil millones aproximadamente en el mercado de capitalización (Dinero, 2017).

Ilustración 1. Transacciones de Bitcoin (BTC) confirmadas por día. 2009 hasta mayo de 2019.



Fuente: Blockchaininfo, <https://www.blockchain.com/charts/n-transactions?timespan=all> consultado el 19 de junio de 2019.

La economía digital ha permitido que el consumo se reinvente a través de las empresas de bienes y servicios por medio de los cupones digitales, millas o minutos al aire en redes de telefonía móvil, monedas digitales emitidos por plataformas sociales o juegos digitales, y aquellos bitcoins que se encuentren soportados por un activo real (Arango , Barrera, Bernal, & Boada, 2017, pág. 4); No obstante, a nivel mundial como en Colombia de acuerdo al Banco de la República las denominadas Bitcoin o criptoactivos o criptomonedas, no tienen alguna representación o respaldo legal y jurídico que responda a los consumidores ante un fraude o falla del P2P, es decir el banco central no responde dado a que no tiene un valor monetario en términos de pesos, dólar, euros entre otros.

El precio de la criptomoneda es altamente volátil, por ello la protección y sumando la falta de respaldo por la institución “gobernanza” al consumidor e inversionista hacen que el esquema de esta nueva propuesta a través de la plataforma Blockchain sea cuestionable y limitada, generando retos en las futuras políticas de cada Estado acorde a la OCDE y las perspectivas tecnológicas (OCDE, 2018).

Como hablamos de transacciones seguras, confiables y transparentes en esta nueva era digital, si así lo podemos llamar, hay cosas aún están por implementar como retos a este nuevo desafío tecnológico de las cuales se exteriorizarán más adelante; pero si podemos puntualizar brevemente las ventajas de la relación de la nueva tecnología Blockchain – bitcoin:

- Todos podremos intercambiar bienes y servicios sin necesidad de terceros.
- No es necesario confiar en el otro porque la confianza es intrínseca al sistema.
- Aunque el Bitcoin es una de sus aplicaciones existentes más conocidas, esta tecnología abre un nuevo mundo de posibilidades dado que puede albergar cualquier tipo de documento legal sin que ningún Estado, persona o empresa las controle o fiscalice, desde partidas de nacimiento y defunción, escrituras e historiales clínicos hasta votos, origen de los alimentos y cualquier cosa que pueda codificarse.
- Propone nuevas formas de optimizar nuestras relaciones, ahorrar costes administrativos, favorecer cooperaciones sectoriales.
- Acceso en tiempo real a las operaciones. Menores costos en la creación de documentos, gracias a la automatización de procesos, la eliminación de bancos corresponsales y la reducción del fraude.
- Seguridad, confianza y transparencia en la transacción.
- Una tecnología para asegurar la validez de las transacciones.

Blockchain: nuevos retos contractuales.

La tecnología Blockchain brinda posibilidades de generación de confianza a través de una plataforma segura y transparente entre el destino (emisor) y destinatario (receptor) el cual es muy difícil de modificar los datos contenidos en esta estructura de datos criptonizados.

Ahora los campos de aplicación, hoy en día se ha identificado que Blockchain no solamente sirve para el uso del intercambio de Bitcoin, sino también es una plataforma que brinda la oportunidad al futuro inmediato de utilizarse como herramienta de desarrollo a la inteligencia artificial (IA) por medio del desarrollo de la información que la población desee otorgar.

Asimismo, se identifican qué otros campos de aplicación en el futuro de la Investigación & Desarrollo (I&D) son a través de la innovación de: Smart Contracts “Financiero”, Certificación de la Propiedad Intelectual, Sanidad de los países a través de la identificación de las personas, Certificación de la propiedad privada “tierras” y en términos de comercio y economía internacional se identifica las Medidas Fitosanitarias, etiquetado de los productos, normas de origen entre otros. Dado lo anterior, este análisis se enfoca a la materialización de los Smart Contracts y el reto en el sector financiero. Los Smart Contracts, se concibe en el desarrollo del uso tecnológico de blockchain en 1994 por el criptógrafo Nick Szabo , en donde establece a través de un uso de lenguaje programático informático por medio de algoritmos fundamentando un documento y/o contrato no tradicional o impreso evitando la utilización del lenguaje legal.

Los Smart Contracts son scripts (Ver ilustración 2) que facilitan las transacciones en línea, son modulares, autónomos, receptible que representan aquellas promesas contractuales unilaterales y que se almacenan dinámicamente en una cadena de bloque a través de la red P2P de forma descentralizada y segura.

Ilustración 2. Contrato inteligente caso Ethereum.

```

/* Allow another contract to spend some tokens in your behalf */
function approve(address _spender, uint256 _value)
    returns (bool success) {
    allowance[msg.sender][_spender] = _value;
    return true;
}

/* Approve and then communicate the approved contract in a single tx */
function approveAndCall(address _spender, uint256 _value, bytes _extraData)
    returns (bool success) {
    tokenRecipient spender = tokenRecipient(_spender);
    if (approve(_spender, _value)) {
        spender.receiveApproval(msg.sender, _value, this, _extraData);
        return true;
    }
}

/* A contract attempts to get the coins */
function transferFrom(address _from, address _to, uint256 _value) returns (bool success) {
    if (balanceOf[_from] < _value) throw; // Check if the sender has enough
    if (balanceOf[_to] + _value < balanceOf[_to]) throw; // Check for overflows
    if (_value > allowance[_from][msg.sender]) throw; // Check allowance
    balanceOf[_from] -= _value; // Subtract from the sender
    balanceOf[_to] += _value; // Add the same to the recipient
    allowance[_from][msg.sender] -= _value;
    Transfer(_from, _to, _value);
    return true;
}

/* This unnamed function is called whenever someone tries to send ether to it */
function () {
    throw; // Prevents accidental sending of ether
}

```

Fuente: (Mitra, 2019)

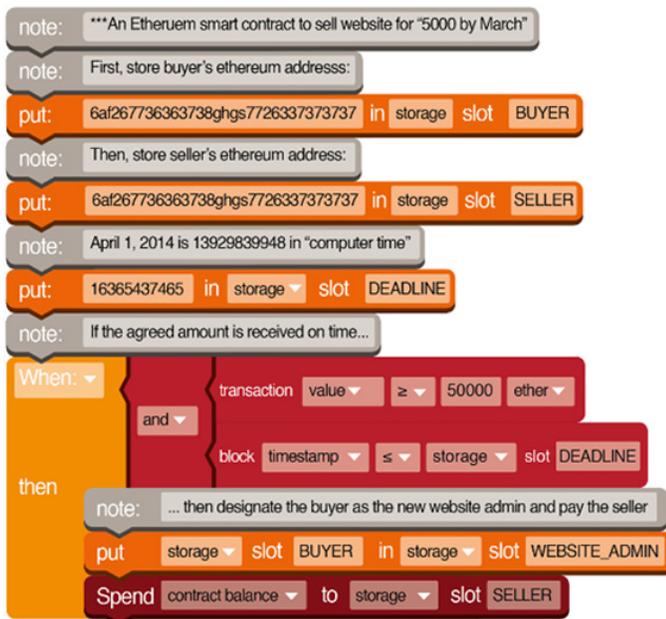
Nick Szabo. Smart Contracts. 1994. Disponible en:

<http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>

El anterior ejemplo es una demostración de la programación algorítmica de un contrato inteligente del caso Ethereum, en donde las partes adquieren en determinado momento la cantidad de 10.000 BTC permitiendo que cualquiera y con un saldo suficiente los distribuya a otros en los mismos términos BTC.

Ahora ¿cuál es la ventaja de los Smart Contracts? de acuerdo con la investigación de la PwC (2016) los contratos tradicionales en el futuro inmediato no serían necesario en términos legales, tampoco habría lugar a presencia física de firmar el contrato entre las partes (Ver ilustración 3), los costos se fraccionaron por medio de la utilización de esta herramienta, se generarían cadenas de valor.

Ilustración 3. Ejemplo Scripts - Smart Contracts "EtherScripter".



Fuente: (Morrison, 2016) How smart contracts automate digital business. "What is Ethereum?" EtherScripter, 2016, accessed January 7, 2016.

Algo muy importante es que no se tendría un manual de remitencia, si no que sería algo más automático y que es efectivo. Si se analiza en términos de competitividad y el doing business, algo que los países latinoamericanos ocupan los últimos puestos en términos legales o institucionalidad o en el índice logístico LPI del Banco Mundial es el tema de eficiencia contractual o documentación para notaría, días de registro de una empresa o contratos.

Sin embargo, (Reginfo, 2019) ha mencionado que un "contrato inteligente no es tan inteligente como parece ser" en diferentes foros, congresos y workshop, es decir en miras a la disrupción tecnológica, el contrato inteligente posee dos características mencionadas a lo largo de este documento: es un contrato electrónico y contiene criptografía; ahora la relación de estas dos se encuentra en que ninguna de las dos se interrelaciona entre sí, dado a que las características y comportamientos de estas hace que se complique la fusión.

Mitra. Contratos inteligentes: La tecnología de cadena de bloques que reemplazará a los abogados Disponible en: <https://blockgeeks.com/guides/es/contratos-inteligentes/>

Un contrato electrónico o web están vinculados en la presentación digital de los términos y condiciones expresadas alfanuméricas (Peña, 2018), en este punto existe obligaciones sujetas las obligaciones pactadas en este contrato; sin embargo, la novedad electrónica se constituye en la forma de desmaterialización del contrato per se.

Cuando se introduce la criptografía al contrato web o electrónico entendido como una programación realizada por terceros sin necesidad de realizar términos y condiciones desde la estructura legal fuera de la jerga, se empieza a analizar que los retos jurídico y complicaciones discriminadas por varios autores académicos como (Reginfo, 2019) y (Peña, 2018) suscita en sí un contrato inteligente desde la concepción o marco de la economía digital facilitará la veracidad de automatización y obligación en términos legales para la ejecución del mismo.

Es difícil, desde el punto de vista de la economía digital determinarlo dado a que el reto jurídico está que en qué la profesión entre abogados y la programación se interrelacione para empezar a realizar esta estructura que se planea. Un claro ejemplo que en la actualidad se realiza en vista a aprovechar el movimiento de las mercancías y automatizar la documentación es la plataforma blockchain de Maersk e IBM .

El joint Venture de Maersk e IBM busca tres objetivos: (i) Una red de información naviera proporcionará visibilidad de la cadena integral de suministro: permite a través de la plataforma blockchain intercambiar información en la gestión de la cadena de suministro con respecto al envío en términos de tiempo real y seguro.

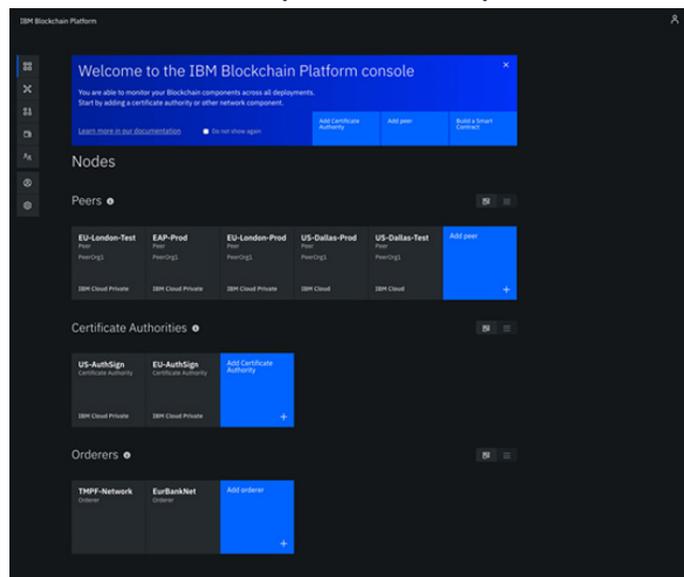
(ii) Paperless Trade (comercio sin papel): se busca la digitalización y automatización de la gestión documental del proceso de la gestión de la cadena de suministro con la finalidad que los usuarios finales envíen, validen y aprueben documentos de forma segura, a través de los límites de la organización.

(iii) Contratos inteligentes: a través de la plataforma blockchain se asegura que los contratos inteligentes de Maersk e IBM obtenga todas las aprobaciones requeridas para reducir errores de la digitalización y automatización en la gestión documental en la cadena de suministro.

El resultado de la plataforma es la reducción de tiempo y coste de despacho y movimiento de una operación naviera que normalmente tiene un proceso manual largo y extenso en algunos países de acuerdo con el Doing Business y al LPI.

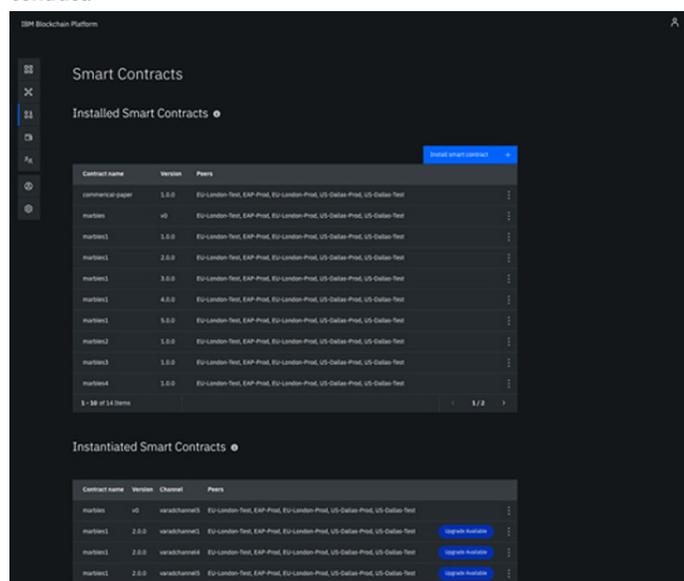
PwC. How smart contracts automate digital business. Disponible: <http://usblogs.pwc.com/emerging-technology/how-smart-contracts-automate-digital-business/>

Ilustración 4. IBM blockchain plataforma console – part 1.



Fuente: Introducing IBM Blockchain Platform Free 2.0 Beta (Pedity, s.f).

Ilustración 5. IBM blockchain plataforma console – part 3: installed Smart contract.



Fuente: Introducing IBM Blockchain Platform Free 2.0 Beta (Pedity, s.f).

El aspecto jurídico de esta tecnología suscita en los Smart Contracts, ICOS o DAO. Estas son las modalidades que permiten dar vinculación jurídica a esta tecnología y dar la capacidad de ser ejecutable en el mundo real, si así se puede decir, en acuerdo con las leyes.

Noticias IBM. Disponible:
<https://www-03.ibm.com/press/es/es/pressrelease/53608.wss>

Inicia desde el momento en que dos o más partes se ponen de acuerdo en la cosa y el precio, además de esto, deben expresar algún tipo de conocimiento efectivo y expresen conocer de la tecnología tal y como lo establece nuestra regla básica de derecho civil, aunque todavía no esté regulado como tal en leyes.

Es importante resaltar que el blockchain no sólo permite transacciones con activos financieros (divisas), sino también con cualquier activo que necesite su registro y validación, testamentos, escrituras públicas, documentos de identidad entre otros.

Dentro de los retos jurídicos tenemos:

1. Se debe de velar por la igualdad de condiciones y vigilar los posibles usos ilícitos de las criptomonedas, tanto es así que los usuarios que operen con dichas monedas y tenían historiales crediticios no acorde a los requerimientos exigidos, con el Derecho al Olvido, se podría borrar las informaciones que afecten la imagen de una determinada persona para que pueda realizar negocios.
2. Conocimiento más profundo de cómo funcionan estas tecnologías, entender qué es un algoritmo, para entender cómo un contrato inteligente se traduce de un lenguaje puramente legal a uno técnico de programación. Es decir, educación tecnológica.
3. El riesgo digital, es otro desafío que genera incertidumbre sobre todo en el consumidor del bien o servicio en el sentido de que, su información personal sea vulnerada, aunque actualmente pareciera que se trata de una plataforma segura.
4. La educación financiera, para que el consumidor sepa cuáles son sus derechos, deberes y los temas a los cuales se suscribieron y como plasmarlo a su realidad.

Finalmente, entendemos que se debe regular esta tecnología, ya que aporta al desarrollo y crecimiento de la sociedad y a los sectores económicos porque nos estamos enfrentando a la cuarta revolución industrial. Además de la regulación se debe de generar control y supervisión en pro de una estabilidad financiera.

3. CONCLUSIONES

Si se llegara implementar una herramienta como Blockchain en el mundo, no solamente financiero sino en otros campos se llegaría a ser eficiente en términos de Smart Contracts reduciendo los términos costo beneficio para los negocios internacionales. Pero la pregunta que surge en este campo es ¿Qué tan preparado están las instituciones para implementar un blockchain? ¿Hasta qué punto los abogados pierden su investidura en términos legales y los contratos? y existirá libertad de datos para esta implementación o se perderá como lo que sucede con el caso UBER.

El gran reto de regular las transacciones por este nuevo sistema “Blockchain” además del Bitcoin, es el conocimiento de la tecnología actualmente poco sofisticado para los actores principalmente el consumidor que carece del objeto de estudio.



REFERENCIAS



- Anonimo. (s.f). Academy by Bit2me. Recuperado el 01 de 06 de 2019, de <https://academy.bit2me.com/que-es-bitcoin/>
- Arango , C., Barrera, M., Bernal, J., & Boada, A. (2017). Banco de la República. Recuperado el 13 de 06 de 2019, de http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/documento-tecnico-criptomonedas.pdf
- Cannucciari, C., Levy, D. (Productores), & Cannucciari, C. (Dirección). (2017). Banking on Bitcoin [Película]. Estados Unidos: Netflix. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de <https://www.netflix.com/co/title/80154500>
- Dinero. (10 de 12 de 2017). Dinero. (P. Semana, Editor) Recuperado el 12 de 06 de 2019, de <https://www.dinero.com/edicion-impresala-grafica/articulo/la-valorizacion-de-las-criptomonedas-en-el-mundo-para-2017/251029>
- FMI. (Junio de 2018). Presente y futuro de la Revolución. (S. L. FMI, Ed.) FINANZAS & DESARROLLO, 2(55), 4-8. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de Anonimo. (s.f). Academy by Bit2me. Recuperado el 01 de 06 de 2019, de <https://academy.bit2me.com/que-es-bitcoin/>
- Arango , C., Barrera, M., Bernal, J., & Boada, A. (2017). Banco de la República. Recuperado el 13 de 06 de 2019, de http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/documento-tecnico-criptomonedas.pdf
- Cannucciari, C., Levy, D. (Productores), & Cannucciari, C. (Dirección). (2017). Banking on Bitcoin [Película]. Estados Unidos: Netflix. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de <https://www.netflix.com/co/title/80154500>
- Dinero. (10 de 12 de 2017). Dinero. (P. Semana, Editor) Recuperado el 12 de 06 de 2019, de <https://www.dinero.com/edicion-impresala-grafica/articulo/la-valorizacion-de-las-criptomonedas-en-el-mundo-para-2017/251029>
- FMI. (Junio de 2018). Presente y futuro de la Revolución. (S. L. FMI, Ed.) FINANZAS & DESARROLLO, 2(55), 4-8. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2018/06/pdf/muhleisen.pdf>
- Mitra, R. (2019). blockgeeks. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de <https://blockgeeks.com/guides/es/contratos-inteligentes/>
- Morrison, A. (22 de 03 de 2016). PwC . PriceWaterhouseCoopers. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de <http://usblogs.pwc.com/emerging-technology/how-smart-contracts-automate-digital-business/>
- Nikitin, P. I. (1997). Economía Política. (3. Editores, Ed., & L. R. Vladov, Trad.) Bogotá, Colombia. doi:958-8017-24-6
- Noah Harari, Y. (2018). 21 Lecciones para el siglo XXI (Vol. I). (J. R. Aragonés, Trad.) Barcelona, España: Penguin Random House, grupo editorial, S.A.U. doi:978-958-5446-42-7
- OCDE. (2018). OECD Digital Economy Outlook 2017. Organisation for Economic Co-operation and Development. México: Centro de la OCDE en México para América Latina. Recuperado el 01 de 06 de 2019, de <https://www.oecd.org/publications/perspectivas-de-la-ocde-sobre-la-economia-digital-2017-9789264302211-es.htm>
- Peditry. (s.f). <https://peditry.com/>. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de <https://peditry.com/article/4e5bf467238d9250ecf336248040a79189fe126543615e0c3e782b3bcd51b71f>
- Peña, D. (30 de 04 de 2018). Blog de Derechos de los Negocios,. Recuperado el 18 de 06 de 2019, de Universidad Externado: <https://dernegocios.uexternado.edu.co/prospectiva/de-los-contratos-web-a-los-contratos-inteligentes-perspectivas-y-prospectiva/>
- Portafolio. (16 de 03 de 2017). Blockchain, la tecnología que ayuda a combatir el fraude bancario. Blockchain, la tecnología que ayuda a combatir el fraude bancario. (Portafolio, Ed.) Bogotá, Colombia: El Tiempo. Recuperado el 15 de 06 de 2019, de <https://www.portafolio.co/tendencias/que-es-blockchain-y-como-se-aplica-en-la-banca-504193>
- Preukschat, Á. (2017). Blockchain: la revolución industrial de internet. (G. Planeta, Ed.) España. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de https://www.academia.edu/36701339/Blockchain_La_revoluci%C3%B3n_industrial_de_internet_-_Alexander_Preukschat
- Reginfo, E. (10 de 06 de 2019). Departamento de Propiedad Intelectual. (U. E. Colombia, Editor) Recuperado el 2019 de 06 de 18, de <https://propintel.uexternado.edu.co/que-es-un-contrato-inteligente/>
- Sala i Martin, X. (2016). Economis de Colores (1 ed.). (G. R. Brugurera, Trad.) Barcelona, España: Penguin Random House Grupo Editorial, S.A.U. doi:978-958-8821-31-3
- UNCTAD. (2019). Cuestiones de competencia en la economía digital. Junta de Comercio y Desarrollo Comisión de Comercio y Desarrollo Grupo Intergubernamental de Expertos en Derecho y Política de la Competencia, Ginebra. Recuperado el 01 de 06 de 2019, de https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ciclpd54_es.pdf



GOBIERNO DIGITAL Y FORMACIÓN DE PROFESIONALES

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

DIGITAL GOVERNANCE AND TRAINING OF PROFESSIONALS **JOHN HAROLD RUIZ PATIÑO¹, SERGIO ARLEY PUERTO MORENO**

Facultad de Ingeniería de Sistemas, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana - TEINCO, Colombia.
Email: harold.ruiz@teinco.edu.co

² Facultad de Ingeniería de Sistemas, Corporación Tecnológica Industrial Colombiana - TEINCO, Colombia.
Email: sergio.puerto@teinco.edu.co

RESUMEN

En el presente artículo se hace una reflexión sobre los retos que asumen las Instituciones de Educación Superior al promulgarse la Política de Gobierno Digital, que busca cerrar brechas existentes por años entre entidades oficiales a través del uso de las tecnologías de la información y la comunicación, y propender por la participación activa de los ciudadanos en la construcción de una sociedad del conocimiento a través de la efectiva gestión de la tecnología y de los recursos que desde lo “público” pueden ser incorporados en dichas transformaciones, y que de una u otra manera pueden extender su rango de acción a sectores privados que coadyuvan al cumplimiento del logro de los propósitos establecidos en la política.

Para iniciar se hace énfasis en la presentación de los factores que llevan a pasar de un Gobierno en Línea a un Gobierno Digital, soportados desde las posturas y miradas evaluativas de los entes internacionales que le apuestan a la promoción y al aprovechamiento de las tecnologías de la información y la comunicación, y a su incorporación en los procesos administrativos y gubernamentales de los entes territoriales.

Finalmente, se equiparán los retos asumidos por la política de Gobierno Digital con los propios de la formación de profesionales en Colombia, y en particular los que asumen las Instituciones de Educación Superior para entregar a la sociedad profesionales competentes y sensibles capaces de asumir, traspasar y transgredir las barreras de la política, a favor no sólo de lo personal sino también de lo colectivo y general.

PALABRAS CLAVE: Gobierno Digital, Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Competencia Digital

ABSTRACT

This article reflects on the challenges assumed by Higher Education Institutions by enacting the Digital Government Policy, which seeks to close existing gaps for years between official entities through the use of information and communication technologies, and tend for the active participation of citizens in the construction of a knowledge society through the effective management of technology and resources that from the “public” can be incorporated into such transformations, and that in one way or another they can extend their range of action to private sectors that contribute to the fulfillment of the achievement of the purposes established in the policy.

To start, emphasis is placed on the presentation of the factors that lead to moving from an Online Government to a Digital Government, supported from the positions and evaluative views of international entities that are committed to the promotion and use of the technologies of the information and communication, and its incorporation in the administrative and governmental processes of territorial entities.

Finally, the challenges assumed by the Digital Government policy are compared with those of the training of professionals in Colombia, and in particular those assumed by Higher Education Institutions to deliver competent and sensitive professionals capable of assuming, transferring and transgress the barriers of politics, in favor not only of the personal but also of the collective and general.

KEYWORDS: Digital Government, Information Technology and Communications, Digital Competition.

INTRODUCCIÓN

La cuarta revolución industrial, o también llamada Industria Conectada 4.0, puede definirse como el conjunto de tecnologías que permiten la digitalización de las empresas e industrias, y es la responsable de posicionarlas en la era digital. Cuando se habla de Industria 4.0 y de tecnologías, se hace referencia a la transformación digital de todos los procesos de producción en base a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, de tal manera que se aumente la productividad y competitividad de la empresa.

- Contribuir con la construcción de un Estado más abierto, eficiente, transparente y participativo, y que preste mejores servicios a los ciudadanos y a las empresas, garantizando al máximo el aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y la Comunicación.
- Fortalecer la identificación de usuarios, la caracterización de infraestructuras tecnológicas e incorporación de la política de seguridad de la información.

De un Gobierno en Línea a un Gobierno Digital

Para garantizar lo anterior y como parte de las acciones encomendadas por el Gobierno Nacional, en su momento la Estrategia Gobierno en Línea (Capítulo 1 del título 9, del libro 2, de la parte 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Decreto 1078 de 2015; derogado por el Decreto 1008 de 2018) centró sus esfuerzos en la implantación de las TIC en los procesos y procedimientos de las entidades Estatales, con el propósito de optimizarlos, automatizarlos y hacerlos más eficientes, para de esta manera mejorar los procesos adelantados por la gestión pública y la relación del Estado con los ciudadanos, y a futuro los servicios prestados por ellos; y es así, y siguiendo a Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -MINTIC (2018) como se propende por el aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, con el fin de contribuir con la construcción de un Estado abierto, más eficiente, más transparente y más participativo y que preste mejores servicios con la colaboración de toda la sociedad; con acciones concretas como:

Informe de la OCDE

En aras de responder a las necesidades y exigencias de la actual sociedad del conocimiento y la tecnología, la OCDE (2014) revisa la experiencia de la Estrategia de Gobierno en Línea para Colombia con el propósito de ayudar al gobierno en sus esfuerzos por realizar la transformación digital al pasar de un gobierno electrónico a un gobierno digital, de tal manera que se aprovechen todos los beneficios de las tecnologías digitales en el desarrollo de una administración moderna impulsada por el ciudadano y sus necesidades, y que sirva de soporte a una era de paz en Colombia (OCDE, 2018); y es así como esta revisión se estructura a lo largo de cuatro grandes ejes temáticos: Marcos de gobernanza, Transparencia, participación y colaboración, datos para un sector público impulsado por el usuario, e implementación coherentes de políticas, siendo las recomendaciones más significativas:

- Necesidad de definir una estrategia de gobierno digital que abarque todas las instancias estatales, considerando y priorizando las necesidades más importantes en el territorio nacional, y teniendo en cuenta su impacto al interior de las comunidades (beneficiarios) y los mismos beneficios a entregar; esto todo bajo la transparencia, participación y colaboración impulsada por el mismo ciudadano.
- Divulgar la estrategia de gobierno digital a toda la administración pública, de tal manera que se garantice su apropiación por parte de la ciudadanía, y en cuanto a servidores públicos, encaminar acciones que favorezcan la motivación y el compromiso para con el proceso de digitalización.
- Generar mecanismos con los que se pueda garantizar el apalancamiento de presupuesto para el cumplimiento de los objetivos previstos y propuestos en la estrategia.
- Definir y/o configurar de manera institucional responsables tanto de la formulación, implementación, seguimiento y evaluación de la estrategia en el territorio, entre entidades y a través del sector público.
- Generar mecanismos y medidas para promover el uso de la información y los recursos compartidos, eliminando políticas relacionadas con la gestión y propiedad de lo público.

De la Política de Gobierno Digital

Y como acogida a estas recomendaciones, el Gobierno Nacional expide el Decreto 1008 del 14 de junio de 2018, y con éste se establecen los lineamientos generales de la política de Gobierno Digital, y con la que se “promueve el uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones para consolidar un Estado y ciudadanos competitivos, proactivos, e innovadores, que generen valor público en un entorno de confianza digital” (MINTIC, 2018), asumiendo retos como:

- Empoderar al ciudadano y generar oportunidades para la promoción del desarrollo de productos y servicios, que favorezcan la gestión del conocimiento, la tecnología y la investigación.
- Favorecer la participación de diferentes actores (industria, la academia, los centros de investigación y la sociedad civil, entre otros), hagan parte de la política y aporten en el desarrollo de servicios de valor y la solución a problemáticas públicas, en donde las TIC son una herramienta que apoya este proceso.
- Generar espacios de participación para que los ciudadanos contribuyan al desarrollo y mejoramiento de sus servicios, y en donde éstos sean protagonistas activos en su diseño.
- Contar con ciudadanos y actores sociales que satisfagan sus necesidades a través de la apropiación de las TIC, y no se queden sólo con lo que el Estado les ofrece, sino que estén en la constante búsqueda de la generación de nuevas experiencias y conocimientos.

- Facilitar la participación del sector privado en la generación y construcción de conocimientos que satisfagan las necesidades de los ciudadanos, siempre que el Estado no cuente con todos los recursos y capacidades.
- Aprovechar el potencial de las tecnologías emergentes para gestionar la transformación del sector público y su entorno, para dar respuesta a las necesidades y problemáticas públicas.

Y para asumir estos retos, el campo de acción de la política de Gobierno Digital se resume en cinco grandes propósitos que motivan a impulsar su implementación (MINTIC, 2018):

1. Habilitar y mejorar la provisión de Servicios Digitales de confianza y calidad.
2. Lograr procesos internos seguros y eficientes a través del fortalecimiento de las capacidades de gestión de tecnologías de información.
3. Tomar decisiones basadas en datos a partir del aumento en el uso y aprovechamiento de la Información.
4. Empoderar a los ciudadanos a través de la consolidación de un Estado Abierto.
5. Impulsar el desarrollo de territorios y ciudades inteligentes para la solución de retos y problemáticas sociales a través del aprovechamiento de tecnologías de la información y las comunicaciones.

Y en este sentido, la academia, y en particular las Instituciones de Educación Superior (IES) están llamadas a hacer parte de estas transformaciones (que de una u otra manera definen contextos sociales, políticos y económicos al interior de las comunidades y del país en general), entregando a la sociedad profesionales sensibles, comprometidos y con un sentido de pertenencia hacia la generación de valor público en entornos digitales confiables a través del uso y aprovechamiento de las TIC's.

Gobierno Digital y la Formación de Profesionales

Magro et al (2104) plantea que aceptar la transformación digital es asumir que se ha cambiado para siempre la manera de cómo se comunican, informan, trabajan, se relacionan, aman o protestan los seres humanos; y es aquí en donde se debe hacer un alto en el camino para revisar si efectivamente las IES están asumiendo en toda la extensión de la palabra estos retos, y si se están formando profesionales competentes que continúen con esta labor.

Las IES propenden por la formación de seres humanos para el desarrollo de competencias y habilidades cognitivas, físicas, morales y culturales, entre otras (Ministerio de Educación Nacional – MEN, 2017), mientras que el Estado espera que quienes reciban educación superior y se gradúen de programas académicos pertenecientes a este nivel formativo, apliquen sus conocimientos en retribución al Estado, apoyando la ejecución de la función administrativa, convirtiéndose en servidores públicos o actuando como particulares que desarrollan funciones públicas (MEN, 2017, p.11),

La Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería – ASIBEI (2016, p. 15) plantea que los nuevos paradigmas, como la sociedad del conocimiento, la globalización, las redes, y la actual economía conforman un escenario particular que requiere de nuevas formas de intercambio y de comunicación. El mundo cambió y sigue cambiando, y la sociedad actual exige más a la Universidad; no sólo exige la formación profesional (el “saber”), sino también, la dotación de competencias profesionales a sus egresados (el “saber hacer”)

En este sentido, la política de Gobierno Digital no es un tema meramente tecnológico, es una cuestión de visión, estrategia, cultura organizativa y rediseño de procesos. Es una oportunidad para ser capaces de superar con éxito el reto de la gestión del talento en tiempos de redes, y de ahí la importancia de la formación de los profesionales y del papel protagonista que deben desempeñar en el impulso inicial, en el apoyo posterior y mantenimiento de las transformaciones que la política trae consigo (Magro et al, 2104).

Estos desafíos exigen el desarrollo de una nueva cultura que se soporta sobre un conjunto de nuevas competencias caracterizadas por el papel protagonista de lo digital, y es aquí en donde la academia debe propender por la formación de profesionales capaces de: desenvolverse profesional y personalmente en la economía digital, gestionar la información en contextos digitales, comprender el fenómeno digital e incorporarlo en la orientación estratégica de los proyectos empresariales, dirigir y coordinar equipos de trabajo distribuidos en red y en entornos digitales, y entender, comprender, saber interactuar y satisfacer las necesidades de la sociedad en contextos digitales. (Ver Imagen 1).



Imagen 1. Competencias Digitales. Magro et al (2104)

En síntesis, se requiere de profesionales que desde el manejo de las TIC's aseguren la generación de valor para las entidades y los usuarios, cuenten con la participación de todos los involucrados en el proceso, trabajen con los beneficiarios y piensen en todos los detalles de manera integral y, que garanticen buenos resultados y satisfacción de necesidades (MINTIC, 2018).

En este sentido, apuntar al logro de estas competencias supone pensar y repensar los procesos formativos de los profesionales al interior de las IES, e implica la revisión de sus bases epistemológicas, pedagógicas y didácticas, así como la visión antropológica del ciudadano y profesional que ingresa y egresa del proceso, y que de una u otra manera configuran su razón de ser y estar en la sociedad del conocimiento y la tecnología, y en un mundo globalizado y permeado por las Tecnologías de la Información y la Comunicación.



REFERENCIAS



- **ASIBAI (2016).** Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería Competencias y perfil del Ingeniero Iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación. Recuperado de <https://www.acofi.edu.co/noticias/competencias-y-perfil-del-ingeniero-iberoamericano-formacion-de-profesores-y-desarrollo-tecnologico-e-innovacion/> el 4 de agosto de 2019.
- **DAFP (2018).** Departamento Administrativo de la Función Pública Decreto 815. Recuperado de [http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO 20815 20 DEL 2008 20DE 20 MAYO 20 DE 20 2018.pdf](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%2020815%20DEL%202008%20DE%2020MAYO%20DE%20202018.pdf) el 28 de Julio de 2019.
- **Magro, C.; Salvatella, J.; Álvarez, M.; Herrero O.; Paredes A.; Vélez G. (2014).** Cultura digital y transformación de las organizaciones. Ocho competencias digitales para el éxito profesional. Recuperado de <https://rocasalvatella.com/blog-rs/8-competencias-digitales-para-el-exito-profesional/> el 5 de agosto de 2019
- **MEN (2017).** Ministerio de Educación Nacional – Cartilla, Comunidad Educativa. Guía de orientación a la comunidad educativa sobre los deberes y derechos que son inherentes al servicio público de la Educación Superior y la forma de ejercerlos. Colombia.
- **MINTIC (2018).** Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones – Decreto 1008. Recuperado de <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-74903.html> el 01 de agosto de 2019.
- **MINTIC–(2018).** Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones Manual de Gobierno Digital. Recuperado de <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-articulo-81473.html> el 28 de Julio de 2019.
- **OCDE (2014).** Revisión de Gobierno Digital de Colombia. Hacia un sector público impulsado por el ciudadano. Recuperado de <https://www.oecd.org/gov/revision-del-gobierno-digital-en-colombia-9789264292147-es.htm> el 28 de Julio de 2019.
- **OCDE (2018).** Políticas de Banda Ancha para América Latina y el Caribe. Un Manual para la Economía Digital. Recuperado de <https://www.oecd.org/internet/politicas-de-banda-ancha-para-america-latina-y-el-caribe-9789264259027-es.htm> el 29 de Julio de 2019.



ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO EDUCATIVO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE RESISTENCIAS ELECTRÓNICAS A TRAVÉS DE REALIDAD AUMENTADA

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

IMPLEMENTATION OF A VIRTUAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR TEACHING ELECTRONIC RESISTORS THROUGH AUGMENTED REALITY

**Ing. Fabio Andrés Galeano Nieto - Lic. Wilson Ferney Molano García
Tnlgo. Lina Margarita Serna Cortes.**

Corporación Tecnología Industrial Colombiana, Vicerrectoría Académica (Departamento Académico), Colombia, fabio_and61@hotmail.com

Corporación Tecnología Industrial Colombiana, Vicerrectoría Académica (Departamento Académico), Colombia, vicerrectoría.academica@teinco.edu.co

Corporación Tecnología Industrial Colombiana, Vicerrectoría Académica (Departamento Académico), Colombia, 1013669115@teinco.edu.co.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como enfoque el análisis como la Realidad Aumentada (RA) puede ser efectiva como sistema de apoyo en la educación, iniciando con una información acerca de que es la RA y como ha sido controlado en diversos procesos de enseñanza y educativo, siguiendo con el desarrollo de un software de RA que permite la visualización de resistencias electrónicas más utilizadas y sus características físicas, orientado hacia los estudiantes que no han tenido experiencia previa en el área de la electrónica, para que aprendan los tipos de resistencia así como el identificar las características y posibles usos de cada una, además de que nunca han tenido acercamientos con la RA, para luego tomar en cuenta sus opiniones acerca de cómo es la interacción con esta tecnología y si realmente les ayuda en algo utilizar la RA implementada en este tipo de procesos educativos o si por el contrario es completamente innecesaria.

PALABRAS CLAVE: Educación, Realidad Aumentada, Software, Enseñanza, Aprendizaje, Didáctica.

ABSTRACT

This research focused on the analysis of how Augmented Reality (AR) can be effective as a support system in education, starting with information about what RA is and how it has been controlled in various teaching and educational processes, continuing with the development of an AR software that allows the visualization of most used electronic resistors and their physical characteristics, oriented towards students who have not had previous experience in the area of electronics, so that they learn the types of resistance as well as identify the characteristics and possible uses of each one, in addition to that they have never had approaches with the RA, to then take into account their opinions about how the interaction with this technology is and if it really helps them to use the RA implemented in this type of educational processes or if on the contrary it is completely unnecessary.

KEYWORDS: Education, Augmented Reality, Software, Teaching, Learning, Didactic.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de formación educativas han cambiado bastante a lo largo de los años, así como las necesidades del mercado y del mundo en general, no se pueden comparar los métodos de enseñanza de hace 30, 40 o 50 años a los actuales, pues son épocas y necesidades diferentes además, no se contaba con las mismas herramientas y tecnologías que existen hoy en día, así como lo menciona Prensky “el sistema educativo actual está planteado como una pirámide, de arriba abajo, estando los profesores arriba y los estudiantes abajo. Ahora es preciso cambiar este método propio del siglo XIX por un modelo asociativo: alumnos y profesores tenemos que formar alianzas y escucharnos unos a otros” [14] pero sin importar la época o las necesidades mercantiles antiguas o recientes hay algo que nunca cambiará y es justamente la esencia del aprendizaje, pues es la finalidad de cualquier institución educativa es que sus estudiantes aprendan y sean competentes en el mundo laboral.

Las tecnologías actuales facilitan mucho los procesos de aprendizaje, tanto así que algo que antes se aprendía en meses hoy se puede aprender en días, pues el mundo está en la era de la información, con tantos recursos disponibles en internet y en computación permiten tales hazañas; tal como menciona la UNESCO “Los rápidos progresos de las tecnologías de la información y la comunicación modifican la forma de elaboración, adquisición y transmisión de conocimientos”. Ahora, una de esas tecnologías emergentes en el área de la educación es justamente la Realidad Aumentada, la cual a través de la versatilidad e interactividad que posee, permite ser una herramienta de apoyo en procesos educativos no solo en el área de las ingenierías, sino que en diversas y bastantes áreas del conocimiento humano. Las tecnologías auguran, en el campo educativo, la progresiva desaparición de las restricciones de espacio y de tiempo en la enseñanza y la adopción de un modelo de aprendizaje más centrado en el estudiante. Al mismo tiempo favorecen la comercialización y la globalización de la Educación Superior, así como un nuevo modelo de gestión de su organización.

Uno de los elementos más importantes en el área de la electrónica, la cual es una parte vital de la mecatrónica son justamente los elementos resistivos o resistencias, pues en base a la configuración y tipos de resistencias, se pueden crear circuitos que pueden ser utilizados en infinidad de operaciones a nivel de control, adquisición, sonido, imagen, entre otras aplicaciones; “Un resistor es un componente cuya función principal es la de oponerse al paso de la corriente eléctrica, o la de generar calor y es el componente que más se usa en la electrónica y la electrotecnia”, razón por la cual se requiere que los estudiantes adquieran conocimientos y actitudes competentes en este área de la electrónica, y la propuesta que se realiza es desarrollar un software que involucre la utilización de la Realidad Aumentada que sirva como herramienta de apoyo a los procesos de enseñanza en este área del conocimiento y genere una buena respuesta por parte de un grupo de prueba de la institución en los aspectos de: interés por el tema, captación de la atención, respuesta respecto a la RA (Realidad Aumentada). Este software realizado en la plataforma Unity 3D, apoyado por el SDK Vuforia, para su utilización e implementación en smartphones con SO Android, dando respuesta a la interrogante de si es factible o no la utilización de AR en la educación.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el impacto que tiene la utilización de RA en procesos educativos, en el caso específico de un software para aprendizaje de componentes resistivos en electrónica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Indagar como la realidad aumentada se ha utilizado como tecnología de apoyo en procesos educativos.
- Desarrollar un software educativo que permita la visualización de componentes resistivos en realidad aumentada.
- Implementar el software como herramienta de apoyo educativo que permita la visualización de diversos tipos de elementos resistivos de manera didáctica y versátil.

MÉTODOS

a. ¿funciona la Realidad Aumentada como herramienta de apoyo en la enseñanza?

Desde la creación del ser humano, la curiosidad y creatividad para resolver problemas y hacer la vida más fácil ha sido una motivación fuerte del mismo “Por esta razón, conocer la curiosidad en forma más precisa es un paso muy importante para su reconocimiento en las acciones cotidianas de los niños, así como para la posterior generación de mediaciones que, de forma continua, estimulen estas actitudes curiosas en ellos” [16].

Con los desarrollos tecnológicos que se aprecia hoy en día, no es de extrañar que existe un aspecto importante para el ser humano como lo es la educación, y se puede apreciar que las técnicas educativas no son las mismas, conforme transcurre el tiempo, desde explicaciones hasta aulas se modifican día a día para facilitar y despertar el interés de los estudiantes por sumergirse de lleno en el aprendizaje, “Los ambientes de aprendizaje tecnológico son eficaces, cómodos y motivantes, y pueden ser preocupantes para aquellos que no hayan incursionado como usuarios en ellas y/o que no las manejen con propiedad. En estos ambientes el aprendizaje es activo, responsable, constructivo, intencional, complejo, contextual, participativo, interactivo y reflexivo” (Kustcher y St. Pierre, 2001) [16], sin embargo, sigue existiendo el factor didáctico, el cual se basa en cómo hacer ameno un tema que puede o no tener cierto grado de dificultad para las apreciaciones del estudiante en concreto, pues cuando algo se hace complejo y tedioso se pierde rápidamente la motivación de este.

Para abordar estos problemas existe la didáctica, de la mano con las tecnologías emergentes para este caso la realidad aumentada (RA), pues la RA es una tecnología que permite sobreponer entornos u objetos virtuales en entornos físicos, lo cual ya supone un interés generado de innovación en el estudiante; La Realidad Aumentada establecerá un puente entre los conceptos teóricos y la realización física de los experimentos con los dispositivos reales. El sistema mediante una cámara captura la imagen del dispositivo real (por ejemplo, un circuito electrónico) y mostrará al alumno en la pantalla del ordenador el dispositivo real con información adicional [8].

Además, la versatilidad brinda permite desarrollar ambientes amenos e interesantes. La RA permite ser utilizada en dispositivos de bajo costo (a diferencia de su hermana la realidad virtual), pues la RA puede ser utilizada en cualquier elemento que soporte una cámara y una pantalla, como los dispositivos Smartphone de gama baja media y alta, hasta hardware más costosos como los Google glasses o Microsoft lenses.

“Partiendo de la premisa de que no es sencillo poner en marcha una estrategia educativa basada en el aprendizaje móvil, la Geografía es una disciplina en la que este modelo pedagógico tiene muchas posibilidades de desarrollo. En concreto, y de acuerdo con sus características, el uso de las aplicaciones basadas en geolocalización y, particularmente, las de realidad aumentada, puede facilitar los procesos de aprendizaje autónomo por parte de los alumnos” [4]. “La idea detrás del marco propuesto es proporcionar la capacidad de un usuario o estudiante de Realidad Virtual o Aumentada para construir fácilmente un sistema de automatización a través del IEC ya proporcionado 61499 con las herramientas (FORTE y 4DIAC) [17], además de proporcionarle la capacidad de parametrizar los parámetros de los FB para servir a sus necesidades”. La RA a lo largo de los años ha servido como herramienta de apoyo didáctico en diversas áreas del conocimiento humano como lo son: medicina, anatomía, diseño, ingenierías, publicidad, entre otras.

METODOLOGÍA

a. Herramienta pedagógica interactiva para la enseñanza de resistencias electrónicas.

Es importante tener en cuenta al evaluar el proceso de penetración de la RA en la educación que las tecnologías emergentes atraviesan, normalmente, cuatro etapas que deben ser superadas a fin de que la innovación sea aceptada por completo en cualquier institución (Rogers, 1995) [9], en la primera fase se analiza si realmente existe alguna ventaja significativa de lo que se desea mejorar, reemplazar o complementar, para la segunda fase, se debe tener una tangibilidad y visibilidad óptima de los resultados y consecuencias de su aplicación e implementación, en la tercera fase que los valores, hábitos y necesidades estén en resonancia con la novedad por parte de la RA, y para la cuarta y última fase se debe evaluar su facilidad de comprensión, aplicación y mantenimiento [9].

¿Pero qué es exactamente la RA? “¿Qué es la realidad aumentada? El objetivo básico de un sistema RA es mejorar la percepción del usuario y la interacción con el mundo real a través de complementar el mundo real con objetos virtuales en 3D que parecen coexistir en el mismo espacio que el mundo real. Muchos trabajos recientes amplían la definición de RA más allá de esta visión, pero en el espíritu original del estudio definimos que los sistemas AR comparten las siguientes propiedades: 1) Combina real y virtual, en un entorno real, 2) interactivo en tiempo real, 3) Registrado en 3D” [3]; Para la ejecución de la realidad aumentada se debe partir del nivel de implementación, existen 4 niveles de RA los cuales van desde el 0 hasta el 3; siendo el 0 la RA por hipervínculos, la cual como su mismo nombre lo dice maneja hipervínculos de enlace web, es la primera y más antigua interacción de la RA, en el nivel 1 se maneja la RA por marcadores, los cuales con unos objetivos que tienen la particularidad de que al ser visualizados por una cámara, esta reconoce los patrones que

tenga el objetivo (razón por la cual la mayoría del tiempo se utilizan códigos QR con este fin, aunque no es estrictamente necesario utilizarlos, son bastante confiables y útiles en estas aplicaciones), una vez reconocidos los patrones se muestra de forma virtual en la pantalla del dispositivo un modelo 3D bien sea estático o con animación incluida (lo cual que da a decisión del desarrollador y la necesidad del proyecto), también se puede manejar audio y video en estos modelos y en este nivel de RA; En el segundo nivel se llama RA por geolocalización, como su mismo nombre lo indica utiliza la geo posición dada por el dispositivo para mostrar modelos y animaciones en tiempo real, esta se caracteriza por no utilizar marcadores para mostrar los objetos, sino que según la posición y el enfoque de la cámara mostrara los objetos aumentados (se utiliza principalmente para publicidad y ubicaciones como mapas en 3D estilo Waze y locaciones famosas de la ciudad por dar un ejemplo). Por último, el nivel 3 es completo pues no solo muestra objetos, sino trata de involucrar los sentidos con la realidad aumentada, se puede confundir con realidad virtual (RV), pues su nivel de inmersión es similar, pero la diferencia es que la RV trata de sumergir en un nuevo mundo al usuario, mientras que la RA de nivel 3 trata de aumentar los sentidos respecto al entorno tanto físico como mental (un ejemplo de RA de nivel 3 muy avanzado es por ejemplo “EDITH” en la película de “Spiderman: lejos de casa”, donde los lentes funcionan a modo de dispositivo de visualización y complementa muy bien la realidad de Spiderman al proveerle de información extra que no tiene disponible de manera tan manipulable en el entorno físico), en ocasiones en este nivel se combinan los niveles anteriores para complementar aún más la experiencia.

Para efectos del software a desarrollar el nivel que se utilizara es el nivel 1, teniendo en cuenta el tipo de enseñanza y posibles recursos que los estudiantes puedan necesitar, la idea es apoyar didácticamente procesos de enseñanza aprendizaje sin generar costos adicionales para la población educativa, pues solo con sus smartphones pueden descargar el software sin ningún inconveniente, dado a que más del 50% de la población actual en Colombia posee al menos un smartphone [11], ya se cumple el requisito básico de la tenencia de un dispositivo de visualización apto para RA.

Se creó un software basado en RA con el propósito de implementarlo en un grupo que necesite aprender los conceptos básicos acerca del área de la electrónica llamada resistencia, puesto que son los elementos más utilizados en la electrónica [2], con la finalidad de saber que tan útil o si existe realmente un beneficio en el aprendizaje del alumno o si por el contrario es absolutamente innecesario la utilización de este tipo de tecnologías en procesos educativos, a continuación se explica de manera muy amena como fue el desarrollo e implementación del software.

Para empezar, se decide trabajar con la plataforma Unity 3D, ¿porque trabajar con unity 3D en vez de otras plataformas? Unity 3D actualmente es el motor o editor más utilizado en la industria de los videojuegos, pues posee una interfaz sumamente intuitiva y amigable con el usuario, además de eso su tipo de licencia para estudiante o desarrolladores independientes permite el desarrollo no solo de juegos sino de aplicativos móviles prácticamente sin costo alguno, en adición a esto, Unity 3D tiene una alianza con la segunda plataforma de desarrollo necesario en este software, la cual es Vuforia, la cual es un SDK muy versátil en cuanto a funcionalidad y desarrollo se refiere, ambas plataformas cuenta con un gran respaldo a nivel de documentación, razón por la cual realizar aplicativos de este tipo no suponen un gran esfuerzo para programadores incluso de nivel novato o inexperto.

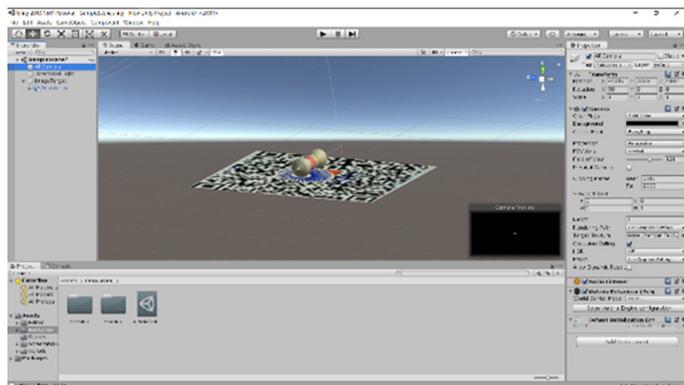


Ilustración 6. Galeano F,2019, realizando los ajuste de la APP del software en Unity 3D, autoría Propia.

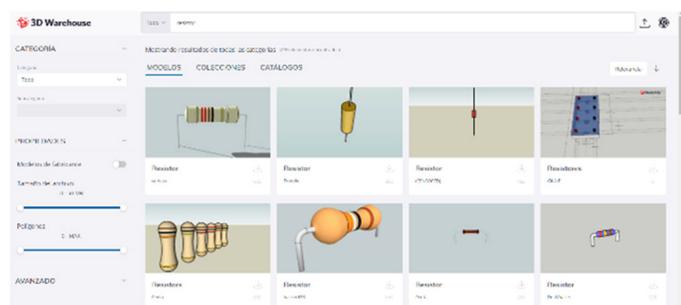


Ilustración 2. Galeano F,2019, Selección de modelo 3D en 3D Warehouse de SketchUp, autoría Propia.

En este orden el paso a seguir es la selección de los modelos 3D que se van a visualizar en el software terminado, para esto se utilizan modelos de la plataforma Sketchup Make, pues los modelos que los usuarios crean allí son gratuitos y de libre uso la mayoría de las veces, por lo cual no hay inconveniente de uso más adelante, una vez estén los modelos se procede a crear una aplicación móvil hecha para celulares o tabletas con sistema operativo Android, pues es el SO más comúnmente utilizado y para la comodidad de los estudiantes las aplicaciones móviles son las más adecuadas.

Una vez terminado el software se procede a crear un grupo de estudio en la Corporación Tecnológica Industrial Colombiana, compuesto por cinco estudiantes de 1er semestre que no hayan tenido contacto previo alguno con la RA, y se les plantea la propuesta de participar en este estudio, razón por la cual se procedió a que todos tuviesen la aplicación instalada en sus smartphones e interactuaran con la misma durante una semana, en la cual explorarían la aplicación y su contenido en este intervalo de tiempo, al llegar la fecha límite se procedió a realizar una evaluación diagnóstica acerca de los componentes resistivos y que tal les pareció la experiencia con realidad aumentada, se observó que su desempeño en la prueba fue sobresaliente, y la respuesta más común era referente a lo interactivo y entretenido que era el visualizar los modelos en 3D, a pesar de que los elementos resistivos no son realmente costosos y son sencillos de obtener, el verlos en un modelo 3D hace que sea más interactivo.

CONCLUSIONES

- La realidad aumentada es una tecnología que lleva desarrollándose por más de 2 décadas por diferentes instituciones, organizaciones, investigadores y aficionados a la materia, razón por la cual en el ámbito educativo no se queda para nada obsoleta ni inútil, por el contrario, en la educación lleva utilizándose una gran cantidad de tiempo y en cantidad de diversas áreas del conocimiento humano como automatización, TIC's, Geología, Medicina, Automovilismo, Aeronáutica, Didáctica infantil, supervisión de procesos industriales, en las áreas de simulación de procesos, lo cual concluye en que es una poderosa herramienta que puede y ha sido utilizada en procesos de didácticos con total seguridad y bajo coste.

- En cuanto al desarrollo del software, como se explicó con anterioridad, la complejidad de crear estos sistemas de RA es proporcional a la sensación de inmersión e interactividad que se desea, razón por la cual este software al ser solo de nivel 1 en la escala de RA, resultó ser una tarea sin demasiadas complicaciones, pues el resultado deseado era solo mostrar los modelos de los elementos resistivos en la electrónica, lo cual es una sensación inmersiva mínima y no requiere una gran cantidad de recurso ni monetario al ser las licencias de uso gratuito al ser utilizadas sin fin de lucro destinadas a la investigación, ni recurso de cómputo, puesto que virtualmente puede ser utilizado en celulares incluso de gama media baja, lo cual permite más alcance de público sin afectar el rendimiento del software.

- La implementación del software también resultó ser una operación sencilla, pues al tratarse únicamente de una aplicación para Android, bastaba con simplemente instalarla en sus dispositivos como cualquier otra aplicación, simplemente sabiendo la versión de sistema operativo del cada teléfono se podía construir la aplicación y transferir a cada teléfono a modo de archivo, una vez instalada ya se podía utilizar con normalidad.

- El impacto que tuvo la realidad aumentada en el grupo de estudio fue bastante positivo, pues sintieron mucho interés por el modo en el cual la aplicación mostraba los elementos resistivos, su principal enfoque fue la interactividad y la novedad que represento para los integrantes del grupo, no solo aprendieron de manera óptima, sino que el aprendizaje se hizo ligeramente más ameno en comparación a un libro; la utilización de RA contribuyó de manera positiva a mejorar el aprendizaje del grupo de estudio, como se estableció con anterioridad por diversos autores, la realidad aumentada o reemplaza la educación tradicional, no está diseñada para ello, sin embargo está hecha para servir de complemento en las clases, contribuyendo a un dinamismo que hace del aprendizaje algo más interactivo y ameno, no solo con este grupo sino en otras ramas del conocimiento humano.

RECOMENDACIONES

- La plataforma de Unity 3D esta originalmente diseñada para el desarrollo de videojuegos, razón por la cual se requiere de cierto nivel de experiencia en el lenguaje de programación orientado a objetos C# o Java, a pesar de que existe documentación de sobra en la página del mismo editor, facilita mucho las cosas tener fundamento de programación orientada a objetos.

- Ser cuidadoso en la sensación de interactividad que se dese tener con el usuario, pues según en grado de inmersión deseado existen distintas plataformas de desarrollo de realidad virtual además de vuforia, tales como: Google ARcore, ARToolKit, 8th Wall AR, entre varias otras, razón por la cual se recomienda conocer de antemano que nivel de realidad aumentada se va a utilizaren a creación de futuros software en base a RA.

- La realidad aumentada no es la solución definitiva, han generado resultados favorables a la hora de captar la atención del público pues sigue siendo algo que sorprende a la vista, y que puedan interactuar con estos elementos en tiempo real ayuda a la captación de los conceptos extractase por este tipo de tecnologías.

Con la instauración del software con el grupo de prueba en la institución también se observan resultados y una opinión favorable acerca de la utilización de esta tecnología en procesos de enseñanza, pues la percepción de la clase no es la misma con ilustraciones en tablero o diapositivas a tener un modelo 3d que provee información y manipulación de este en tiempo real genera una sensación de interés por el tema en cuestión.



REFERENCIAS

- Abásolo M. J. (2011). Introducción a RV y RA. Capítulo 1 y 3 del libro Realidad Virtual y realidad aumentada. Interfaces Avanzadas. Escuela de CACIC. 2011, UNLP. [1]
- Akçayır, M.& Akçayır, G. & Miraç P, H. & Akif O, M. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. Computers in Human Behavior. 57. 334-342. 10.1016/j.chb.2015.12.054. [7]
- Azuma, R.; Baillot, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S. and MacIntyre, B. (2001). "Recent Advances in Augmented Reality". IEEE Computer Graphics and Applications, pag 1. [3]
- Basogain, X. & Olabe, M. & Espinosa, K.& Rouèche, C. & Olabe, J. (2018). Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. [8]
- Basquez S, A. Realidad aumentada en la educación, Universidad Politécnica de Madrid, 2017. [9]
- Castro, S., & Guzmán, B., & Casado, D. (2007). Las Tic en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Laurus, 13 (23), 213-234. [15]
- Chrysoulas, Ch.& Homay, A.& Lemac, M. (2018). Teaching Industrial Automation Concepts with the use of Virtual/Augmented Reality-The IEC 61499 Case. [5]
- Fombona C, J. Pascual S, M. Ferreira A, M. Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación [en (Espinosa, 2014)línea] 2012, julio. ISSN 1133-8482. [10]
- Gutiérrez, A. & Hernández, J. & Penessi, M. & Sobrino, D. (2012). Tendencias emergentes en Educación con TIC. [13]
- Kirikkaya, E. Şentürk B, M. (2019) The effect of the use of augmented reality applications on the academic success and motivation of 7th grade students, Journal of Baltic Science Education, ISSN 2538-7138, Turkey. [17]
- Larrañaga O, A. Nolla de Celis, A. El modelo educativo tradicional frente a las nuevas estrategias de aprendizaje, Universidad Internacional de La Rioja, teoría y métodos educativos, Bilbao, 2014. [14]
- MITIC. (2016) Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicación, Tenencia de Smartphone aumentó 50% en Colombia en el 2016, <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-51641.html>, mayo de 2017[11]
- Molina de la Torre, I & Fernández, L. & Andrés López, A, G. (2015). Utilización de la realidad aumentada en el trabajo de campo geográfico: posibilidades y dificultades para su uso docente. 634-649. 10.14198/GeoAlicante2015.47. [4]
- Prendes E, C. (2014). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. Pixel-Bit, Revista de Medios y Educación. 187-203. 10.12795/pixelbit. 2015.i46.12. [12]
- Rela, A. Electricidad y electrónica. (2010) – dirigido por Juan Manuel Kirschenbaum. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2010. ISBN 978-950-00-0751-1 pág. 164-16[2]
- Román G, J. (2016) La curiosidad en el desarrollo cognitivo: análisis teórico, Universidad Pedagógica, Nacional, mayo 2016. [16]
- Sánchez B, J. (2017). El potencial de la realidad aumentada en la enseñanza de español como lengua extranjera. Revista de educación mediática y tic (Edmetic). 6. 62-80. 10.21071/edmetic. v6i1.5808. [9]
- Sirakaya, M. & Alsancak S, D. (2018). The Effect of Augmented Reality Use in Science Education on Attitude and Motivation. - Kastamonu Eğitim Dergisi. 1-10. 10.24106/kefedergi. 415705.[6]



RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES CON REDES CONVOLUCIONALES EN MATLAB

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

AN APPROACH TO THE PROCESSING OF IMAGES AND IMPLEMENTATION WITH SOFTWARE IN THE INDUSTRY

JOSEPH JHONAS VOGULYS MEDINA

DAVINCHI, INGENIERÍA MECATRÓNICA., Univ. Militar Nueva Granada. Email: u3900234@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Las técnicas de visión artificial han tenido un gran avance en el mundo gracias a la fiabilidad de su respuesta reconociendo patrones superando en algunos casos la visión humana. Estas técnicas se han utilizado de reconocimiento de números, personas, rostros, y hasta en la conducción autónoma. En este caso se pretende abordar la utilización de un método de aprendizaje profundo con el uso del software Matlab, el cual con un pequeño algoritmo y una base de datos relativamente pequeña de imágenes (algunas centenas), se logre entrenar una red neuronal convoluciones que en este caso particular serán dos categorías, semáforos en verde y en rojo, evidenciando una metodología sencilla la cual puede ser utilizada para el reconocimiento de casi cualquier imagen con una grado de asertividad de casi el 90%.

PALABRAS CLAVE: Redes neuronales Convolucionales, Aprendizaje Profundo, visión artificial.

ABSTRACT

Artificial vision techniques have made great progress in the world thanks to the reliability of their response recognizing patterns in some cases surpassing human vision. These techniques are used to recognize numbers, people, faces, and even in autonomous driving. In this case it is intended to address the use of a deep learning method with the use of Matlab software, which with a small algorithm and a relatively small database of images (a few hundred), will be able to train a neural network convolution that in This particular case will be two categories, traffic lights in green and red, evidencing a simple methodology which can be used for the recognition of almost any image with an assertiveness degree of almost 90%.

KEYWORDS: Convolutionary neural networks, Deep Learning, artificial vision.

INTRODUCCIÓN

Recientemente el Aprendizaje profundo (DL) (Bengio, Y. 2009), ha mostrado un gran Éxito en el aprendizaje supervisado en diversas áreas del procesamiento de imágenes, el procesamiento de la información con cámaras se ha estudiado en hogares (Esteva A 2019), se presenta el diseño de un sistema de detección de peatones usando redes neuronales convoluciones (CNN) enfocado en vehículos autónomos.

Aunque la AI, (Wei, W., He, S., Wang, D.,2018) (Inteligencia Artificial) tiene diversas ramas de trabajo el DL (Deep Learning o aprendizaje profundo) ha tenido mejores resultados frente al ML (Maching Learning) como se evidencia en la figura 1.

Why is Deep Learning so popular now?

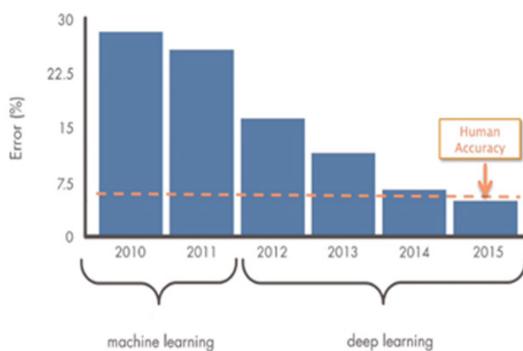


Figura 1: Error vs precisión del ML y el DL. Fuente: Mathworks

El ML utiliza algoritmos conocidos de clasificación como árboles de decisión, máquina de vector soporte, KNN vecino más próximo, regresión logística entre otros, utilizando etiquetas no obtuvieron el alcance que los algoritmos del aprendizaje profundo (Y. LeCun, 2015). En (Romanov, N., Johnson, C. E2015), se evidencia la efectividad del DL en campos de la salud y análisis microscópicos. Como conclusión se puede decir que el error cuadrático medio utilizado para comparar el accuracy o asertividad presenta mejores resultados el Deep Learning que el Maching Learning.

Recientemente, Aprendizaje profundo ha mostrado una gran Éxito en el aprendizaje supervisado en diversas

áreas como el reconocimiento de imágenes (J. Deng, W. Dong, R. Socher 2009), reconocimiento de voz Zeiler, (M. D., and Fergus, R. 2014), análisis de sentimiento, juegos y navegación de robot. En la práctica, el aprendizaje automático con imágenes como entradas se logra mediante Redes neuronales convolucionales (CNN), que se modelan imitando el procesamiento de la corteza visual de los mamíferos, (Fan, Q., Brown, L., & Smith, J 2016), entre ellas redes conocidas como AlexNet (S. J.Mankar 2017) y GoogLeNet, Los modelos CNN se han convertido una alternativa excepcional gracias a su desempeño en reconocimiento imagen.

Los primeros avances obtenidos en el reconocimiento de imágenes se dan en 2012 evaluando por barrido de píxeles con números escritos a mano (D. Silver, A. Huang 2016), gracias al concurso ImageNet el cual convoca académicos en el mundo para probar la asertividad y velocidad de identificación, obteniendo como ganador una red neuronal convoluciones usando 1000 categorías, es decir la red es capaz de reconocer mil objetos entre ellos animales, objetos, utensilios etc. Hoy consta de cientos de miles de imágenes completamente segmentadas con ImageNet, que consiste en Más de 15 millones de imágenes etiquetadas de alta resolución en más de 22,000 categorías que sirven para aprender sobre miles de objetos de millones de imágenes, y gracias a ellas no necesitaremos sino algunas centenas para entrenas nuestra categoría de imágenes.

La detección de objetos ayuda en la estimación de posturas, detección de vehículos, vigilancia, etc.

METODOLOGÍA

Entender las Redes convoluciones

En Deep Learning el proceso difiere a los que conocemos como una red neuronal multicapa convencional como las famosas Adaline utilizando una gran serie de conexiones. Una red neuronal se conforma por pesos sinápticos, neuronas y capas que se conforman por variables de entrada, capas ocultas y de salida.

Dentro de cada neurona podemos decir que es una regresión lineal donde los pesos le dan la inclinación a la pendiente y el bias la traslación de esta, y se parametriza según la función de activación sea escalón, rampa, o sigmoide y posteriormente se busca el mínimo global por medio del famoso gradiente descendiente que no es más que un cálculo de derivadas parciales sin embargo se utiliza el conocido Back Propagación para reducir el consumo de máquina. En el cálculo del backpropagation se utiliza lo que conocemos como Error cuadrático medio, la función de activación, el bias.

En las redes convolucionales difiere el ehcho de que se trabaja por píxeles pasando de ser redes neuronales a Redes Convolucionales CNN [25] que emplean múltiples capas convolucionales, capas de normalización, pooling, redes neuronales totalmente conectadas y capas de clasificación.

En la figura 2.1 extraída de Mathwork se muestra la arquitectura de una CNN analizando una sección de la imagen de un coche, siendo esta una entrada, luego realiza una convolucion Relu, Pooling reiterativamente hasta llegar en forma de matrices para un análisis multidimensional a una capa fully conected donde se analiza los patrones y se clasifican junto al Softmax.

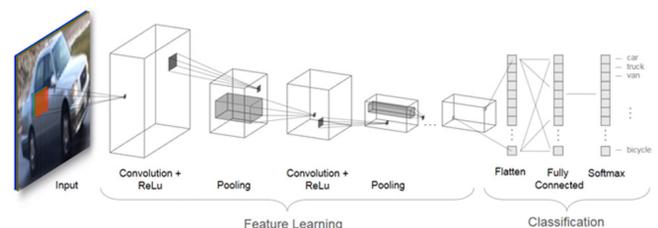


Figura 20-2: Arquitectura de una CNN. Fuente: Mathworks

En la convolución y en las capas ocultas de la red, se presentan los hiperparámetros, que se entienden como aquellos parámetros que ayudan a controlar el comportamiento del algoritmo de aprendizaje profundo y están especificados por el desarrollador. En la figura 2.2, se muestran los hiperparámetros que normalmente se encuentran en una capa oculta de una CNN, donde H es la altura y el ancho W de la imagen, F el tamaño o dimensión del filtro donde puede ser diferente tanto para el ancho como para la altura, S es el Paso o stride, P el relleno o padding Y D depth o la profundidad.

Convolution Layer – Choosing Hyperparameters

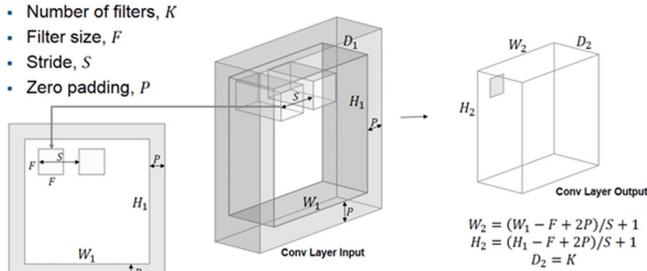


Figura 20-2: Hiperparámetros de la operación de las capas de la CNN.
Fuente: Mathworks

Dimensiones del filtro (F):

La dimensión del filtro o Kernel está representada por F, esto indica el tamaño de la disposición con la que se realizará la operación en cada capa oculta. Su forma puede ser rectangular o cuadrada y su tamaño puede variar en cada capa de la red dependiendo de las dimensiones características que desee resaltar. Además, puede definir la cantidad de filtros diferentes que desea aplicar a una imagen para obtener una mayor cantidad de funciones.

Stride:

Representa el salto en píxeles tanto en H como en W del filtro que se aplica, siendo este valor uno de los más representativos para reducir el volumen de salida de la matriz o imagen de entrada. La elección correcta de este valor puede permitir que las capas de Agrupación o Pooling reduzcan la imagen mientras mantienen las características principales de la entrada original, el valor de este parámetro debe ser menor o igual al tamaño del filtro para evitar pérdidas en el aprendizaje de las características.

Padding:

Hay casos en que algunas de las características que desea aprender la red están en los bordes de la imagen de entrada, cuando el filtro se aplica en una operación de convolución, no tiende a aprender las características del borde de la imagen. Para resolver este problema, se define una dimensión de relleno, es decir, se agregan filas y columnas en los bordes de la imagen para que el filtro aplicado pueda moverse más allá de la altura y el ancho de la imagen.

Profundidad:

Son los canales de la disposición de entrada, una imagen en grises tiene un canal, un RGB tiene tres canales, mientras que un RGB-D tiene 4 canales. Según sean los hiperparámetros seleccionados, el volumen de salida de cada capa cambia, esta salida es definida por la ecuación 1 y 2, presentadas en [25].

$$W = \frac{(W - F_w + 2P)}{S} + 1$$

$$H = \frac{(H - F_H + 2P)}{S} + 1$$

Cada una de las capas de la CNN, tiene una tarea específica que causan que al diseñar una arquitectura realizando una combinación de esta, la red sea capaz de aprender las características que causaran que pueda clasificar las imágenes en las categorías correctas.

Convulación:

Las capas de las CNN combinan parámetros que permiten el aprendizaje de patrones para categorizarlas correctamente

$$s(t) = \int x(a)w(t - a)da \tag{3}$$

Esta se da al multiplicar dos funciones una se encarga de desplazar mientras que la Convolución es una sumatoria entre el filtro y el arreglo siendo I las entradas en píxeles y K el filtro.

$$S(i, j) = \sum_m \sum_n I(m, n)K(i - m, j - n) \tag{4}$$

Los filtros extraen patrones para que la red aprenda como se verá a continuación bidimensionalmente figura 2.3

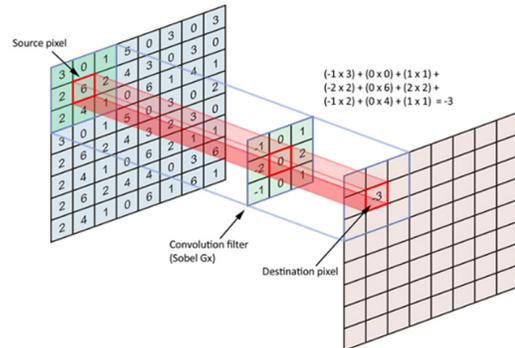


Figura 2-3: Operación de Convulación.

Rectified Linear Unit (ReLU):

Unidad de rectificación lineal o RELU, no es más que una función de activación que solo obtiene los números positivos después de la convoluciones Romanov, (N., Johnson, C. E 2016). En la figura 2.4 se puede observar el rango de operación de la una RELU.

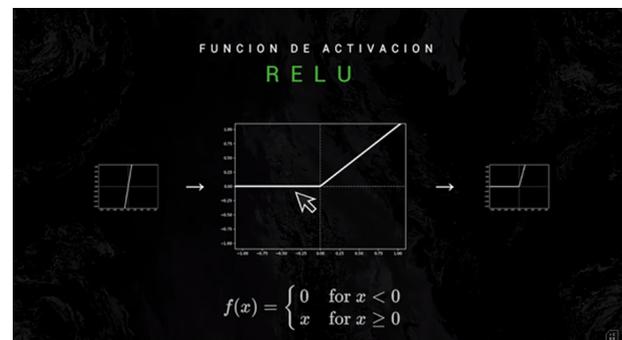


Figure 20-4: Rectified Linear Unit (ReLU). (N.,Johnson, C. E 2016)

Pooling:

Agrupar caracteres es importante para reducir información dependiendo si es maxpooling o average pooling, se toma un numero de cada arreglo de pixeles pasando una imagen a ser por ejemplo 4 veces más pequeña ver figura 2-5.

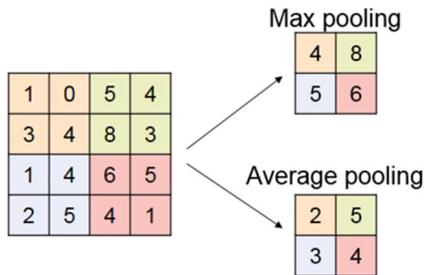


Figura 20-5: Dropout en una red neuronal

Normalización:

En la normalización se utilizan dos técnicas conocidas como la Batch y la Group Normalization siendo C las filas y N las columnas y así evitar confundir la red Batch Normalization y el Group Normalization Ioffe, S., and Szegedy, C. (2015).

Las redes neuronales convolucionales trabajan modelando de forma consecutiva pequeñas piezas de información, y luego combinando esta información en las capas más profundas de la red. Una manera de entenderlas es que la primera capa intentará detectar los bordes y establecer patrones de detección de bordes. Luego, las capas posteriores tratarán de combinarlos en formas más simples y, finalmente, en patrones de las diferentes posiciones de los objetos, iluminación, escalas, etc. Las capas finales intentarán hacer coincidir una imagen de entrada con todos los patrones y arribar a una predicción final como una suma ponderada de todos ellos. De esta forma las redes neuronales convolucionales son capaces de modelar complejas variaciones y comportamientos dando predicciones bastantes precisas.

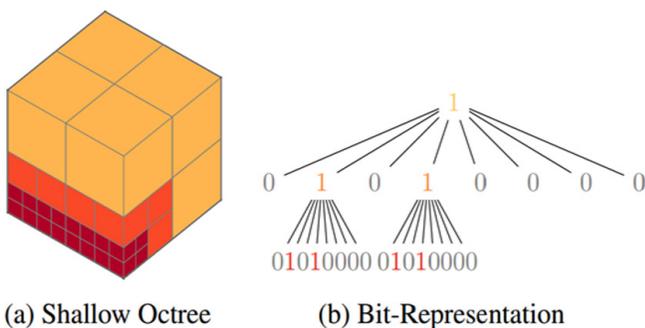


Figure 20-6: Batch Normalization y Group Normalization

Fully Connected:

La etapa fully conectada es la red neuronal multicapa convencional y esta al final de la arquitectura ya que toma las características más importantes.

Dropout:

En el aprendizaje puede ocurrir un over fitting o sobre ajuste el cual genera problemas cuando se entrena una red ya que aprende tanto unos parámetros que cuando se pone a prueba es incapaz de reconocerlo ya que prácticamente ha memorizado las entradas de entrenamiento, por eso el dropout sirve desconectando aleatoriamente neuronas disminuyendo el sobre ajuste para que reconozca ahora si entradas similares sin problema (Bengio, Y.2017), en la figura 2-7 se puede observar la arquitectura de una red neuronal multicapa.

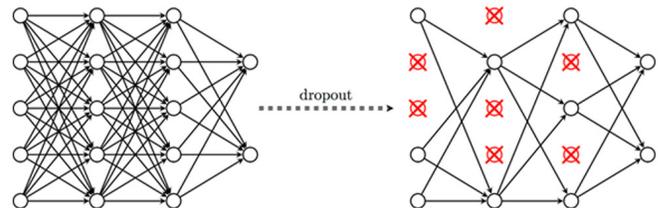


Figura 20-7: Dropout en una red neuronal (Bengio, Y.2017)

Softmax:

El softmax es aquel que da un valor de 0 a 100% en semejanza de las imágenes aprendidas. Por ejemplo, al probar con la imagen de un gato, seguramente obtendría un 90% de probabilidad de ser gato, sin embargo, también podría pensar que es en un porcentaje parecido a algún felino e incluso a algún otro animal similar, obviamente la probabilidad será cada vez menor. (M. Y. Day and Y. D. Lin, 2017).

2.2 Proceso de entrenamiento de la red

2.2.1 Recolectar y etiquetar imágenes extraídas en las calles de Bogotá, para el entrenamiento de la red convolucional.

En esta etapa se pretende recolectar imágenes de semáforos con fotografías y de internet.

Subtareas:

1. Se deberán guardar en formato [227 x 227] Pixeles para poder ser leída por AlexNet y [224 x 224] pixeles para ser leída por GoogleNet.
2. Usar bases de datos con imágenes cuadradas que no deformen sus características y guardarla en una carpeta llamada "SEMAFOROS". Dentro de esta en una carpeta con el nombre de "VERDES" (aquí se agregan al menos 80 imágenes de semáforo verdes) y otra carpeta con el nombre de "ROJOS" (aquí se agregan al menos 80 imágenes de semáforos en rojo)

2.2.2 Entrenar las redes neuronales convoluciones.

Aquí se pone a correr el código para entrenar la red neuronal.

Subtareas:

1. Se deberá agregar un código en el script de Matlab Se debe ejecutar con la ruta donde se observe la carpeta "SEMAFOROS".
2. El código le solicitará al usuario descargar la red convolucional AlexNet o GoogNet de Matlab para poder ser ejecutada correctamente.

2.2.3 Probar el correcto funcionamiento del código.

En esta etapa se pretende encontrar un modelo óptimo para entrenar comparándolo con la matriz de confusión y el error vs el accuracy.

Subtareas:

- Se Deberá evidenciar que el Accuracy sea mayor al 85% Se probará con video su efectividad.
- Crear código para ver que funciona en video

Código a utilizado

```

%Se importa la CNN de alexnet, se carga la base de datos, 'semaforos';
%es donde se ubica la base de datos; includesub es tener en cuenta las
%carpetas, los label son las etiquetas, foldernames, readfcn bautiza como funcion,
%semread

lemon_ds = imageDatastore('semaforos','IncludeSubfolders',true,...
    'LabelSource','foldernames',...
    'ReadFcn',@semread);

%lemon, 0,9 es la cantidad de imagen a entrenar, es decir el 0.1 para probar
%aleatoriamente, randomized
%numclases, numerar cantidad
[trainings,testimgs] = splitEachLabel(lemon_ds,0.9,'randomized');
numClasses = numel(categories(lemon_ds.Labels));
net = alexnet; %carga alexnet
layers = net.Layers; %se extraen 25
%entrena el numclases es decir no 1000,sino 2 categorias, que es la capa 23
layers(end-2) = fullyConnectedLayer(numClasses);

layers(end) = classificationLayer; %cambia de mil etiquetas a 2.
miniBatchSize = 1; % La dimension de imagenes.

% Al aumentar las epocas mejora el aprendizaje
maxEpochs = 10;
%factor de aprendizaje, debe ser pequeno para hacer pasos mas pequenos. o lane rate
lr = 0.00001;
%gradiente descendiente con momento w1+alfa*De/Dw+momento*dw(k-1)
%el momento mira la inclinacion buscando la caída segun el factor de aprendizaje
opts = trainingOptions('sgdm', ...
    'InitialLearnRate', lr, ...
    'LearnRateSchedule','none', ...
    'MaxEpochs', maxEpochs, ... %
    'MiniBatchSize', miniBatchSize, ...
    'VerboseFrequency',1); %visualizacion del entrenamiento de los batch

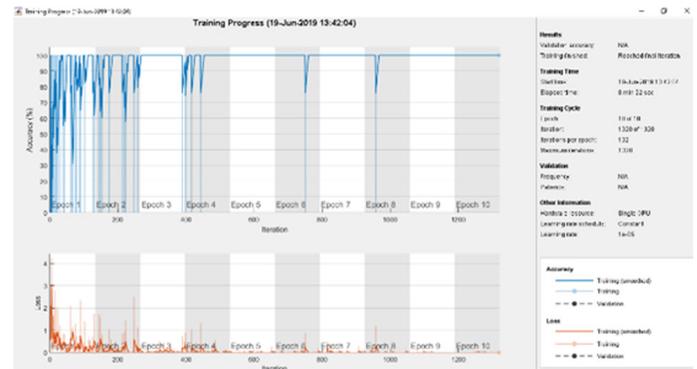
%trainings-augmentedImageSource([227 227],trainimgs)
%En la variable info podremos observar el TraininLoss y TrainingAccuracy:

[lemonnet,info] = trainNetwork(trainimgs, layers, opts);

%Si deseamos podemos plotear estos datos:
plot(info.TrainingLoss)
lemPreds=classify(lemonnet,testimgs) %veo el test vs el 90% entrenado
lemActual=testimgs.Labels %
numCorrect=nnz(lemPreds==lemActual)
fracCorrect=numCorrect/numel(lemActual) %precision de la red
[lemconf,lemnames]=confusionmat(testimgs.Labels,lemPreds)
heatmap(lemnames,lemnames,lemconf)

function img = semread(file)
    img = imread(file); %importa la imagen
    img = imresize(img,[227 227]); %Redimensiona a 227 pixeles
end
    
```

Se obtiene un gráfico donde se evalúa el error vs las iteraciones



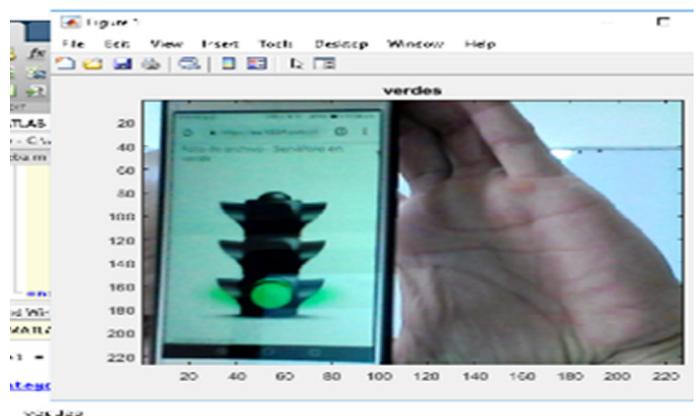
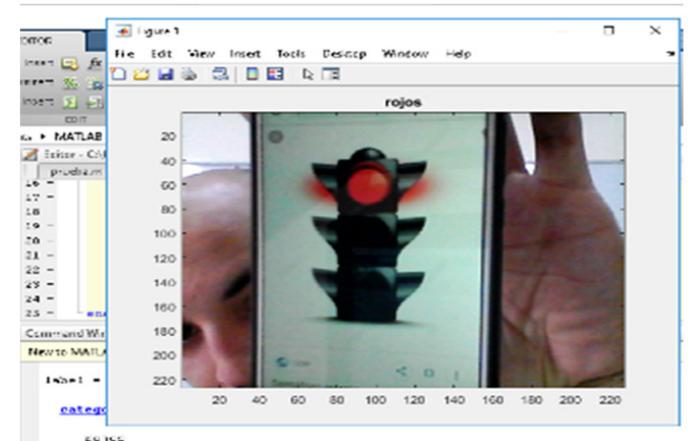
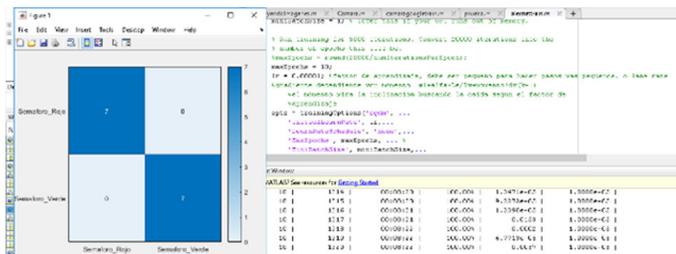
Aquí se evidencia que el Accuracy (%) desde las 3ra época se empieza a estabilizar en casi 100% para desde la 8 a la 10ma época está prácticamente entrenada.

El tiempo de entrenamiento fue de 8 minutos 22 segundos, hubo 1320 iteraciones.

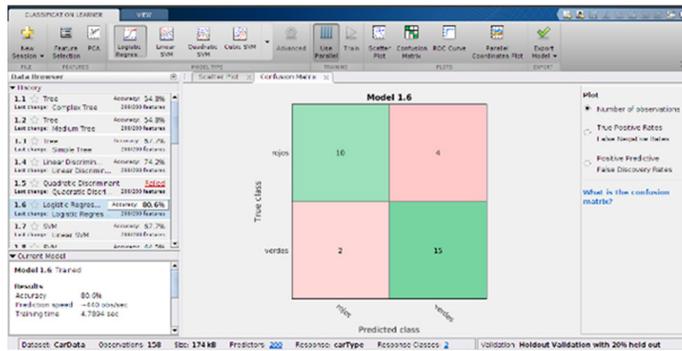
El error o loss disminuye a cero con pocas oscilaciones a partir de la 500 iteración aproximadamente.

3. Resultados

Se evidencia gracias a la matriz de confusión que el 10% de las imágenes testeadas fueron reconocidas perfectamente es decir 7 rojas y 7 verdes.



Se evidencia que el semáforo verde se reconoce con un 90.17% y el rojo con un 88.58%
 Luego se comparó con el app de classification learner de Matlab y se obtiene la siguiente matriz de confusión, con regresión logística en un 80% de confiabilidad



A lo que se evidencia que la técnica de Deep learning con redes convolucionales es más eficiente con un accuracy que tiende al 100%

CONCLUSIONES

Se evidencia que el Deep learning refleja mejores resultados que las técnicas clásicas de machine learning.

Se observa también que con pocas líneas de código se pueden obtener muy buenos resultados gracias a los avances en las redes convolucionales, apalancándose con redes creadas como AlexNet, GoogleNet, ResNet 18 entre otros, muy buenos resultados utilizando un número pequeño de imágenes y se pueden comparar gracias a la matriz de confusión y el gráfico de Loss vs iteraciones que Matlab provee.

En conclusión, gracias a Matlab se pueden lograr técnicas similares a las obtenidas con el uso de Tensor Flow o Keras, pero este facilita el trabajo gracias a su lenguaje de alto nivel.

Tabla 1 Abreviaciones Sugeridas para la Lista de Referencias

Relación de abreviaciones Permitidas	
Palabra	Forma Abreviada
AI = Inteligencia Artificial, (Artificial Intelligence).	AI
Redes Neuronales Convolucionales	CNN

Relación de abreviaciones Permitidas	
Palabra	Forma Abreviada
Aprendizaje Profundo (Deep Learning)	DL
Aprendizaje de Máquina (Machine Learning)	ML



REFERENCIAS

- A. Esteva, B. Kuprel, R. A. Novoa, J. Ko, S. M. Swetter, H. M. Blau, and S. Thrun, (2017) “Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks,” *Nature*, vol. 542, no. 7639, pp. 115–118,
- A. Krizhevsky, I. Sutskever, & G. E. Hinton, (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012)*. pp. 1106– 1114.
- Bengio, Y. (2009). Learning deep architectures for AI. *Foundations and trends® in Machine Learning*, 2(1), 1-127.
- Bengio, Y., Ducharme, R., Vincent, P., and Jauvin, C. (2003). A neural probabilistic language model. *Journal of machine learning research*, 3, pp. 1137-1155.
- C. Spille, S.D. Ewert, B. Kollmeier, B. Meyer, (2018) Predicting speech intelligibility with deep neural networks, *Computer Speech & Language* 4851-66.
- C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, & A. Rabinovich. (2015). Going deeper with convolutions. 2015 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Boston, MA, 2015, pp. 19.

- D. Silver, A. Huang, C. Maddison, A. Guez, L. Sifre et al., (2016) “Mastering the game of go with deep neural networks and tree search,” *Nature*, vol.529, no. 7587, pp. 484–489, 2016.

- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115. with deep neural networks,” *Nature*, vol. 542, no. 7639, pp. 115–118, 2017.

- Fan, Q., Brown, L., & Smith, J. (2016) June. A closer look at Faster R-CNN for vehicle detection. In 2016 IEEE intelligent vehicles symposium (IV) (pp. 124-129). IEEE.

- G. E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky, I. Sutskever, & R. R. Salakhutdinov, (2012). Improving neural networks by preventing coadaptation

- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., and Bengio, Y. (2016). *Deep learning (Vol. 1)*. Cambridge: MIT press.

- Ioffe, S., and Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *arXiv preprint arXiv:1502.03167*.

- J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei. (2009) *ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database*. In *CVPR09, 2009*.

- K. M. I. Khalilullah, S. Ota, T. Yasuda and M. Jindai, (2017) “Development of robot navigation method based on single camera vision using deep learning,” 2017 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Kanazawa, Japan, 2017, pp. 939-942, doi: 10.23919/SICE.2017.8105675

- Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G.E., (2012). *Imagenet classification with deep convolutional neural networks*. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1097-1105).

- LeCun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G. (2015). *Deep learning*. *nature*, 521(7553), p. 436.

- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J.S., Henderson, D., Howard, R.E., Hubbard, W. and Jackel, L.D., (1989). *Backpropagation applied to handwritten zip code recognition*. *Neural computation*, 1(4), pp.541-551.

- M. Y. Day and Y. D. Lin, (2017) “Deep Learning for Sentiment Analysis on Google Play Consumer Review,” 2017 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), San Diego, CA, USA, 2017, pp. 382-388, doi: 10.1109/IRI.2017.

- Romanov, N., Johnson, C. E., Case, J. P., Goel, D., Gutmann, S., & Dooley, M. (2015). U.S. Patent No. 8,961,695. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. Malaysia; Pearson Education Limited, Schmidhuber, J. (2015). *Deep learning in neural networks: An overview*. *Neural networks*, 61, 85-117.

- S. J.Mankar, et.al, (2016) “Design of computer vision intelligent system for lane detection,” in *Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, Coimbatore, India, 2016.

- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), pp. 1929-1958.

- Wei, W., He, S., Wang, D., & Yeboah, Y. (2018, June). Multi-Objective Deep CNN for Outdoor Auto-Navigation. In *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Deep Learning Technologies* (pp. 81-85). ACM.

- Wu, Y., and He, K. (2018). Group normalization. *arXiv preprint arXiv:1803.08494*.

- X. Zhang et al., (2017) “Classification of Mammographic masses by deep learning,” 2017 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Kanazawa, Japan, 2017, pp. 793-796, doi: 10.23919/SICE.2017.8105545205

- Yang, S., Wang, J., Wang, G., Hu, X., Zhou, M. and Liao, Q., (2017), December. Robust RGB-D SLAM in dynamic environment using faster R-CNN. In *Computer and Communications (ICCC), 2017 3rd IEEE International Conference on* (pp. 2398-2402). IEEE.

- Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton. (2015) “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015. of feature detectors. (<https://arxiv.org/pdf/1207.0580.pdf> accessed on Aug. 20, 2017).

- Y. Jia, E. Shelhamer, J. Donahue, et al., (2014) “Caffe: convolutional architecture for fast feature embedding,” *arXiv preprint arXiv:1408.5093*, 2014.

- Zeiler, M. D., and Fergus, R. (2014, September). Visualizing and understanding convolutional networks. In *European conference on computer vision* (pp. 818-833). Springer, Cham.



ESTUDIO COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH USANDO SACCHAROMYCES

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

CEREVISIAE, ENTRE (MANGIFERA INDICA), (VITIS VINIFERA) Y BIOMASA HIDROLIZADA DE LA EICHHORNIA CRASSIPES.

COMPARATIVE STUDY OF BIOETHANOL PRODUCTION THROUGH BATCH FERMENTATION USING SACCHAROMYCES CEREVISIAE, BETWEEN (MANGIFERA INDICA), (VITIS VINIFERA) AND HYDROLIZED BIOMASS OF EICHHORNIA CRASSIPES

ADOLFO LEÓN AGATÓN, JENNIFER YULIET BALCAZAR ALARCÓN

RESUMEN

Este artículo de investigación plantea un análisis comparativo entre tres alternativas para la producción de Bioetanol mediante un sistema diseñado para la fermentación alcohólica en Batch con la levadura de cerveza (*Saccharomyces Cerevisiae*) frente a la uva común (*Vitis vinifera*) (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018), la cáscara de mango (*mangifera indica*) (Marín Carvajal, 2018) y la biomasa hidrolizada de la planta Lirio Acuático o buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*) (Jimenez Fonseca, 2018); a su vez estas fueron sometidas a distintos procesos en los laboratorios de la facultad de ingeniería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, donde se utilizaron diferentes equipos y herramientas para el control de la aireación, pH, temperatura, cantidad de glucosa y la concentración de producto. Luego del análisis estructural se identificó cuál de los tres es más efectivo en la obtención del Bioetanol teniendo en cuenta como preámbulo los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas.

PALABRAS CLAVE: *Saccharomyce Cerevisiae*, *Vitis vinifera* uva común, *mangifera indica* (la cáscara de mango), *Eichhornia Crassipes* (buchón de agua), sistema de fermentación.

ABSTRACT

This research article proposes a comparative analysis between three alternatives for the production of bioethanol by means of a system designed for the alcoholic fermentation in Batch with brewer yeast *Saccharomyces Cerevisiae* versus common grape (*Vitis vinifera*) (*Eichhornia Crassipes*) (Jimenez Fonseca, 2018); in turn these were subjected to different processes in the laboratories of the engineering faculty of the Fundación Universitaria Los Libertadores, where different equipment and tools were used to control aeration, pH, temperature, glucose quantity and product concentration. After the structural analysis it was identified which of the three is more effective.

KEYWORDS: *Saccharomyce Cerevisiae*, *Vitis common grape vine*, *mangifera indica* (mango peel) *Eichhornia Crassipes* (water buchón), fermentation system.

Profesor de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores (FULL), Bogotá D.C., Colombia, aleona@libertadores.edu.co

Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores (FULL), Bogotá D.C., Colombia, jybalcazara@libertadores.edu.co.

1. INTRODUCCIÓN

Con el propósito de contribuir en la preservación y el cuidado del medio ambiente se han buscado alternativas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y como consecuencia de dicha necesidad se han transformado productos agrícolas o materiales orgánicos convirtiéndolos en Biocombustible; del cual sobresale “el etanol” como el más eficaz para disminuir el nivel de contaminación por emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en la materia orgánica de las plantas, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa (Orozco & Martínez, 2018). Se considera que el etanol es un combustible de alto desempeño en los motores de combustión interna, esto se debe a su oxigenación en la gasolina que mejora el octanaje en ellas brindándole mayor rendimiento, la gasolina con el etanol (Gasohol oalconafta) y el etanol puro en los motores a diferencia de la gasolina pura logra producir menos monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos y otros compuestos contaminantes (Trumper & Cabanillas, s.f.).

Como referencia inicial se le acredita a Henry Ford su esfuerzo por tratar de adaptar el etanol como combustible en el diseño de su primer auto modelo T en 1908. Años más tarde con la crisis del petróleo se estableció una mezcla de gasolina y etanol (Gasohol oalconafta), la cual demostró que el biocombustible era otra alternativa como fuente de energía renovable al alza del petróleo y así mismo al agotamiento de los recursos no renovables. Brasil fue uno de los países más afectados con el petróleo en 1975, por eso desarrolló el proyecto proalcohol, cuya finalidad era la sustitución total de los combustibles de origen fósil por medio del etanol proveniente de la caña de azúcar (CGEE, 2008). Actualmente Brasil es uno de los países que más produce bioetanol.

Debido a los grandes beneficios que conlleva la utilización del etanol en los campos económico, social, ambiental y político otros países han implementado esta alternativa proveniente de diferentes materias primas, como Estados Unidos que lo produce a partir del maíz; Rusia, centro y norte de Europa, de la remolacha y en Colombia de la caña de azúcar y la yuca (Anaya Ortega & Jimenez Galván, 2014). Es importante aclarar que existen otras alternativas fuera de las anteriores para la obtención de bioetanol, el cual se evidencian en este artículo.

Con la finalidad de conservar la producción de bioetanol a futuro es necesario ampliar las opciones de materias primas y al mismo tiempo aprovechar al máximo los residuos fermentables. Por tal motivo, en este artículo se expone a continuación tres posibilidades que ayudarán a la obtención del bioetanol: la uva común (*Vitis vinífera*), la cáscara de mango (*mangifera indica*) y la biomasa hidrolizada de la planta Lirio Acuático o buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*).

2. MÉTODO

2.1. Estrategias metodológicas

Fermentación:

Es un proceso metabólico de las levaduras y de varias bacterias que transforman compuestos químicos orgánicos como los azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico y ácido butírico (Puerta Quintero).

Hidrólisis ácida:

Es el proceso mediante el cual se transforma los polisacáridos de la biomasa lignocelulosa en monómeros con ayuda de catalizadores como ácido fosfórico (H_3PO_4), ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido clorhídrico (HCl) de este modo puede resultar una mejora en la obtención de los azúcares fermentables (Morales de la Rosa, 2015).

Hidrólisis alcalina:

Es el proceso capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina con ayuda de reactivos como hidróxido de sodio (NaOH), amoníaco (NH_3), Oxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) sin generar daños a los demás componentes. Este proceso no requiere de temperaturas altas, pero sí de tiempo de prolongación para reaccionar (Morales de la Rosa, 2015). De este modo hace más accesible las enzimas.

2.1.2. Población y muestra

Ilustración 1. Comparación de los materiales entre materiales de la uva común (*Vitis vinífera*) (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018), cáscara de Mango (*Mangifera indica* L) (Marín Carvajal, 2018), la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático (Jimenez Fonseca, 2018).

LA UVA COMÚN (VITIS VINIFERA)	EL MANGO (MANGIFERA INDICA L)	LA EICHHORNIA CRASSIPES
• 2 sistema piloto de fermentación.	• 2 sistema piloto de fermentación.	• 2 sistema piloto de fermentación.
• Saccharomyces Cerevisiae.	• Saccharomyces Cerevisiae.	• Saccharomyces Cerevisiae.
• Uva Isabelina (<i>Vitis Vinifera</i>).	• Cáscara de mango seca y triturada.	• <i>Eichhornia Crassipes</i> .
• Balanza de precisión.	• Balanza de precisión.	• 1 Balanza de precisión.
• Alcohómetro de Inmersión.	• Alcohómetro de Inmersión.	• 1 Alcohómetro de Inmersión.
• Glucómetro.	• Glucómetro.	• Glucómetro.
• Tiras de Glucómetro.	• Tiras de Glucómetro.	• Tiras de Glucómetro.
• Tiras de pH.	• Tiras de pH.	• Potenciómetro.
• 2 barras de agitación 51.16mm.	• 2 barras de agitación 51.16mm.	• EPP.
• 2 probetas de 250 ml.	• 2 probetas de 1000 ml.	• Ph = metro.
• 3 frascos de 100ml.	• 1 pipeta de 25ml.	• Filtro.
• Potenciómetro.	• Potenciómetro.	• 1 Motor de pecera.
• EPP.	• EPP.	• 2 Stirbar (barra de agitación) 51.16mm.
• Licuadora.	• Molinillo de Café/Triturador.	• 2 Probetas de 250ml.
	• Horno microondas.	• Frascos para muestreo de 100ml.
	• Sistema de destilación casero.	• Horno de crisol.
	• Matraz aforado de 500 ml.	• Molino tradicional.
		

Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

La uva común (*Vitis vinífera*):

Se cultiva en clima cálido o templado, es muy difundida en Colombia y en países de la región andina; su origen probable es de Asia occidental. Es un fruto muy jugoso, que puede presentarse como uva de color verde o morado. Sus azúcares fermentables pueden ser metabolizados por la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) siendo esta usual en los procesos de fabricación de bebidas alcohólicas como el aguardiente, los llamados licores, y en la fortificación alcohólica de vino; además para la producción de biocombustibles tales como el bioetanol y biogás (Mojica Gómez & Pérez Mora, 2019) (Suárez Moreno, 2003).

El Mango (*Mangifera indica* L):

El mango pertenece a la familia Anacardiácea en la especie (*Mangifera indica* L). Es originario del Noroeste de la India, de la Región Indo-Birmanica y las montañas Chittagong en Bangladesh (Gutiérrez, 2009). Esta fruta es muy conocida debido a su particular sabor, aroma y nutrientes como ácidos, ácidos grasos, proteínas, aminoácidos, azúcares, etc. El mango está compuesto por cuarto parte: semilla, pulpa y cascara (Correa M). Actualmente en muchos lugares a nivel mundial se industrializa el mango como materia prima para generar otros productos, pero sus residuos como la cascara han sido un gran inconveniente.

La cascara del mango:

Debido al alto contenido de la cascara de mango de polifenoles, carotenoides, enzimas, vitamina E y vitamina C, que tienen propiedades funcionales y antioxidantes predominantes, además de ser una fuente de fibra dietética, celulosa, hemicelulosa, lípidos, proteínas, enzimas y pectina; ha sido considerada como parte de la materia prima para la producción de otros productos como el biogás (Guadalupe Morales, y otros).

La *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático:

Es una planta libre flotadora miembro de la familia de la Pontederiaceae, sus medidas pueden variar entre 50 cm a 1 metro de altura y su longitud puede llegar a ser de hasta 30 cm; este arbusto ocupa un lugar sobresaliente entre los ecosistemas de hidrófitas de agua dulce de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Debido a su rápido crecimiento y reproducción es considerada como una maleza ya que altera los hábitats florales y acuáticos generando inconvenientes fluviales, además de impedir el ingreso de luz al fondo de los ecosistemas acuáticos (Miranda & Lot Helgueras, 1999).

Saccharomyces Cerevisiae:

Es una levadura heterótrofa que obtiene la energía a partir de la glucosa logrando una alta capacidad de fermentación y hace parte del proceso de la producción del alcohol (Suárez Machín, 2016). Esta levadura puede fermentar la glucosa a etanol, se produce de diferentes maneras en las tres técnicas de cultivo: discontinuo (bach), semicontinuo (fedbatch) y continuo (chemostat) (De Martín Barry, 2005).

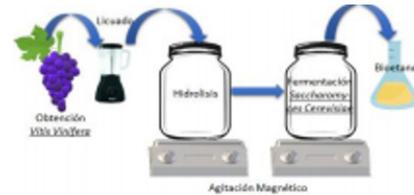
Levadura:

Todas las levaduras son hongos unicelulares que metabolizan azúcares como la glucosa, fructosa, y manosa, pero algunas son capaces de hacerlo en condiciones anaeróbicas, con la producción de alcohol y anhídrido carbónico, en el proceso conocido como fermentación (De Martín Barry, 2005).

2.1.3. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Tomando como preámbulo las tres alternativas estudiadas para la obtención del bioetanol mediante el sistema piloto de fermentación desarrollado por Cuchimaque en el 2018 en la Fundación universitaria Los Libertadores, se representa los siguientes diagramas de procesos realizados en cada escala de investigación, con el fin de hacer su respectiva comparación.

Ilustración 2. Proceso de la uva común (*Vitis vinífera*) para la obtención (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018).



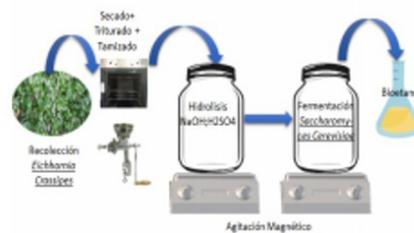
Fuente. Completamente generada por el autor, del año 2020.

Ilustración 3. Proceso de la cáscara Mango (*Mangifera indica* L) para la obtención del Bioetanol (Marín Carvajal, 2018).



Fuente. Completamente generada por el autor, del año 2020.

Ilustración 4. Proceso para la obtención del bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático (Jimenez Fonseca, 2018).



Fuente. Completamente generada por el autor, del año 2020.

2.4.1 PROCEDIMIENTO

Comparativo del pretratamiento entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático.

Para esta fase del proceso el mango y la *Eichhornia Crassipes* fueron sometidos a secado y posteriormente a triturados a diferencia de la uva que solo fue licuada para iniciar la siguiente fase.

Ilustración 5. Secado y triturado de la cáscara de mango

Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Tatiana Andrea Marín Carvajal, del año 2018.

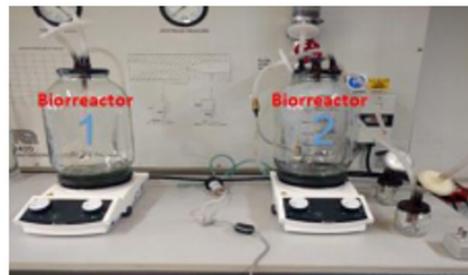
Ilustración 6. Secado y triturado de la cáscara de mango

Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Andrés Leonardo Jiménez Fonseca, del año 2018.

Comparación del proceso de hidrólisis entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático.

Debido a que la “uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) tiene un porcentaje alto en azúcar no necesita de una reacción química que requiera de otras sustancias, por lo tanto solo fue sometida a licuado convencional como se había mencionado anteriormente y a proceso físico de lisis en el biorreactor #1 a temperatura y agitación constante de 30°C y 120 RPM durante una hora, a diferencia de “la cáscara del mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) que fue disuelta con agua destilada para el proceso de hidrólisis alcalina, en el cual se hizo reaccionar con soda cáustica (NaOH) a una temperatura de 50°C durante 90 minutos con agitación constante de 125 RPM en el biorreactor #1. El mismo procedimiento se realizó con la muestra de “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018) pero a temperatura ambiente de 22.9 °C y agitación de 150 RPM y antes de agregarle hidrólisis ácida se lava el mosto con agua de grifo para bajar el PH. Este proceso de hidrólisis alcalina se realiza con el fin de hacer más accesible las enzimas eliminando compuestos inhibidores de la fermentación y removiendo la lignina.

Al Finalizar la hidrólisis alcalina con la muestra o mosto de cáscara de mango, se realiza la hidrólisis ácida de disolución de ácido sulfúrico (H₂SO₄), preparado previamente en una relación con la cantidad de la muestra o mosto. Se hace reaccionar a una temperatura 50 °C, en constante agitación a 200 RPM durante 24 horas, logrando de esta manera neutralizar el PH. Para la *Eichhornia Crassipes* se realizó el mismo proceso, pero a temperatura ambiente y 250 RPM de agitación durante un tiempo de 6 horas. Esta fase del proceso se inicia en el biorreactor # 1.

Ilustración 7. Sistema piloto de fermentación Bach

Fuente: Adaptado de Autor a partir del Sistema desarrollado por Cuchimaque en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

El proceso de hidrólisis se hace con el objetivo de liberar los azúcares que se pueden fermentar para ser metabolizados por levaduras en este caso la *Saccharomyces cerevisiae*.

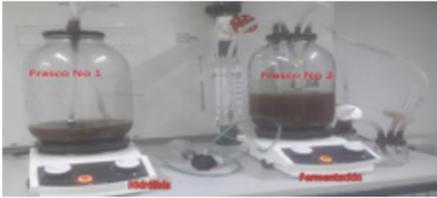
Comparativo entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático a partir del proceso de fermentación.

Después del proceso de hidrólisis se inicia la fermentación Bach, en el cual para cada estudio realizado se agregaron 7 gr de inóculo de la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) en el biorreactor # 2. Este sistema de fermentación inicia cuando el biorreactor # 1 transporta el hidrolizado hacia el biorreactor #2, en el cual contiene la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Posteriormente se tomaron muestras para realizar las mediciones de glucosa, % de alcohol a una temperatura y agitación constante.

Ilustración 8. Proceso de fermentación alcohólica de la uva (*Vitis Vinífera*)

Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Lucy Jullith Hurtado Rodríguez, Luis Antonio Jiménez Sabi en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

Ilustración 9. Proceso de fermentación alcohólica de la cáscara Mango (Mangifera indica L)



Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Tatiana Andrea Marín Carvajal en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

Ilustración 10. Proceso de fermentación alcohólica de la de la Eichhornia Crassipes o lirio acuático



Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Andrés Leonardo Jiménez Fonseca en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

3. RESULTADOS

Tabla 1:
Medición de la glucosa y alcohol de la uva (*Vitis Vinífera*), la cáscara Mango (*Mangifera indica L*), la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático

TIEMPO (HORAS)	UVA		MANGO		AICHHORNIA CRASSEPEPES	
	GLUCOSA (mg/dl)	ALCOHOL %	GLUCOSA (mg/dl)	ALCOHOL %	GLUCOSA (mg/dl)	ALCOHOL %
0	320	0	198,8	0	125	0
1	-	-	-	1	36,2	1
2	282	1,8	159,6	2,1	-	-
5	244	3,6	98	4,2	-	-
6	225	4,6	77	4,9	E-2	1
7	189	5,4	60,2	5,4	E-2	1
8	164	6,3	21	5,32	E-2	1

Fuente. Completamente generada por el autor, 2020.

En la tabla anterior se puede evidencia los resultados de las mediciones realizadas para cada alternativa, en la cual se visualiza que entre más tiempo (hora) la glucosa (mg/dl) disminuye y en relación a ella el % de alcohol aumenta. Para la "*Eichhornia Crassipes*" (Jimenez Fonseca, 2018) el % de alcohol después de 6 horas se mantiene en (1), y de las tres alternativas "*la uva (Vitis Vinífera)*", (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) es la que muestra mayor concentrado, es decir que a diferencia de las otras esta sobresale en el nivel de % de alcohol.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

* De acuerdo al proceso, "*la uva (Vitis Vinífera)*" (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) resulta ser la más eficiente para la obtención del bioetanol, ya que a diferencias de "*la cascara de mango (Mangifera indica L)*" (Marín Carvajal, 2018) y "*Eichhornia Crassipes*" (Jimenez Fonseca, 2018), la uva no requiere de otras sustancias químicas para liberar sus azúcares y eliminar compuestos inhibidores que no permitan la fermentación con la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*.

* A medida que aumenta las horas la glucosa va disminuyendo en las tres alternativas que se visualizan en la tabla anterior, pero sin embargo desde el inicio del proceso "*la uva (Vitis Vinífera)*" (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) demuestra tener más glucosa y al finalizar es la que obtiene mayor % de ETANOL a diferencia de las demás.

* El sistema desarrollado por Cuchimaque en el 2018 en la Fundación Universitaria Los Libertadores fue óptima para cada uno de los estudios realizados en los laboratorios, ya que cumplió con los objetivos propuesto en el desarrollo de las investigaciones.

* Respecto a la viabilidad en la obtención de la materia prima para la producción de bioetanol, "*la cascara de mango (Mangifera indica L)*" (Marín Carvajal, 2018) y "*Eichhornia Crassipes*" (Jimenez Fonseca, 2018) son las más adecuadas, ya que por un lado tenemos un desecho orgánico que sale en cantidades debido a que el mango es una fruta muy consumida en diferentes formas a nivel nacional. Por lo tanto, su adquisición para la elaboración del bioetanol no tendría un mayor costo si no un aporte positivo para el medio ambiente. Por otro lado, tenemos la *Eichhornia Crassipes* que es una planta flotadora, conocida por ser una maleza para los ecosistemas acuáticos debido a su rápido crecimiento y reproducción como se mencionó anteriormente en su definición, por ende, obtenerla al igual que la cascara de mango no generaría un costo alto si no una ayuda para el medio ambiente.



REFERENCIAS



- Anaya Ortega, J. E., & Jimenez Galván, I. (2014). Elementos de sostenibilidad para la producción y uso del etanol como combustible. Cartagena de India: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- CGEE, B. (2008). Biotanol de Caña de Azúcar Energía para el Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro: BNDES.
- Correa M, C. A. (s.f.). Riqueza química del mango. Revista Universidad EAFIT, 83. Cuchimaque Bolívar, Y. A. (2018). Diseño y optimización de un sistema piloto de fermentación de Batch para la producción de Bioetanol.
- De Martín Barry, A. M. (2005). Control del metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* en la síntesis de clutacion. Granada: Universidad de Granada.
- Guadalupe Morales, M., Fernández Flores, O., Pérez Martínez, J., Medina Rendon, A., Virgen Navarro, L., García Fajardo, J., & Arriola Guevara, E. (s.f.). Nuevos productos a partir de residuos de mango. Obtenido de Ciatej.mx: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/>
- Gutiérrez, S. E. (2009). Obtención de biotanol a partir del mango criollo del Istmo de Tehuantepec. Santo Domingo: Universidad del Istmo.
- Hurtado Rodríguez, L. J., & Jiménez Sabi, A. (2018). Proceso de fermentación alcohólica a partir de la uva común (*Vitis*) Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* con la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Jimenez Fonseca, A. L. (2018). Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* con la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Marín Carvajal, T. A. (2018). Producción de biotanol a través de la fermentación en batch de la cáscara de mango (*Mangifera indica*) usando como inóculo la *Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Miranda, M. G., & Lot Helgueras, A. (1999). El lirio acuático, ¿una planta nativa de México? Cultura Científica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mojica Gómez, J., & Pérez Mora, W. (2019). Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la industria vinícola del Valle de Sáchica. Bogotá, D.C: Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA.
- Morales de la Rosa, S. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Orozco, P., & Martínez, K. (2018). Aplicaciones de los carbohidratos en el ambiente. Puerta Quintero, G. I. (s.f.). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Avances técnicos cenicafé, 12.
- Suárez Machín, C. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. ResearchGate.
- Suárez Moreno, D. X. (2003). Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermelada, uvas pasas y vinos. Bogotá: CAB.



EXTRACCIÓN DE ÁCIDO ANACÁRDICO Y CARDANOL A PARTIR DE ACEITE DE CASCARA DE NUEZ DE MARAÑÓN

(*Anacardium occidentale L.*)

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

JORGE ALBERTO DUCUARA HERNÁNDEZ , ALVARO ANGEL ARRIETA ALMARIO

RESUMEN

La ciencia y tecnología junto a las políticas públicas gubernamentales, se están proyectando las investigaciones a la invención y descubrimiento de nuevos materiales que sean renovables y degradables, sobretodo que en algunos sectores económicos puedan reemplazarse los polímeros derivados del petróleo; por lo cual este estudio tiene como objetivo la extracción de ácido anacárdico y cardanol con el fin de dar paso para realizar trabajos posteriores; Metodología: las cáscaras de la nuez de marañón de la microempresa ASOPROMARSAB; para la extracción del aceite inicialmente se realizó una limpieza de las cáscaras con agua destilada y secado a temperatura ambiente, se molieron las cáscaras para luego prensarse; posteriormente se realizó la extracción el ácido anacárdico y cardanol a partir de una extracción química; resultados: se obtuvo 5 gramos de ácido anacárdico a partir de 6 gramos de muestra de anacardato de calcio del total de 40 gramos obtenidos a partir 50 gramos de aceite, las características de este subproducto fue un polvo fino de color rojizo y 10 gramos de cardanol a partir de 50 gramos de aceite, este subproducto fue líquido de color marrón rojizo; el rendimiento de obtención de ácido anacárdico respecto al aceite fue del 66.6 % y del cardanol fue del 49%; discusión: estos resultados fueron menores a los planteados en la metodología, posiblemente por errores procedimentales, estos resultados permitirán realizar trabajos para la elaboración de biopolímeros compuestos biodegradables que impacten en el sector industrial reemplazando algunos polímeros convencionales, y potencializando el uso de residuos agrícolas.

ABSTRACT

Introduction: Science and technology together with government public policies, research is being projected to the invention and discovery of new materials that are renewable and degradable, especially that in some economic sectors, polymers derived from petroleum can be replaced; For this reason, this study aims to extract anacardial acid and cardanol in order to make way for further work; Methodology: cashew nut shells from ASOPROMARSAB microenterprise; To extract the oil, the shells were initially cleaned with distilled water and dried at room temperature, the shells were ground and then pressed; Subsequently, the anacardic acid and cardanol were extracted from a chemical extraction; Results: 5 grams of anacardial acid were obtained from 6 grams of calcium cashew sample from the total of 40 grams obtained from 50 grams of oil, the characteristics of this by-product were a fine reddish powder and 10 grams of cardanol from 50 grams of oil, this by-product was a reddish-brown liquid; the yield to obtain anacardial acid with respect to the oil was 66.6% and that of cardanol was 49%; discussion: these results were lower than those raised in the methodology, possibly due to procedural errors, these results will allow carrying out work for the elaboration of biodegradable composite biopolymers that impact the industrial sector by replacing some conventional polymers, and potentiating the use of agricultural residues.

1 Estudiante de pregrado - Universidad de Sucre, UDS, Colombia - jaducuarah@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5310-9443 Estudiante de Universidad Departamento de Biología y Química, Universidad de Sucre Facultad de Educación y Ciencias Cra. 28 #5-267, Puerta Roja, Sincelejo, Sucre Tel. 3014550716 aducuarah@gmail.com

2 Profesor de planta del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre, UDS, Colombia – Alvaro.arrieta@unisuc.edu.co

RESUMO

Introdução: Ciência e tecnologia juntamente com políticas públicas governamentais, pesquisas estão sendo projetadas para a invenção e descoberta de novos materiais renováveis e degradáveis, especialmente que em alguns setores econômicos, polímeros derivados do petróleo podem ser substituídos; Por esse motivo, este estudo tem como objetivo extrair o ácido anacárdico e o cardanol a fim de abrir caminho para trabalhos futuros; Metodologia: cascas de castanha de caju da microempresa ASOPROMARSAB; Para a extração do óleo, as cascas foram inicialmente limpas com água destilada e secas em temperatura ambiente, as cascas foram moídas e depois prensadas; Posteriormente, o ácido anacárdico e o cardanol foram extraídos por extração química; Resultados: 5 gramas de ácido anacárdico foram obtidos a partir de 6 gramas de amostra de cálcio de caju do total de 40 gramas obtidos a partir de 50 gramas de óleo, as características deste subproduto foram um pó fino avermelhado e 10 gramas de cardanol de 50 gramas de óleo, este subproduto era um líquido marrom avermelhado; o rendimento de obtenção do ácido anacárdico em relação ao óleo foi de 66,6% e o do cardanol de 49%; discussão: esses resultados foram inferiores aos levantados na metodologia, possivelmente por erros de procedimento, esses resultados permitirão a realização de trabalhos para a elaboração de biopolímeros compósitos biodegradáveis que impactam o setor industrial, substituindo alguns polímeros convencionais, e potencializando o uso de resíduos agrícolas.

PALABRAS CLAVE: Extracción química, Ácido anacárdico, Cardanol, Biopolímeros.

KEYWORDS: Chemical extraction, Anacardic acid, Cardanol, Biopolymers.

PALAVRAS-CHAVE: Extração química, Ácido anacárdico, Cardanol, Biopolímeros.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente muchos centros de investigación y la industria buscan desarrollar nuevos materiales para reemplazar los productos no renovables y no degradables por materiales amigables con el medio ambiente que puedan ser funcionales, biodegradados y de bajo costo (Arrieta et al, 2011; Valencia, 2015). Además, que puedan ser elaborados a partir de productos o subproductos agroindustriales, lo que impactaría la economía de las regiones y la reducción de los residuos post cosecha en el caso de ser originados a partir de residuos (Cereda et al, 2000).

Con el fin de satisfacer sus necesidades, el hombre ha fabricado un sin número de materiales que ayuden a mejorar la calidad de vida y proveer algunas comodidades, la mayoría de estos productos son de un único uso que como bolsas plásticas, envases plásticos, biofilms, pitillos, isopos, que es de uso diario y exceden en el caso de las bolsas plásticas, más de 1 millón de bolsas son compradas en todo el mundo cada minuto, siendo innecesario el uso desmedido de estos materiales. La materia prima utilizada para la producción de esos materiales proviene mayormente de recursos no renovables como fuentes fósiles que generan impactos ambientales negativos, provocando cada vez más, un gran deterioro ambiental y la escasez de dichas fuentes, entre estos materiales destacan los plásticos, a partir de los cuales se fabrican productos tecnológicos de primera necesidad. Este tipo de material dura en promedio 500 años para “degradarse”, en realidad el plástico se convierte en partículas más pequeñas por acción de la degradación ambiental donde influyen los efectos combinados y acumulados de la luz, el calor, el oxígeno, el agua, la contaminación química, y en condiciones especiales los microorganismos, por lo cual los ecosistemas empiezan a acumular y lógicamente no existe una biodegradación porque no hay transformación química y eventualmente una asimilación de las sustancias simples o componentes menores en este proceso por parte de los microorganismos (Frias et al, 2003; Bustamante, 2012).

Globalmente existe una problemática referente a la contaminación del agua, aire y suelo, que ha sido ocasionada en gran medida por las grandes cantidades y volúmenes

de residuos sólidos que se generan diariamente y que en muy pocas ocasiones reciben tratamiento adecuado, pero casi siempre su tratamiento es nulo, la situación es más agravante porque la basura, está conformada por residuos de composición muy variada, generalmente se junta y mezcla durante las labores de recolección lo que dificulta su manejo final, esto es debido a una falta también de concienciación social y falta de control y políticas públicas que le exijan a la población el tratamiento de estas basuras. La mayoría por su composición no representan un mayor riesgo para el ambiente sí son un problema mayor porque no pueden ser degradados por el entorno como otros materiales como la madera, el papel, las fibras naturales e incluso el metal y el vidrio, los plásticos no se oxidan ni se descomponen con el tiempo. La síntesis de plásticos degradables se ha priorizado para mitigar el negativo impacto ambiental, pero ninguno ha demostrado ser válido para las condiciones requeridas en la mayoría de los vertederos de basura.

Estados Unidos es el principal país en consumo de petróleo y también uno de los primeros en producir polímeros de esta fuente, en el año 2009 se generaron 13 millones de toneladas de plásticos en envases y embalajes; más de 11 millones de toneladas en objetos de duración prolongada y alrededor de 7 millones de toneladas en objetos de duración corta (Serrano, 2010). Como alternativa a esta situación, se ha promovido el aprovechamiento de recursos naturales renovables para la producción de materiales biodegradables que en realidad puedan ser asimilados, que sean amigables con el ambiente y ayuden a mitigar los altos niveles de contaminación, debido a que la acumulación de materiales a base de petróleo está provocando un gran deterioro ambiental, sobre todo cuando estos son desechados en la naturaleza, lo cual obliga a los investigadores y gobiernos a buscar alternativas de fuentes renovables que sean viables comercialmente.

Uno de los principales problemas de los ecosistemas son los plásticos de un solo uso, sobre todo en los cuerpos de agua (Ilustración 1) que anualmente son arrojados 8 millones de toneladas de este mismo afectando la vida marina, cada minuto se están comprando un millón de botellas de

plástico en todo el mundo, y anualmente 500.000 millones de bolsas, la tercera parte de estos plásticos salen de los sistemas de alcantarillado y terminan las toneladas en el océano, ríos, arroyos, según la ONU para el 2050 habrán 12 mil millones de toneladas de desechos plásticos en la naturaleza y en los basureros, esto implica que hay una crisis a nivel global con los plásticos destinados a un solo uso, que en realidad son usados una o dos veces y son desechados sin ningún tipo de reciclaje o tratamiento especial, esto se relaciona a un problema de conciencia social, no existe directrices ni controles a los deberes sociales de separación de los plásticos para reciclaje, es increíble que se desechen tantas toneladas de plástico al océano anualmente y que la dimensión del problema es totalmente inmedible; en Colombia por medio de un proyecto de ley se busca prohibir la fabricación, importación, venta y distribución de estos materiales, el objeto de ley es prohibir en el territorio nacional a partir del año 2030, la fabricación, importación, venta y distribución de plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones que permitan su sustitución y cierre de ciclos, para controlar la contaminación y proteger el medio ambiente y la salud de los seres vivos, contemplando la prohibición de aquellos plásticos a partir de Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno de Baja Densidad (LDPE), Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) y Poliestireno Expandido, que son usados por una sola vez y cuya vida útil es muy corta, inclusive de minutos, para luego ser desechados; Aunque este proyecto no fue aprobado en el congreso porque contemplaba de manera muy general los productos comerciales y cabe destacar que muchas familias dependen de esta actividad comercial, por lo cual, el congreso de la república abrió la posibilidad de presentar un proyecto de ley que permita regular y realizar una transición para abrir las puertas al reciclaje y a la inversión en productos naturales que puedan reemplazar los plásticos de un solo uso, aparte de ser el plástico un problema, la concientización sobre el problema que genera no hacer un uso adecuado del plástico, reutilizarlo y reciclarlo, ha sido el mayor problema que ha tenido el hombre.

Las materias primas de bajo costo despiertan interés para la elaboración de nuevos materiales y más si estas materias son originadas a partir de subproductos que tengan estructuras químicas viables, muchas investigaciones han demostrado que se pueden sintetizar nuevos materiales con propiedades que permitan ser asimilados por el ambiente y puedan ser degradados sin ningún problema, los gobiernos internacionales han propuesto estar a la vanguardia para el uso de material vegetal que pueda reemplazar los derivados del petróleo, debido a que primeramente la explotación de este hidrocarburo por medio de fracking por ejemplo, compromete el uso de hasta 500 sustancias entre las que figuran 17 tóxicos para organismos acuáticos, 38 tóxicos agudos, 8 cancerígenos probados, 7 elementos mutagénicos, etc. (ácidos, antioxidantes, biocidas, benceno, xileno, disulfuro de carbono, compuestos de piridina, etc.), y normalmente cada perforación, se necesitan unos 200.000 m³ de agua para la fracturación hidráulica, se necesitan toneladas de las sustancias tóxicas para la explotación y una gestión para poder extraerla del pozo cavado, pero es una falacia admitir que todos estos compuestos son extraídos, siempre cierta cantidad queda atrapada y puede contaminar cuerpos de agua aledaños al pozo de excavación (The Tyndall Center, 2011), a medida que avance la explotación del petróleo, seguirán aumentando la contaminación, la destrucción de bosques, páramos y cuerpos de agua con el fin de extraer el hidrocarburo, agregando que se necesita un alto costo para la extracción y la transformación del crudo en productos comerciales también debe pasar por un proceso

que necesita agentes contaminantes generando así una contaminación desenfadada; por eso es imperante que los gobiernos opten por hacer una transición de políticas de financiamiento y apoyar iniciativas que represente una alternativa para poder disminuir la explotación petrolera, que finalmente los productos son de difícil degradación o duran miles de años en degradarse y sobretodo que para poder obtener el petróleo en muchos casos deben “desplazar” cobertura vegetal provocando un daño ecológico en bosques nativos afectando el ciclo normal del agua que será contraproducente tanto para los ecosistemas como también para el mismo hombre.

La capacidad mundial de producción de polímeros biobasados creció un 4 % y alcanzó los 6,6 millones de toneladas en 2016, las proyecciones se esperan que continúen, pero solamente en Italia y Francia han recibido apoyo político por parte del gobierno, influyendo así que haya una educación ambiental para poder reemplazar los plásticos de un solo uso y preservar los ecosistemas y la vida; los expertos en biopolímeros han resaltado que está en aumento la producción de este material y que posiblemente para 2021 las proyecciones sean muy positivas, dependiendo de los gobiernos nacionales como operan para apoyar la comercialización de éstos, permitiendo que se adopte un nuevo estilo de vida de manejo de polímeros biodegradables.

El Marañón (*Anacardium occidentale L.*), es un árbol silvestre que pertenece a la familia Anacardiaceae, originario de las zonas tropicales de América y del noroeste brasileño que presenta excelentes propiedades medicinales y nutricionales (Ofusori et al, 2008), antifúngicas y antibacterianas, por lo cual cobra un gran interés en las áreas como productos naturales, medicina, biología y química. El fruto se compone de dos partes: el pseudofruto (fruto falso) y la nuez y esta consta de varias partes como la cascara, el tegumento y la almendra (Peso, 1994), esta planta ha sido un cultivo de potencial exportación en países como Vietnam, India y Nigeria los cuales comercializan solamente la almendra de la nuez siendo este el 24% del fruto, mientras que la cascara es un 49% - 50%, los aceites un 23% y humedad entre 3% y 4%; en Colombia este fruto está causando un impacto en el producto interno bruto (PIB) debido a su incremento en las exportaciones, las ventas han sido destinada hacia los Estados Unidos, India y Vietnam, según Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), en el país hay aproximadamente 6000 hectáreas destinadas para la producción de Marañón, con unas proyecciones de triplicarse la producción en los próximos 10 años y llegar a las 20.000 hectáreas, este fruto se convertiría con el paso del tiempo y el aumento de las exportaciones en un nuevo producto estrella de la canasta exportadora colombiana, siendo este nativo de la Orinoquía, el mantenimiento del cultivo es de bajo costo y no se requiere un gran conocimiento agrícola para cosecharlo; en la Costa Caribe este cultivo mueve aproximadamente 8.000 millones de dólares al año; en Córdoba y Sucre hay diferentes empresas productoras de este fruto, las cuales importan para otros departamentos más que todo la almendra, el vino, Marañón en polvo o la pulpa, aunque también este producto sea exportado; los productores de este fruto en estos departamento desechan las cáscaras de la nuez, las cuales contienen el aceite que es corrosivo por su contenido de fenoles y ácidos, al momento de ser desechado en grandes cantidades suele alterar el suelo provocando disminución del pH y pérdida de fertilidad de éste, lo cual lo convierte en un desecho agroindustrial peligroso en grandes cantidades, y teniendo en cuenta

las proyecciones ante la comercialización de este fruto, se triplicarían los residuos de cáscara. En algunos países utilizan la cascara para la extracción de aceite enfocando su uso en la farmacología, medicina, etnomedicina y la investigación con diferentes fines comerciales (Leitao et al, 2013); el aceite de este residuo agrícola (que es un material renovable de base biológica), está compuesto por estructuras químicas fenólicas que han despertado interés en el campo de los biomateriales y se ha descubierto que tiene el potencial de ser útil para sintetizar biopolímeros y productos agroquímicos (Leitao et al, 2013). Actualmente se ha estudiado la biodegradabilidad de materiales a base de este subproducto, más que todo del cardanol, ya que puede ser fabricado, envasado, usado y desechado, se ha comprobado que los materiales a base de aceite de cascara de marañón pueden ser biodegradados por microorganismos, pero hace falta más estudios en síntesis de materiales biopolímeros para un sector industrial determinado y la precisión de estudios sobre su biodegradabilidad, debido a que no todos los biopolímeros biobasados son biodegradables, porque en muchos productos hay componentes que no permiten la asimilación por parte de los microorganismos en el suelo; la funcionalidad de un biopolímero a partir de este subproducto podría darle un valor agregado a la comercialización del marañón y se aprovecharía la cascara, disminuyendo el deterioro de los suelos donde es actualmente depositado como residuo sólido, sería aún más favorable que pueda tener un proceso asimilación y biodegradación para poder ser un reemplazante de productos plástico en todo sentido.

El aceite de la cascara de la nuez de marañón químicamente está compuesto en un 70% de ácido anacárdico, 5% de cardanol y 18% de cardol, la presencia de la cadena lateral alifática proporciona una hidrofobicidad pronunciada, propiedad importante para varias aplicaciones, la insaturación de esta cadena es la base de la polimerización por adición, utilizando radicales libres o iniciadores iónicos, se pueden usar H_2SO_4 , HCl o ácido paratoluenosulfónico (PTSA) para polimerizar; una de las características comparables de este aceite es que es similar al caucho y tiene baja susceptibilidad a la oxidación (Lubi y tachil, 2000; Machado et al, 2010; Rwhawire et al, 2019).

El ácido anacárdico constituye el 70 - 80% del aceite de marañón, está compuesto por cuatro monofenoles que difieren entre sí solo en el nivel de insaturación de su cadena lateral alifática ($C_{15}H_{31-n}$) (Ilustración 2). los dobles enlaces presentes en la cadena lateral en los componentes mono, di y triinsaturados junto a la estructura aromática que contienen grupos de ácido fenólico y carboxílico, confieren propiedades químicas interesantes que generan la búsqueda de estrategias para sintetizar polímeros (Philip et al, 2007), además de las ya descritas múltiples aplicaciones como acción antiinflamatoria (Falcão et al, 2005; Andrade, 2011) acción antiabética (Olajide et al, 2004; Kamthoung et al, 1998); acción inhibitoria de la enzima acetilcolinesterasa (Agra et al, 2007) y sustancias derivadas del fruto demostraron ser antagonistas de la enzima tirosinasa (Agra et al, 2007). También es útil como antioxidante para la estabilización de la gasolina (Carvalho, 2011).

El Cardanol tiene alrededor del 30–41% de fenoles con cadenas de hidrocarburos C_{15} con tres enlaces dobles (C_8-C_9 , $C_{11}-C_{12}$ y $C_{14}-C_{15}$), 16–22% de fenoles con cadenas de hidrocarburos con dos enlaces dobles (C_8-C_9 y $C_{11}-C_{12}$), 25–36% de fenoles con cadenas de hidrocarburos con un doble enlace (C_8-C_9) y alrededor de 4% de cardol, un fenol que tiene dos hidroxilos en las posiciones 1 y 5 y una cadena de hidrocarburos de 15 átomos de carbono en la posición 3

(Fiore y Valenza, 2013) su estructura fenólica lo hace atractivo para estudios de nuevos envases y biopolímeros por lo cual ya se han elaborado diferentes productos biodegradables (Da Silva, 2016) (Ilustración 2).

El aceite de marañón ha llamado el interés de los investigadores porque ha sido eje de estudio en diferentes trabajos investigativos. Bhunia y colabores en 1997 sintetizan un poliuretano a partir de monómeros del cardanol extraído del aceite de la cáscara de la nuez de marañón, para la síntesis primeramente extrajeron los monómeros de 4-[(4-Hydroxy-2-pentadecenylphenyl) diazenyl] phenol, que se obtuvieron y con una reacción de policondensación a temperatura elevada según el método descrito por Stenhouse et al, 1989. Los resultados demostraron que gracias a la presencia de anillos aromáticos en la estructura de los polioles de Mannich de anacardo mejoró las propiedades de resistencia al fuego de las espumas rígidas de poliuretano. Después de la prueba de fuego, la muestra perdió solo un 6.2–6.6% del peso inicial, los autores concluyeron que el líquido de cáscara de la nuez de marañón fue usado con éxito para sintetizar los nuevos polioles de Mannich de base biológica utilizando una ruta de oxazolidina. A comparación de los polioles petroquímicos de Mannich de fenol y nonilfenol, los polioles de Mannich de aceite de la cáscara de la nuez de marañón tienen una viscosidad mucho menor y, por supuesto, un alto contenido de renovación. Los nuevos polioles de Mannich se utilizaron con éxito para obtener espumas rígidas de poliuretano con buenas propiedades físico - mecánicas y retardantes del fuego, estos polioles de base biológica pueden ser usados en diferentes campos de la industria, pero aún faltan pruebas de biodegradabilidad y de tratamiento para poder establecer su impacto en la mitigación de la degradación ambiental.

Lubi y Tachil en el 2000, que el aceite de la nuez de marañón puede ser base para síntesis de materiales en materiales de fricción, automóviles, recubrimientos de superficie, adhesivos, laminados, compuestos de caucho, y tienen varias aplicaciones diversas, según los autores, los polímeros muestran flexibilidad por la composición de una cadena alifática lateral larga que también le confiere resistencia al agua.

Edoga y colaboradores en el 2006 realizaron la extracción de polifenoles y concluyen en su trabajo que esta materia prima es potencial para sustituir ciertos materiales que son producidos a partir del fenol del petróleo, resaltan la importancia que al ser un producto que es desecho de la agroindustria y de bajo costo puede potencializar económicamente los productores de este producto alimenticio, además que el marañón es comercializado en muchas partes del mundo y también aquí en Colombia y aquellas empresas que tienen problema de poscosecha junto a que no aprovechan los subproductos, pueden dinamizarse con la investigación para el aprovechamiento y pueda tener uso para posteriores investigaciones y pruebas.

Ionescu y colaboradores en el 2012 realizaron la síntesis de nuevos polioles de Mannich de base biológica para la elaboración de espumas rígidas de poliuretano, su metodología consistió en dos pasos: síntesis de bases de Mannich aprovechando la propiedad del anillo fenólico de cardanol con N - (2-hidroxietil) - 1, 3 - oxazolidina seguido la reacción de alcoxilación. Los polioles de Mannich del cardanol son excelentes reemplazos para los que son derivados de petroquímicos basados en nonilfenol. Estos polioles se utilizaron para las preparaciones exitosas de espumas de poliuretano rígidas con propiedades físico - mecánicas y de resistencia al fuego, en estos estudios los autores no hicieron

pruebas de biodegradabilidad que puedan indicar su impacto ambiental.

Más reciente da Silva et al, 2016 usaron al cardanol como bloque de construcción para el desarrollo de una matriz termoreducible la cual reforzaron con fibras de calabaza (*Luffa cylindrica*) crudas y modificadas, los biocompuestos que fueron reforzados con fibras de calabaza fueron con NaOH al 10% en peso tenían la mayor estabilidad térmica, además tenían el mejor rendimiento en prueba de tracción mostrando resultados positivos en incorporación, adhesión y dispersión al polímero, la presencia de las fibras de calabaza en el biocompuesto permitía una mejor biodegradabilidad, y estos materiales son potenciales para varias aplicaciones como la fabricación de artículos para la industria del mueble y automotriz, en este estudio los autores realizaron una prueba de biodegradabilidad con suelo simulado preparado con 23% de limo limoso, 23% de materia orgánica (estiércol de vaca), 23% de arena y 31% de agua destilada (todo en peso / peso), las muestras se expusieron en el suelo simulado: se pesaron 10 a 20 gramos y se enterraron a 10 cm de profundidad a 25 ± 3 ° C. La biodegradación se controló durante 80 días midiendo la variación de masa, las muestras enterradas se recuperaron, posteriormente se lavaron con agua destilada y se secaron a temperatura ambiente hasta que no hubo más variación de peso, y luego se pesaron; después de pesar, los especímenes fueron enterrados nuevamente. Los experimentos se realizaron por cuadruplicado; los resultados obtenidos es que hubo una variabilidad de peso, indicando que en los 80 días que estuvieron enterrados, se descubrió que la presencia de fibra tratada permitió un mejor comportamiento de biodegradabilidad a los biocompuestos. A nivel industrial es de suma importancia el mejoramiento de las resinas epoxi, con agentes curado, Wazarkar et al, 2018 realizaron la síntesis de un compuesto dianhídrido a partir de cardanol, para ser utilizado como agente de curado. Para confirmar la estructura del compuesto generado fue comprobado usando análisis químico, espectroscópico y cromatográfico, por estas investigaciones el marañón cada vez despierta más interés y el uso de los subproductos del aceite han sido indispensables para mejorar polímeros convencionales que se encuentran en el mercado.

Actualmente muy pocos son los estudios del potencial biodegradabilidad de materiales a base de subproductos del aceite de marañón ya que podría ser fabricado, envasado, usado y desechado, en los escasos estudios se han comprobado que los materiales de este aceite pueden ser biodegradados por microorganismos, pero hace falta estudios en síntesis de materiales biopolímeros para un sector industrial determinado y la precisión de estudios sobre su biodegradabilidad; la funcionalidad de un biopolímero a partir de este subproducto podría darle un valor agregado a la comercialización del marañón y se aprovecharía la cascara.

Estos estudios han permitido abrir la posibilidad de investigar más a fondo la síntesis de biopolímero a partir del aceite de la nuez, es muy importante resaltar que hoy en día existen biobasados o biopolímeros como solución para reemplazar los derivados del petróleo, la alineación de políticas públicas para estas actividades generará mayores expectativas y posibles resultados en los países que adopten la transición de polímeros derivados del petróleo a biopolímeros degradables, todo depende de la voluntad política que tengan los gobiernos para poder abrir paso a una transformación industrial, científica y social.

Los polímeros son materiales de mucha importancia en el quehacer cotidiano, gran parte de lo que usamos para el

desarrollo de nuestro día a día requiere de estos materiales derivados del petróleo, que hoy en día son un problema debido a la acumulación de éstos y sobre todo, su impacto ambiental negativo. El desarrollo de biopolímeros para la elaboración de utensilios y dispositivos ha sido un tema muy relevante para disminuir el impacto ambiental de los polímeros, por ser estos de origen biológico se pueden degradar a corto plazo por la acción de microorganismos. Según la International Standard Organization (ISO) los bioplásticos o biopolímeros mantienen su integridad física desde su manufactura, almacenamiento, envasado, vida en estanterías y uso por el consumidor, al terminar su vida útil y posterior desecho, sufren cambios químicos por agentes ambientales y microorganismos, que transforman estos polímeros en estructuras simples que serán asimilados por el medio ambiente (Rodríguez, 2012).

Las biopelículas son una matriz de biopolímeros construidos a partir de una o más bases macromoleculares biológicas, los biopolímeros comúnmente usados para realizar biopelículas son almidón, pectina, celulosa y sus derivados, colágeno, gelatina y proteínas miofibrilares, y una propiedad muy fundamental es la biodegradabilidad de estos materiales (Cereda et al, 2000). Aun no existen estudios de biopelículas basadas en ácido anacárdico ni cardanol y han sido usados mayormente para mejorar polímeros que se encuentran en el mercado.

El objetivo de esta investigación es realizar la extracción del aceite de la cáscara de la nuez de marañón por método físico y posteriormente la extracción de cardanol y ácido anacárdico, con el fin de determinar su rendimiento en el proceso y proyectar su uso para las futuras investigaciones en síntesis de biopolímeros compuestos o aditivos de productos comerciales que puedan ser funcionales y generar un impacto positivo en la mitigación del deterioro medio ambiente aprovechando las potencialidades que tiene la cáscara de marañón como desecho agrícola.

2. MÉTODO

Estrategias metodológicas

En la planificación del experimento se recopiló información del aceite de la nuez de marañón y de los subproductos cardanol y ácido anacárdico, en cuanto a su extracción e investigaciones que estén relacionadas del uso de estos subproductos en la síntesis de biopolímeros; para la extracción del aceite de la cáscara se puede realizar a través del equipo Soxhlet, rotaevaporación, o extracción mecánica con el uso de una prensa hidráulica pero primeramente se hace una respectiva molienda de las cáscaras, para ello se optó por este último debido a que se obtiene el ácido sin ninguna impureza de los solventes orgánicos usados, cabe resaltar que el rendimiento es menor que las extracciones químicas, pero esto permitirá realizar pruebas en investigaciones futuras para la síntesis y producción de biopolímeros; para la extracción del cardanol se utilizó el método establecido por Kumar por la practicidad, rendimiento reportado y disponibilidad de reactivos, al igual que el método propuesto para la extracción de ácido anacárdico.

PROCEDIMIENTO

Obtención de la materia prima:

Las cáscaras de la nuez de marañón se obtendrán de la microempresa ASOPROMARSAB ubicada en el corregimiento Pisabonito - Chinú- Córdoba (Ilustración 3), por ser un material de desecho, estas fueron obsequiadas por los trabajadores de la empresa.

EXTRACCIÓN DEL ACEITE.

La extracción del aceite de las cascaras de nuez de marañón (Ilustración 4) se realiza mediante el método mecánico, se pesó 800 gramos de muestra en una balanza analítica Sartorius AX224; antes de iniciar el proceso se lavó con abundante agua destilada y se secó a temperatura de 30°C en un horno de secado Memmert por 120 minutos, con el fin de eliminar las impurezas que puedan alterar la composición del aceite. Posteriormente las cascaras pasaron por un proceso de molienda usando un molino para granos Corona, el producto de la molienda se introdujo en un cilindro de acero (Ilustración 5) para ser prensadas mediante fuerza de compresión con la prensa hidráulica (Ilustración 6); el aceite extraído se recogió en un beaker de 250ml. Para extraer mayor cantidad de aceite, se reprensó la torta de prensado contenida en el cilindro para obtener mayor líquido.

Al cilindro de metal se le hicieron unas aberturas en la zona inferior con el fin de aprovechar el prensado y no se desperdicie aceite, también se hizo una muesca para que el aceite saliera por este lugar y poder depositarlo en el beaker.

EXTRACCIÓN DEL ÁCIDO ANACÁRDICO.

Se disolvió 50 gramos de aceite en 400 ml de metanol y agua al 5%, se añadió lentamente 25 gramos de hidróxido de calcio (Ilustración 7); se formó un precipitado de anacardato de calcio (Ilustración 8), este se filtró, se lavó, se calentó a 45-50 °C durante 3 h, y luego se suspendió en agua destilada y HCl 11 M, se extrajo el ácido (Ilustración 9) con acetato de etilo y se secó con sulfato de sodio seco; el ácido se lavó repetidamente con agua para retirar desechos, el disolvente y el agua restante se evaporaron en horno de secado Memmert a 60°C durante 24 h (Morais et al, 2017).

EXTRACCIÓN DEL CARDANOL

El CNSL técnico (100 g) se disolvió en metanol (Ilustración 10) (320 ml) y se añadió hidróxido de amonio (25%, 200 ml): Se agitó durante 15 minutos, esta solución se extrajo luego con hexano (4200 ml), la capa orgánica se lavó con HCl al 5% (100 ml) seguido de agua destilada (100 ml) (Ilustración 11), se añadió carbón activado (10 g) a la capa orgánica, se agitó durante 10 minutos y se filtró a través de Celite (15 g). El filtrado se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se concentró para obtener cardanol puro.

3.RESULTADOS

OBTENCIÓN DE LAS CÁSCARAS DE LA NUEZ DE MARAÑÓN

Las cáscaras de la nuez de marañón se obtuvo de la microempresa ASOPROMARSAB ubicada en el corregimiento Pisabonito – Chinú - Córdoba, es un producto de desecho con un terreno específico cercado para su destino, la nuez(fruto) era separado de su pedúnculo el cual es rojizo cuando está maduro (pseudofruto) y era cortado por la mitad para la extracción de la almendra.

EXTRACCIÓN DEL ACEITE

El aceite es de color marrón oscuro (casi negro), cáustico y viscoso, con un olor característico, este se suspendía en la superficie de la prensa y por medio de las aberturas y muescas del cilindro, finalmente era almacenado en un beaker de 250 mililitros para así posteriormente realizar las siguientes extracciones.

ÁCIDO ANACÁRDICO

La extracción de este ácido se hace directamente del aceite, pero primeramente debe formarse el anacardato de calcio (20g), el cual es un polvo solido compacto de color marrón rojizo, para posteriormente mediante la extracción con acetato de etilo y el secado con sulfato de sodio seco se obtenga el ácido anacárdico, las características físicas es que es un polvo fino de color marrón claro; se realizó varios lavados con agua destilada debido a que luego del proceso de extracción quedó con impurezas del sulfato de sodio seco y es muy importante tener la alícuota lo más limpia posible para lograr resultados positivos en el análisis infrarrojo.

CARDANOL

El cardanol es un líquido viscoso color marrón rojizo, en la obtención hubo variación en la metodologías propuestas para la extracción, debido a que luego que se realizara el lavado de HCl 5% pasaron aproximadamente una hora y media para la separación del ácido de la capa orgánica, luego se lavó con 50ml de agua y se esperó hasta que se separara las fases, en este punto no hubo separación de fases para lo cual se debió agregar nuevamente HCl al 5%, esto permitió la separación de fases y lavado de la capa orgánica; el cardanol se extrajo finalmente con carbón activado, y para separar estos compuestos se hizo una filtración con piedra celite.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Sucre y Córdoba son departamentos que se reconocen por ser de economía agrícola, se encuentran diferentes empresas encargadas de la producción de productos de la canasta familiar y que su producción genera residuos que pueden ser aprovechados para la biotecnología, entre ellos se encuentran las asociaciones productoras de yuca, ñame, maíz como también empresas grandes como Almidones de Sucre, entre otros; para la producción de marañón se encuentran diferentes microempresas como Bendito Marañón en el municipio de San Benito Abad en Sucre y la microempresa ASOPROMARSAB que se dedica a la comercialización de productos de consumo alimenticio como nuez tostada, pulpa del pseudofruto y vino obtenidos del marañón (*Anacardium occidentale* L.), anualmente establece convenios con diferentes empresas e instituciones con la finalidad de comercializar sus productos, principalmente su producción se basa más que todo en la obtención de la almendra, para lo cual deben con un máquina cortar en dos la nuez, al obtener el producto final se genera el desecho que son las cáscaras de la nuez; los productores destinan este desecho a un terreno específico, la explicación dada por estos indican que la cascara contiene un aceite que en grandes cantidades es corrosivo y que puede infertilizar el suelo donde se está sembrando los diferentes cultivos que se relacionan a la actividad económica del corregimiento donde se encuentra ubicada; la importancia del aprovechamiento de las cáscaras como desechos es que no tiene costo de obtención y es una materia prima para la extracción de diferentes subproductos del aceite de la nuez, que hoy en día es eje de investigación para la elaboración de polímeros que tengan alto impacto en la industria en general.

La prensa hidráulica es una herramienta muy útil para la obtención de aceites por medio de prensado que se encuentran en cáscaras y semillas, otros métodos pueden ser útiles para la obtención directa, como por ejemplo la extracción por solvente como el hexano que por su fácil recuperación gracias a su bajo punto de ebullición (63 - 69) y su gran capacidad de solubilizar la fase oleosa, permite ser eficaz en la extracción, pero este método no es tan popular debido a que este reactivo aun siendo por excelencia un extractor de aceite, le preceden cuestionamientos vinculados a la salud, seguridad e impacto ambiental, siendo así que se optan por otros métodos ya sean físicos o químicos; aunque los métodos químicos han demostrado en algunos casos ser más eficientes para la extracción en cuanto a tiempo y rendimiento, ha comprometido también cambios en la estructura principal de los aceites, o cambios en las propiedades físico - químicas como en el pH, mayor presencia de peróxidos, entre otros desechos orgánicos del solvente que pueden afectar el fin específico del aceite; es por ello que la obtención por prensado fue el procedimiento en esta investigación, evitando así cambios en la estructura y que los componentes no hayan sido afectados ni por calor, ni por solvente, tal cual lo recomienda la literatura, promoviendo el menor uso posible de reactivos contaminantes para la extracción, exceptuando los casos donde es indispensable por medio de extracciones químicas y uso de equipos específicos.

El uso del molino es esencial para realizar el prensado, debido a que se tritura la semilla en partículas más pequeñas que quedarán más susceptibles a la presión de la prensa hidráulica, generando un mejor rendimiento a

comparación de cuando se prensa las cáscaras enteras, en la cual gran parte del aceite queda entre los espacios de las cáscaras provocando así menor rendimiento de extracción y mayor tiempo de trabajo; agregando que el proceso de molienda también provoca un triturado de las paredes celulares liberando pequeñas cantidades de aceite, por lo cual por rendimiento, tiempo de trabajo y practicidad, la molienda se convierte en una parte esencial para la extracción del aceite como método mecánico.

Para poder obtener 100 gramos de aceite de la cáscara de la nuez de marañón fue necesario pesar 800 gramos de triturado de cáscara, obteniendo como resultado un rendimiento del 12,5% de aceite respecto al peso de la cáscara, la composición de la cáscara de la nuez de marañón contiene en su peso total un 23% de aceite, resultando que posiblemente no hubo un rendimiento mayor porque al prensar no hay rompimiento de gran parte de las paredes celulares de la cáscara, además, es posible que gran parte del aceite también quede atrapado entre la masa resultado del prensado; los métodos químicos demuestran un mayor rendimiento de extracción pero la finalidad de la extracción física es obtener el aceite lo más impoluto posible, evitando así contaminantes como se mencionó anteriormente que puedan alterar la estructura química o interferir en procesos posteriores como la polimerización.

En otros estudios se realizaron extracciones y purificación del aceite de la almendra del Marañón, como objetivo de escala piloto, en este proceso se realizó la extracción por medio de un equipo Soxhlet, en el cual tuvieron como resultado un rendimiento del 28% para 1 kg de semillas y 6,0 L de solvente (n - hexano), en cuanto a la cascara de la nuez se realiza el proceso de extracción sometiendo a la oscuridad y sumergirlo en ciclohexano durante 24 horas, posteriormente tamizan las cáscaras y filtran la solución, para someterse a un rotaevaporador a 40° C obteniendo así el aceite; cabe resaltar que el resultado obtenido es ampliamente mayor y viable que el método mecánico, pero el uso de n - Hexano implica tanto riesgos para la salud como mayor inversión económica aunque en función del tiempo es menor; para evitar el uso de reactivos que puedan ser un riesgo para la salud o los ecosistemas, se ha probado con éxito para la extracción de aceites en otras especies vegetales con enzimas, comprendiendo una operación simple y fácil, un menor consumo de energía y es económicamente viable, generando también así porcentajes de rendimiento elevado, en cuanto al marañón el obstáculo ha sido la dureza de la cáscara lo cual genera rendimientos bajos durante la extracción; cabe resaltar que los rendimientos aunque sean mayores en los métodos químicos, la diferencia no es tan marcada respecto al método físico como se evidencia en la extracción realizada.

El cultivo de Marañón se ha convertido en una alternativa viable, ha despertado el interés de los investigadores, por sus constituyentes que son el cardanol, el cardol y el ácido anacárdico, estos han sido ejes de estudio por su composición química, ya que son bases para la síntesis de biopolímeros que hoy en día están presente en algunos productos cotidianos o están en fase de estudio o prueba, además, que este cultivo está teniendo relevancia económica en Colombia en cuanto a importación y exportación, siendo en muchas ocasiones la cáscara de la nuez desechada y que podría tener un uso científico e industrial que impactará positivamente para la el aprovechamiento de la cascara y de residuos post cosechas, en este caso las cascarras que emanan el aceite y pueden infertilizar el suelo, la generación de valor agregado a la comercialización y un plus a la economía de los productores, teniendo en cuenta que la producción de este fruto está en constante aumento en el territorio colombiano.

Los principales componentes del aceite son compuestos fenólicos con sustitución de cadena larga en la posición meta permitiendo así que se den la mayoría de las reacciones de los fenoles y pueden aprovecharse como bases para la producción de polímeros que pueden ser ampliamente usados en la industria, la importancia para los investigadores es que la cascara de la nuez de marañón es un desecho agrícola que puede ser utilizado para la elaboración de materiales poliméricos que pueden reemplazar a los de origen petroquímico por la naturaleza renovable y ser amigables con el medio ambiente (Lubi y tachil, 2000).

El ácido anacárdico tuvo que ser lavado en distintas ocasiones con agua destilada, debido a que quedaban impurezas de color blanco, estos son residuos de sulfato de sodio seco con el que se realizó la extracción del ácido, es conveniente el lavado hasta que quede de color rojo, simultáneamente se agregaba agua destilada y se retiraba el sobrenadante, esto permitirá que haya más pureza del ácido y no existan futuros problemas en el momento de realizar las pruebas de infrarrojo para la posterior polimerización con diferentes monómeros, para la extracción se tomó una muestra de 6 gramos del anacardato de calcio obtenido para obtener 5 gramos de ácido anacárdico, indicando que hay un porcentaje de rendimiento del 66,6%

La relevancia de este subproducto del aceite ha sido versátilmente enfocado porque de este mismo se extrae el cardanol y también puede polimerizarse con otras bases poliméricas, permitiendo ser un aditivo para diferentes productos químicos, antes de ser objeto de estudio para la síntesis de biopolímeros, ha sido investigado en áreas de la medicina, siendo estudiado como antioxidante ante agentes tumorales, teniendo excelentes resultados disminuyendo la actividad microbiana por las cadenas hidrocarbonadas de la estructura química; la estructura favorece al ácido como un antioxidante de combustibles como el biodiesel convirtiéndose en una alternativa para el reemplazo de otros compuestos químicos que son de mayor costo de obtención tanto económicamente como ambientalmente; la versatilidad de esta estructura es el atractivo de los investigadores para la síntesis de biopolímeros, puede ser aditivo para la síntesis de poliuretanos o materia prima para la obtención de diferentes monómeros como el Metacrilato de anacardanilo, que se obtiene directamente del ácido anacárdico disolviéndose en piridina y anhídrido metilacrílico, este monómero se

obtiene de color amarillo pardo; el Acrilato de anacardanilo es otro monómero del ácido anacárdico que se obtiene transfiriendo este último a un matraz de reacción con cloroformo y Trietilamina (0,42 ml, 3,6 mmol) y cloruro de acrililoilo (0,40 ml, 3,6 mmol), este también es un aceite amarillo pardo; el ácido anacárdico en algunos casos no es capaz de polimerizar por el grupo fenol, es por ello que diferentes estudios sugieren que se bloquee este grupo a partir de la acrilación y metacrilación, esto permitirá que los monómeros resultantes actuarán como buenos monómeros funcionales; se debe tener en cuenta que los trabajos de biopolímeros funcionales en ácido anacárdico son muy escasos, aunque cuente con una estructura favorable y ya se hayan realizado investigaciones sobre monómeros, pero específicamente en el campo de los biomateriales no ha tenido prioridad o relevancia que indique que pueda ser una alternativa viable, a futuro es recomendable explorar las posibilidades y beneficios que este ácido puede obtener, porque su investigación y uso ha sido enfocado en la medicina, en la tecnología de combustibles y no en los nuevos materiales; la síntesis de biopolímeros compuestos a partir de este producto puede generar nuevas oportunidades y rutas de investigación y conocimiento, además, las propiedades que puedan ser aprovechables permitirá amplios estudios en su estructura y función como base de polímeros, consecutivamente, tendrá relevancia en el área ambiental, primero por la reducción de los residuos, residuos post cosecha del marañón que se sabe que su aceite se compone del 70% de ácido anacárdico y fenoles, dándole propiedades causticas y también por la versatilidad en el campo de la biotecnología, con altas probabilidades de ser un punto objetivo para iniciar la síntesis y producción que pueda reemplazar los plásticos convencionales.

El Cardanol tuvo un rendimiento del 49%, menor que los resultados obtenidos en los estudios que proponen la metodología para la extracción, en el que obtuvieron un 65% de rendimiento, probablemente se haya obtenido menor por algún error procedimental; este producto a comparación con el ácido anacárdico, representa una mayor importancia para la elaboración de biopolímeros, se han realizado trabajos investigativos exitosos como la elaboración de una resina biodegradable, ser aditivo en poliuretanos, nuevos polioles de Mannich los cuales son poliéteres aminados y aromáticos, con una muy buena compatibilidad, se obtuvo como resultado una alta reactividad que permite bajos niveles de catálisis y su estructura aromática da espumas con muy buena resistencia al fuego; al sintetizar biopolímeros compuestos con resina y reforzado con esponja (Luffa cylindrica) se pueden obtener un material biodegradable que por sus propiedades puedan ser usados en el sector de la industria automotriz, de muebles, de empaques y demás; también se destaca en diferentes investigaciones el uso del cardanol para mostrar, sintetizar o mejorar, algunos elementos o propiedades de resinas y aditivos para polímeros, uno de ellos son las resinas epoxi son uno de los materiales termoestables más utilizados comercialmente, las mismas poseen excelente adhesión, resistencia química, con buenas propiedades mecánicas y resistencia anticorrosiva (Herrera et al, 2019).

El cardanol posee una estructura química en la que se presencia un grupo no saturado en posición meta del anillo, esto permite la posibilidad de generar nuevos compuestos basados en el cardanol, ya que son susceptibles a reacciones de sulfonación, nitración, esterificación, halogenación, eterificación, epoxidación, y otras más.

Las extracciones de estos dos compuestos proyecta a futuras investigaciones con el objetivo de elaborar polímeros compuestos, a parte que estos materiales son recursos vegetales, son renovables y biodegradables, orientar nuevos estudios con la síntesis compuestas con materiales como el almidón, el quitosano, entre otros biopolímeros que han sido estudiados, son el atractivo para esta línea temática; entre más la investigación esté orientada a generar nuevas alternativas que ayuden a disminuir los impactos ambientales negativos, mayores serán las posibilidades de reemplazar los materiales que no son degradables y que su extracción y transformación repercute a los ecosistemas de manera agresiva; hoy en día existen trabajos con otros productos vegetales como el almidón de yuca que generan residuos poscosecha al momento de cosechar la yuca, esto generaría un valor agregado a los residuos y así disminuir las pérdidas de los productores que se dedican a esta actividad económica y que se han visto afectados por este problema, por la existencia de productos biodegradables en el mercado, los productores se han beneficiando de los residuos que se generan convirtiendo este en un plus agroindustrial para mejorar la economía generando ingresos adicionales por el valor agregado sumado, el almidón como polímero tiene las propiedades para realizar la síntesis de biopelículas conductoras de electricidad o incluso productos que se usan en la agricultura como el Solanyl BP, el cual es un polímero biodegradable al 100% que utiliza el almidón como materia prima y cuyas propiedades mecánicas son similares a las del polietileno o poliestireno, también se pueden encontrar en el mercado marcas comerciales como bolsas biodegradables, entre otros productos de investigaciones realizadas en este campo, han dado como resultado, materiales poliméricos biodegradables que ya se utilizan comercialmente, este es el caso del Mater-Bi, una mezcla de almidón y PVA (acetato de polivinilo); a comparación del ácido anacárdico y el cardanol que no han generado productos con un valor comercial y que las investigaciones podrían ser dirigidas a la elaboración de empaques, plásticos de forrar, vasos, pitillos, entre otros objetos que están elaborados a base de petróleo y que no son biodegradables, puesto que su degradación suele tardar más de 100 años.

Es válido afirmar que los subcompuestos del aceite de la cáscara de la nuez de marañón por ser un material de origen vegetal puede ser biodegradado, pero hay muy escasos estudios en biopolímeros de esta naturaleza que permita dilucidar si efectivamente son biodegradables, lo cual sería impactante en la industria, abriendo las posibilidades de una mayor confianza en el uso de estos subproductos y que los productos tanto de desecho como poscosecha no sean pérdidas para los pequeños productores, sino, un potencializador de su economía, porque el problema que existe es que los cultivadores de Marañón subaproveen la producción como resultado de un sistema productivo direccionado a un sólo producto, en consecuencia no se aprovechan otros componentes esenciales asociados con la biomasa residual, su contenido metabólico, o componentes del fruto.

Actualmente en Colombia existe una apertura económica que permite y estimula la comercialización de biopolímeros importados y el gobierno nacional a través del ministerio de Ciencia y Tecnología ha promovido programas para impulsar el desarrollo de proyectos sostenibles, sin embargo estos recursos no tiene un gran presupuesto asignado, pero la importancia que cobra los biopolímeros a medida del tiempo permitirán que se fortalezcan las políticas públicas que se encaminen en el aprovechamiento de residuos agrícolas para la elaboración de biopolímeros y reemplazar productos plásticos a base de petróleo, porque la producción de este último en masa implica que tengan que destruirse ecosistemas marinos y terrestres con el fin de obtener el hidrocarburo para así transformarlo en el producto final, hoy en día hay en curso diferentes proyectos de ley que proponen medidas tendientes a la reducción de la producción y el consumo, de los plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se regula un régimen de transición para reemplazar progresivamente por alternativas reutilizables, biodegradables u otras cuya degradación no genere contaminación, en la cual destaca que se deben adoptar materiales reutilizables o biodegradables, reglamentados para el reemplazo progresivo de plásticos de un solo uso, esto indica la gran posibilidad de establecer políticas progresivas para la exploración de biopolímeros que cumplan con los estándares para poder reemplazar a los plásticos derivados del petróleo como de un solo uso, para ello se busca que haya un “Fomento de la investigación científica y social para la sustitución de productos plásticos de un solo uso por alternativas renovables, compostables y sostenibles.

Las entidades del Sistema Ambiental Colombiano, y demás entidades de apoyo técnico y científico, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología y Educación (Colciencias), las asociaciones de profesionales de las distintas disciplinas científicas y sociales, y las instancias de participación del sector educativo, promoverán la educación, y la investigación científica y social en las instituciones educativas para la sustitución de productos plásticos de un solo uso por alternativas renovables, compostables y sostenibles. Dicha educación e investigación tendrá en cuenta la importancia de proteger las comunidades, los ecosistemas y los animales afectados por la contaminación de plásticos y basura marina de origen plástico, con observancia de los principios de justicia ambiental además de los incluidos en la presente ley”, la aprobación de este tipo de propuesta generará mayor interés gubernamental para el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas de los centros tecnológicos, institutos de educación superior y laboratorios con el fin de impulsar progresivamente la elaboración de nuevos materiales, sobre todo de aquellos que pueden ser elaborados con productos de desecho agrícola o agroindustrial que permita dinamizar la economía con los diferentes productores debido a que la cantidad de residuos agrícolas y agroindustriales generados en Colombia, tienen como destino en su gran mayoría a los rellenos sanitarios y fuentes hídricas, generando así un impacto ambiental negativo. Cabe destacar que estos residuos tienen una gran potencial, que por faltas de políticas no se han convertido en una fuente de producción científica y tecnológica que brinde soluciones y oportunidades a los problemas que enfrenta el país, dentro de los sectores en los cuales se pueden usar los diferentes residuos agrícolas o agropecuarios se encuentran: el farmacéutico, construcción, cosméticos, nutricionales, entre otros.

Cabe mencionar que las políticas ambientales mundiales están dirigidas a la conservación del medio ambiente y mitigación de los efectos del cambio climático, en donde se proponen el uso de productos biodegradables, que generen el más mínimo impacto ambiental, ya que hoy en día muchos de los ecosistemas tanto terrestres como marinos se han visto degradados, en el caso del bosque seco tropical, ha sido fragmentado también por actividades mineras; es por ello que las distintas investigaciones científicas han de estar enfocadas a la producción de este tipo de materiales, como por ejemplo los productores de papa que proveen almidón, al igual que productores de yuca que proveen almidón y desechos postcosecha, los productores de mariscos en el caso de la quitina del exoesqueleto del camarón, en este caso los productores de Marañón que generan la cascara como desecho por la economía monótona que puede fortalecerse con el desarrollo de la industrialización de biopolímeros de Ácido anacárdico y Cardanol; no solamente en Colombia busca la regulación de la producción y comercio de plástico de un solo uso, internacionalmente en algunos países ya han avanzado significativamente prohibiendo la producción y buscando alternativas que puedan reemplazar estos productos por medio de polímeros biodegradables; los biopolímeros merecen mayor atención por parte de los entes gubernamentales, estos han sido foco de desarrollo e industrialización con una economía circular más sana que permita en el hecho preservar el medio ambiente, dinamizar la economía, aprovechar de los residuos de los productos agrícolas y que finalmente generen valor agregado y se sustituyan los productos plásticos y demás derivados petroquímicos.

Uno de los principales obstáculos que presenta el reemplazo de aditivos de origen vegetal o en algunos casos animal, es el alto costo de extracción, en el caso del cardanol y el ácido anacárdico, aunque se obtenga como residuo agrícola, postcosecha o agroindustrial, los reactivos que se necesitan son de regulado acceso, pueden ser tóxicos como el n – hexano, pero se puede estandarizar como prueba piloto para su extracción en masa, comparado con los petroquímicos, la materia prima no tendría un costo ambiental para su obtención, además que está siendo desechada; en ese sentido acorde a los resultados del rendimiento, las futuras investigaciones en este campo deben apuntar a la extracción en masa de aceite de la cáscara de la nuez de Marañón, del cardanol y del ácido anacárdico para así producir en masa la síntesis de biopolímeros compuestos con otros polímeros de origen vegetal, sujeto a que se realicen pruebas de biodegradabilidad y sea un potencial para poder impactar en el mercado y mitigar en parte el gran impacto ambiental negativo.

Mediante más se proyecten estudios enfocados en la síntesis de estos materiales avanzados, podría ser posible que puedan iniciar la fabricación o mejorar nuevos empaques biodegradables para diferentes productos de la industria, que pueda mitigar y reducir el impacto ambiental que ha generado la explotación del petróleo, la producción y envasado de productos plásticos de un solo uso; esto ayudaría a generar alternativas para el tratado y desecho de estos materiales que no son posibles con los derivados del petróleo. Es posible que ante la transición del plástico a polímeros biodegradables de origen natural, los pequeños y medianos productores agricultores tengan mayor importancia en la participación de la economía y desarrollo tecnológico ya que han sido rezagados, sobre todo cuando pequeñas localidades subsisten de esta actividad económica; en países como Italia y Francia donde las políticas públicas han apoyado y afianzado el reemplazo de plásticos convencionales, ha tenido que pasar por una transición de concientización social para poder hacer uso correcto de los nuevos productos que entraron al mercado para poder reemplazar y subsanar el daño que ha realizado el plástico; se ha marcado la prioridad de salvaguardar la integridad de los ecosistemas que han sido afectados severamente.

Finalmente se concluye que se extrajo aceite de la cáscara de la nuez de marañón con un procedimiento de extracción mecánica con un rendimiento por debajo del reportado en las extracciones químicas, pero la implicación es que este aceite no tendrá desechos ni riesgos para la salud al momento de extraerse; el ácido anacárdico y cardanol se extrajeron con un rendimiento por debajo del reportado en las investigaciones que proponen la metodología, esto es debido a posibles errores de cuantificación o procedimentales; las investigaciones actuales de estos productos indican que tienen potencial para la elaboración de biopolímeros biodegradables que puedan impactar en el mercado gracias a su estructura química, sobre todo los estudios del cardanol, pero hace falta más investigaciones en el área que pueda definir la biodegradabilidad y posibles usos en la vida cotidiana e industria; los estudios posteriores se enfocarán en la extracción en masa y uso de estos monómeros para la síntesis de polímeros compuestos con el objetivo de generar atracción al eje de estudio que permita a futuro la obtención de un polímero que impacten en la investigación, economía y sociedad, como ya han impactado otros polímeros de origen natural que son obtenidos de desechos agrícolas permitiendo generar un valor agregado a los productos y engranar el desarrollo de nuevos productos con los productores de materia prima del campo; esto permitiría que hayan nuevos biopolímeros en el mercado reemplazando más productos derivados del petróleo.



REFERENCIAS

- Aristizabal, J., y Sanchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Issn 1020-4334
- Arrieta, A., Gañán, F., Márquez, E., y Zuluaga, R. (2011). Electrically conductive bioplastics from cassava starch. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 22(6), 1170-1176.
- Bhunia, H., Jana, R., Basak, A., Lenka, S., y Nando, G. (1997). Synthesis of Polyurethane from Cashew Nut Shell Liquid (CNSL), a Renewable Resource. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*. 36, 391–400.
- Bustamante, B. (2012) La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*. 30(94), 67-86.
- Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación el impacto ambiental, Bilbao, Ediciones Mundi Prensa.
- Cereda, M., Henrique, C., Oliveira, M., Ferraz, M., y Vicentini, N. (2000). Characterization of Edible Films of Cassava Starch by Electron Microscopy. *Brazilian journal of food technology*. 3, 91-95.
- Da Silva, A., Da Silva, L., Camargo, I., Da Silva, D., Dos Santos, D., Vasconcelos, L., Almeida, O., y Mazzeto, S. (2016). Cardanol-based thermoset plastic reinforced by sponge gourd fibers (*Luffa cylindrica*). *Polímeros*, 26(1), 21-29.
- Ionescu, M., Wan, X., Bilié, N., y Petrovic, Z. (2012). Polyols and Rigid Polyurethane Foams from Cashew Nut Shell Liquid. *J Polym Environ*. 20, 647–658.
- Fiore, V., & Valenza, A. (2013). Epoxy resins as a matrix material in advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites. *Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications*, 88–121.
- Frias, A., Lema, I., y Gavilan, A. (2003). La Situación de los envases plásticos en México. *Gaceta ecológica*. 69, 67-82.
- Kumar, P., Paramashivappa, R., Vithayathil, P., Subba, P., y Srinivasa, A. (2002). Process for Isolation of Cardanol from Technical Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Nut Shell Liquid. *J. Agric. Food chem*. 50, 4705-4708.
- Leitaó, N., Prado, G., Veggi, P., Meireles, M. y Pereira, C. (2013). *Anacardium occidentale* L. leaves extraction via SFE: Global yields, extraction kinetics, mathematical modeling and economic evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*. 78, 114-123.
- Lubi, M. y Thachil, E. (2000). Cashew nut shell liquid (CNSL) – a versatile monomer for polymer synthesis. *Designed Monomers and Polymers*, 3(2),123–153.
- Machado, A., Oliveira, E., Santos, E., y Oliveira., A. (2010). Estudio del Secado de Anacardo (*Anacardium occidentale* L.) mediante Secador Solar de Radiación Directa. *Inf. tecnol*. 21 (1), 31-37.
- Morais, S., Silva, K., Araujo, S., Vieira, I., Alves, D., Fontenelle, R., ySilva, M. (2017). Anacardic Acid Constituents from Cashew Nut Shell Liquid: NMR Characterization and the Effect of Unsaturation on Its Biological Activities. *Journals Pharmaceuticals*. 10 (31), 1-10.
- Philip. J., Buchweishajja. J., Mkyula, L. Y Ye. L. (2007). Preparation of Molecularly Imprinted Polymers Using Anacardic Acid Monomers Derived from Cashew Nut Shell Liquid. *J. Agric. Food Chem*, 55, 8870–8876.
- Herrera, B., Vargas, C., Herrera, M., y Vega, J. (2019). Cardanol: una alternativa ecológica para potenciales aplicaciones en la industria de los polímeros. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 20(6), 262-278.
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad De Materiales Bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 22, (3), 69-72.
- Rwahwire, S., Tomkova, B., Periyasamy, A. P., & Kale, B. M. (2019). Green thermoset reinforced biocomposites. *Green Composites for Automotive Applications*, 61–80. doi:10.1016/b978-0-08-102177-4.00003-3
- Serrano, J. (2010). Polihidroxicanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. *Revista Teoría Y Praxis Investigativa*. 5 (2), 79-84.
- Silva, A., Rocha, L., Camargo, I., Silva, D., Dos Santos, D., Vasconcelos, O., Almeida, P., y Mazzetto, S. (2016). Cardanol-based thermoset plastic reinforced by sponge gourd fibers (*Luffa cylindrica*). *Polímeros*. 26(1), 21-19.
- The tyndall center for climate change research (2011), «Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts», Universidad de Manchester.
- Valencia, A. (2015). Los nuevos materiales y el ambiente. *Revista facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 58-70.
- Wazarkar K, Kathalewar M, Sabnis A. Anticorrosive and insulating properties of cardanol based anhydride curing agent for epoxy coatings. *Reactive and Functional Polymers*, 122, 148–157 (2018).
- Whistler, R., y Daniel, J. (1998). Starch. En K. Othmer(Editorial Limusa S.A. De C.V). *Encyclopedia of Chemical Technology*. (pp. 1-15). Mexico: Editorial Limusa S.A. De C.V



LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO DAS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA RESOLUÇÃO DO SUDOKU

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

BIBLIOGRAPHIC SURVEY OF IMAGE PROCESSING TECHNIQUES FOR SUDOKU RESOLUTION

JOÃO MARCOS DE ANDRADE , ME. WESLEY PEREIRA MARCOS

RESUMEN

Sudoku es un juego lógico y un problema matemático muy famoso que requiere ciertas rutinas de resolución. Cuando se utiliza un ordenador para resolverlo es necesario transponer el juego del papel al ordenador, donde el procesamiento de imágenes entra para realizar una tarea de este tipo. Así, el presente estudio tiene como objetivo estudiar la bibliografía sobre algoritmos para la resolución del juego con la ayuda del procesamiento de imágenes, además de realizar una ligera comparación entre los algoritmos más utilizados.

PALABRAS CLAVE: Sudoku, Procesamiento de imágenes, Sudoku Solver, Backtracking, Algoritmos

ABSTRACT

Sudoku is a logical game and a very famous mathematical problem which demands certain solving routines. When using a computer to solve it, it is necessary to transpose the paper game to the computer, where image processing enters to perform this task. Thus, the present study aims at a bibliographic survey on algorithms for solving the game with the aid of image processing, in addition to performing a slight comparison between the most used algorithms.

KEYWORDS: Sudoku, Image processing, Sudoku solver, Backtracking, Algorithms.

Sumario: 1. Introducción. 2. Método. 2.1. Imagen digital. 2.1.2. Muestreo y cuantificación de imágenes. 2.1.3. Representación de imágenes digitales. 2.1.4. Herramientas utilizadas en el procesamiento de imágenes. 2.2. Sudoku 2.2.2. Historia 2.2.3. Reglas del juego 2.2.4. Algoritmo de solución 2.3. Trabajos relacionados 3. Resultados. 4. Discusión y conclusiones. 5. Referencia bibliográfica.

Contents: 1. Introduction. 2. Method. 2.1. Digital image. 2.1.2. Image sampling and quantization. 2.1.3. Representation of digital images. 2.1.4. Tools used in image processing. 2.2. Sudoku 2.2.2. History 2.2.3. Rules of the game 2.2.4. Solution algorithm 2.3. Related works 3. Results. 4. Discussion and conclusions. 5. Bibliographic reference.

1 Estudiante del Curso de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil– joamarcos1@unipam.edu.br

2 Profesor, Departamento de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil– wesleypm@unipam.edu.br

1. INTRODUCCIÓN

La visión es el más avanzado de nuestros sentidos, por lo que no es de extrañar que las imágenes jueguen el papel más importante en la percepción humana. Sin embargo, a diferencia de las máquinas, que cubren casi todo el espectro electromagnético (EM), que van desde el rango hasta las ondas de radio, la visión humana se limita a la banda visual del espectro EM (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Las máquinas pueden operar en imágenes generadas por fuentes que los humanos no están acostumbrados a asociar imágenes. Esto incluye ultrasonido, microscopía electrónica e imágenes generadas por computadora. Así, el procesamiento de imágenes digitales abarca un amplio y variado campo de aplicaciones (GONZALEZ y WOODS, 2008).

El área de procesamiento de imágenes se ha desarrollado significativamente en las últimas décadas. Dado que el crecimiento se observa en el área académica, donde el tema es objeto de investigación, tesis y tesis en las universidades más importantes de Brasil y el mundo. Y con el tiempo aumentó el número de empresas que utilizan soluciones de procesamiento de imágenes en sus segmentos (NETO y FILHO, 1999). Una posible aplicación es para la resolución del sudoku de una manera computacional.

Sudoku es un rompecabezas donde el jugador necesita llenar los espacios vacíos de una cuadrícula de 9×9 con números del 1 al 9, con la condición de que cada dígito aparezca una sola vez, en todas las filas, columnas y regiones 3×3 , respetando un conjunto de espacios previamente llenos, llamados pistas (FELISBERTO et al, 2016).

Este artículo tiene como objetivo llevar a cabo una encuesta bibliográfica sobre el procesamiento de imágenes juntos de algoritmos de resolución de sudoku.

2. MÉTODO

Para entender el procesamiento de imágenes, primero hay que entender qué es una imagen, de qué está compuesta y similar. Como describe González y Woods (2018), una imagen se puede definir como una función bidimensional $f(x,y)$, donde x e y son las coordenadas del plano, y la amplitud de 'f', en cualquier coordenadas que se llame el nivel gris en el punto dado. Es decir, cuando los valores de 'x', 'y' y 'f' son finitos y en cantidades discretas, la imagen se llama como imagen digital.

2.1 Imagen digital

Una imagen digital es una herramienta útil para los estudios, ya que puede ser la imagen de un espectro que el ser humano no es capaz de visualizar, como fuentes ultrasónicas y electrones microscópicos. Con este procesamiento de imágenes nos proporciona varias aplicaciones en diferentes campos de la ciencia (GONZALEZ E WOODS, 2008). Como afirman Solomon y Breckon (2010), el campo del procesamiento de imágenes digitales se refiere al procesamiento de imágenes digitales por un ordenador digital. El procesamiento digital de imágenes implica procesos, cuyos inputs y salidas son imágenes y, además,

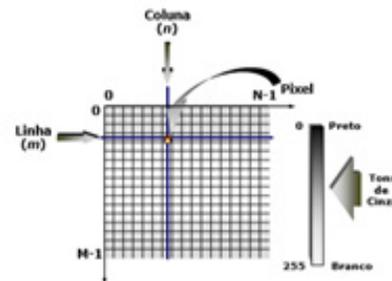
implica procesos de extracción de atributos de imagen e incluso el reconocimiento de objetos individuales, como describe González y Woods (2008).

El interés en los métodos de procesamiento de imágenes proviene de dos áreas de aplicación principales. La mejora de la información visual para la interpretación humana y el procesamiento de datos de imágenes para almacenamiento, transmisión y representación, considerando la percepción automática por máquinas, como menciona Gonzalez et al (2003).

Queiroz y Gomes (2006) dicen que “debido a que las computadoras no son capaces de procesar imágenes continuas, sino sólo matrices de números digitales, es necesario representar las imágenes como arreglos bidimensionales de puntos”. Por lo tanto, cada elemento que da como resultado la imagen digital se denomina píxel

(Figura.1).

Figura 1- Representación de una imagen bidimensional.



Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

Como se puede ver en la Figura 1, es una matriz común para localizar un píxel en una imagen. Se puede señalar “[...] el sentido de lectura (escaneo) y la convención generalmente adoptada en la representación espacial de una imagen digital.” (QUEIROZ y GOMES, 2006).

González y Madera (2002) complementa al decir que la descomposición de la intensidad luminosa (Figura 1) en el punto (x,y) en: (i) componente de iluminación, $i(x,y)$, que se entiende por la cantidad de luz incidente en el punto; y el componente de reflectancia, $r(x,y)$, que se refiere a la luz reflejada por el punto. El Producto de $i(x,y)$ y $r(x,y)$ resultando en:

$$f(x,y)=i(x,y)*r(x,y) \quad (1)$$

Dónde, y , depender de los matices de la fuente de iluminación, ya depende de las propiedades de las superficies de los objetos. $0 < i(x,y) < \infty$ $0 < r(x,y) < 1$ $i(x,y)r(x,y)$

Un elemento importante en la creación de una imagen es el color, y los ordenadores utilizan el sistema RGB (rojo-verde-azul) en el procesamiento, donde se controla la intensidad de los colores primarios (SPECHT et al, 2013). Según González y Woods (2003) y González et al (2004), en el sistema RGB, el valor (0.0.0) corresponde al color negro, absorción total, lo que significa que es la intensidad cero en los tres componentes, y el valor (255.255.255) indica el color blanco, la reflexión total.

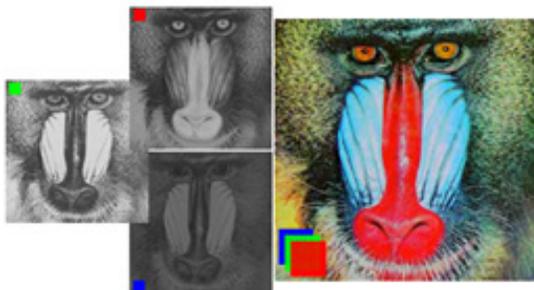
Según Queiroz y Gomes (2006), una imagen digital a color en el sistema RGB, las intensidades de los colores rojo, verde y azul son componentes vectoriales que son lo que llamamos el píxel. Así, la combinación de tres imágenes monocromáticas que forman la imagen en color que se puede ver:

$$f(x,y) = fR(x,y) + fG(x,y) + fB(x,y) \quad (2)$$

Donde, representan las intensidades de luz de los tres componentes primarios. en un momento dado.

$fR(x,y)$, $fG(x,y)$ e $fB(x,y)$

Figura 2 - Representación de una imagen digital bidimensional.



Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

La Figura 2 muestra los planos monocromos de una imagen y el resultado de la composición de los tres planos. Los mismos conceptos formulados para una imagen digital monocroma se aplican a cada plano de una imagen a color (GONZALEZ y WOODS, 2002).

2.1.2 Muestreo y cuantificación de imágenes

Mediante varios métodos se puede obtener una imagen, pero para realizar el procesamiento y almacenamiento de imágenes digitales en un ordenador es necesario realizar su discretización a niveles de coordenadas espaciales y brillo, donde la discretización de las coordenadas espaciales y el brillo se denominan respectivamente muestreo y cuantificación (GONZALEZ y WOODS, 2002).

Queiroz y Gomes (2006) describen que normalmente ambos procedimientos son uniformes, lo que implica el muestreo de la imagen $f(x,y)$ en puntos equidistantes y cuya forma es una matriz $M \times N$, donde cada elemento es una aproximación del nivel gris en el punto muestreado de la imagen a un valor en el conjunto $0, 1, \dots, L-1$, como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3 - Representación de la matriz $M \times N$.

$$F \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M,0) & f(M,1) & \dots & f(M, N-1) \end{bmatrix}$$

Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

Asociar el límite inferior (0) del rango de nivel de gris de un píxel, por lo tanto, el color negro y el límite superior (L-1) al blanco. Así, los píxeles que están entre 0 y L-1 presentaron diferentes tonos de gris donde más cerca de cero más oscuro estará la sombra (GONZALEZ y WOODS, 2002).

Las características de la imagen, sus dimensiones y la complejidad de los objetivos contenidos en ella, en cuanto a la aplicación a la que está destinada, pueden proporcionar el número de muestras y niveles de gris necesarios para la representación de la imagen digital de calidad adecuada. (QUEIROZ y GOMES, 2006). Figura 4 de (A) a (D) este concepto se ejemplifica.

Figura 4 – Influencia de la variación del número de muestras y niveles de cuantificación en la calidad de una imagen digital: (A) 200 x 200 píxeles / 256 niveles; (B) 100 x 100 píxeles / 256 niveles; (C) 25 x 25 píxeles / 256 niveles; y (D) 200 x 200 píxeles / 2 niveles.



Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

Al obtener una imagen de calidad de televisión, se necesitan 512 x 512 píxeles y 128 niveles de gris. La cantidad de niveles de ceniza considerados suficientes para la visión humana es de 64 niveles. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de visión artificial utilizan imágenes con 256 niveles de ceniza (FILHO y NETO, 1999).

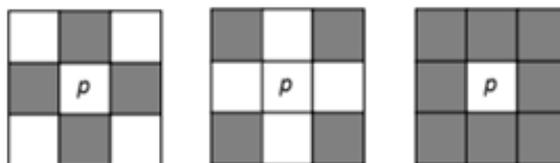
2.1.3 Representación de imágenes digitales

Como se describe en el artículo anterior, González y Woods (2018) describen una imagen como una función de $f(x,y)$, es decir, una función bidimensional. Por lo tanto, hay a su vez una relación entre los píxeles de una imagen digital que puede influir en su procesamiento. Como factores de vecindad, adyacencia, conectividad, distancia, regiones y fronteras.

El factor de vecindad de un píxel es ejemplificado por Filho y Neto (1999) como, los píxeles que están directamente al lado del píxel $p(x,y)$, es decir, el píxel p presenta 4 vecinos, siendo 2 horizontales y 2 verticales que las coordenadas son: $(x+1,y)$, $(x-1,y)$, $(x,y-1)$ y $(x,y+1)$.

Estos píxeles son el '4-vecindario' del píxel 'p' mencionado anteriormente, el conjunto. Sin embargo, los píxeles que se encuentran en la diagonal del píxel 'p', los que se encuentran en las coordenadas: $(x+1,y+1)$, $(x+1,y-1)$, $(x-1,y+1)$ y $(x-1,y-1)$ constituyen una vecindad junto a la '4-vecindario', que se llama '8-neighborhood', o bien el conjunto. González y Madera (2008) añade que a veces algunos puntos de este barrio no existirán porque el píxel 'p' está situado en el borde de la imagen digital. Como se puede ver en la Figura 5.

Figura 5 - Representación gráfica de 4-vecindad, vecindad diagonal y 8-vecindad, respectivamente.



Fuente: Filho e Neto, 1999.

El factor de adyacencia es considerado por González y Woods (2008) como 3 tipos, '4-adyacencia', '8-adyacencia' y 'm-adyacencia' (adyacencia mixta). Cuando hacer tal distinción es necesario considerar 'V' siendo este el valor de intensidad utilizado para definir la adyacencia entre píxeles.

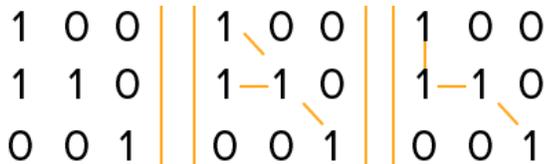
Por ejemplo, puede utilizar una imagen binaria en la que el valor de V - {1}, si hace referencia a la adyacencia del valor 1 entre píxeles. En una escala de grises, se sigue el mismo razonamiento, y 'V' presentará una mayor variedad de valores (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Teniendo en cuenta dos píxeles 'p' y 'q', que se someterán a una comprobación de adyacencia, donde si ambos con valores contenidos en 'V' serán '4-adyacentes' si 'q' pertenece a. Lo mismo ocurre con '8-adyacencia' tanto con los valores contenidos en 'V' como si 'q' pertenece a.

Sin embargo, la adyacencia mixta o 'm-adyacencia' como los otros dos tipos requieren que 'p' y 'q' tengan valores contenidos en 'V' y 'q' para pertenecer, pero también 'q' puede pertenecer a y el conjunto de ningún valor que pertenezca a 'V' (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Analizar un subconjunto de píxeles de una imagen donde los píxeles 'p' y 'q' se dirán como conectados en la condición de una "ruta" de píxeles adyacentes que pertenecen al mismo subconjunto existen entre ellos (FIGURA 6). Cuando cualquier píxel de un subconjunto de píxeles conectados se denomina componente conectado, incluso si solo hay un componente conectado, el conjunto seguirá denominado conjunto conectado (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Figura 6 –Representación de matriz de una imagen binaria,'8-adyacencia' del píxel central y 'adyacencia m' del píxel central respectivamente.

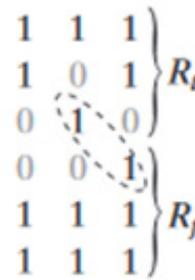


Fuente: Totalmente generado por el autor,2020.

Llamarlo 'R' como un subconjunto de píxeles de una imagen. Donde este subconjunto es un conjunto conectado se llamará una región. Un ejemplo utilizado por González y Woods (2008), se considera dos regiones y se dice como adyacente, además de su unión forma un conjunto conectado.

Las regiones que no son adyacentes se denominan desarticuladas. Cuando se trata de regiones se considera la 'adyacencia 4' y '8-adyacencia' (Figura 7), donde dar sentido lógico se debe especificar el tipo de adyacencia que se utilizará. Como se ve en el cuadro 6, si se utiliza en '4-adyacencia' las dos regiones no están conectadas porque no hay trayecto válido.

Figura 7 -Dos regiones donde se utilizó la adyacencia 8 en relación con los píxeles 1.



Fuente: González y Woods, 2008.

Teniendo en cuenta una región donde prevalece la mayoría de los píxeles del mismo valor, que tienen una "conectividad 4", es posible observar la existencia de dos tipos de píxeles dependiendo de su ubicación. Donde los píxeles que tienen una "conectividad 4" completa se denominan la línea inferior o de fondo y los píxeles que no tienen esta característica se denominan la línea de frente (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Figura 8 –Píxel de Linha de fundo ou plano de fundo



Fuente: González y Woods, 2008.

Como se muestra en la Figura 8, se puede observar la ubicación de un borde, es decir, la delimitación de un área de píxeles comunes entre sí. Los píxeles que están en el borde de esta área son los píxeles del borde o también como se describió anteriormente son los píxeles de primera línea.

Para las mediciones de distancia de píxeles, descritas por Filho y Neto (1999) si los píxeles p, q y z se estipulan respectivamente en coordenadas (x, y), (s, t) y (u, v). La función de distancia D se puede establecer siguiendo las siguientes propiedades:

- $D(p, q) \geq 0$ (si y sólo si);
 $D(p, q) = 0 \iff p = q$
- $D(p, q) = D(q, p)$;
- $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$;

Filho y Neto (1999) también mencionan las distancias euclidianas, las distancias D4 y las distancias D8. La distancia euclidiana se refiere al radio entre los dos puntos. La distancia D4 también conocida como City-Block es una forma centrada en píxeles de rand (x,y). La Distancia D8 llama al tablero de ajedrez generar la forma de un cuadrado centrado en el píxel

(x,y).

2.1.4 Herramientas utilizadas en el procesamiento de imágenes

Una herramienta importante en el procesamiento de imágenes es el filtrado, que se utiliza normalmente para el filtrado espacial y el filtrado de dominio de frecuencia. Donde el método espacial funciona con convoluciones de máscaras directamente en la matriz de píxeles, la imagen digital. El método de dominio de frecuencia, a su vez, utiliza la transformación de Fourier que se va a realizar (FILHO y NETO, 1999).

Según Russel y Norvig (2004), convertir las características de una imagen en un modelo de objetos conocidos es un proceso conocido como reconocimiento de objetos. Donde consta de tres pasos: segmentación de la imagen en objetos distintos, la posición y orientación de cada objeto en el punto de vista del observador y la forma especificada de cada objeto. El reconocimiento es el paso que clasifica los objetos encontrados, teniendo en cuenta un conjunto de conocimientos previamente establecidos.

2.2 Sudoku

Siendo uno de los juegos de números más populares desde el año 2005. el sudoku. que en la traducción literal es “número en su lugar”, para su resolución se utiliza combinaciones lógicas de prueba y error (CHEN et al, 2016).

2.2.2 Histórico

En 1780, Euler demostró la idea de organizar un conjunto particular de números para que cualquier número (o símbolo) se produzca una sola vez en cada fila o columna. Las Reglas del Sudoku han sido propuestas actualmente por Howard Garns, y la expansión de la restricción de Euler es válida para las regiones 3x3 (PAL et al, 2018). Un ejemplo de juego se muestra en la Figura 9.

Figura 9 – Un juego de Sudoku (a) y su solución(b).

		1						9	6	
		7						2	4	1
9	4		6	1	8					
				5	7					
	1	6	3	4						
				6				1		
1	9	5			6	4			7	
7	8									
2	3		7	1	9	8	5			

a

3	5	1	7	2	4	8	9	6
8	6	7	5	9	3	2	4	1
9	4	2	6	1	8	7	5	3
4	3	8	1	5	7	6	2	9
2	1	6	3	4	9	5	7	8
5	7	9	8	6	2	3	1	4
1	9	5	2	8	6	4	3	7
7	8	4	9	3	5	1	6	2
6	2	3	4	7	1	9	8	5

b

Fuente: Autoral generado por el generador de sudoku,2020.

En 1984, Maki Kaji publicó el juego en la revista Nikoli una revista de rompecabezas, donde le dio al juego su nombre moderno de sudoku. La versión estándar del juego se reduce a una mesa de 9x9 que cuenta con 81 espacios y 3x3 regiones. Todo sudoku comienza con algunos espacios ya llenos, y teniendo el objetivo de llenar los 81 espacios siguiendo ciertas reglas (RAOUF et al, 2014).

2.2.3 Reglas del juego

Como afirman Deshmukh et al (2016), el sudoku es un

rompecabezas combinatorio basado en la lógica 9X9. El rompecabezas proporciona una cuadrícula parcialmente completada, que normalmente tiene una única solución. Un Sudoku completamente lleno satisface la propiedad de que cada una de las nueve cuadrículas 3X3 de Sudoku contiene cada número del 1 al 9 exactamente una vez. Para la resolución del sudoku es necesario seguir tres reglas según Raouf et al (2014), que son:

- En cada línea debe contener los números 1 a 9 de manera diferente, es decir, los números no deben repetirse en la misma línea, como se muestra en la figura 10:

Figura 10 -Ejemplo de fila resuelta.

3	5	1	7	2	4	8	9	6
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

- En cada columna debe contener los números del 1 al 9 de manera diferente, es decir, los números no deben repetirse en la misma línea, como se muestra en la Figura 11:

Figura 11 - Ejemplo de columna resuelto.

3
8
9
4
2
5
1
7
6

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

- En cada región 3x3 debe contener los números 1 a 9 de manera diferente, es decir, los números no deben repetirse en la misma línea, como se muestra en la figura 12:

Figura 12 - Ejemplo de región resuelta.

3	5	1
8	6	7
9	4	2

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

El juego es atractivo en la opinión de Godinho (2008), porque las reglas son simples, pero el razonamiento necesario para lograr la solución puede ser complejo. Godinho (2008) incluso dice que “Sudoku es recomendado por algunos educadores como un ejercicio para el pensamiento lógico. El nivel de dificultad se puede seleccionar de acuerdo con el público para el que está destinado.”

2.2.4 Algoritmo de solución

Chen et al (2016) describen que el sudoku puede considerarse un problema de satisfacción de las restricciones, es decir, un PSR. Sudoku es entonces un PSR con 81 variables y cada espacio de tabla ocupa una sola variable, y solo los dígitos 1 a 9 son válidos para cada variable.

Las variables se pueden nombrar siguiendo la siguiente definición, observando la primera línea de izquierda a derecha si tiene A1 a A9, mientras que cuando mira las columnas que ha seguido la dirección de arriba hacia abajo tenemos las variables de A1 a I1 como se muestra en la Figura 12.

Figura 12 - Ejemplo de la orientación de las variables como PSR.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A			3		2	6			
B	9			3		5			1
C			1	8		6	4		
D			8	1		2	9		
E	7								8
F			6	7		8	2		
G			2	6		9	5		
H	8			2		3			9
I			5		1		3		

Fonte: CHEN et al, 2016.

Un algoritmo utilizado para resolver problemas de satisfacción de restricciones es el backtracking. El algoritmo selecciona el primer espacio vacío, le asigna un dígito y comprueba si hay conflictos. Si no tiene el proceso se repite en el segundo espacio, sin embargo, si el conflicto se produce se asignará otro dígito (CHEN et al, 2016).

La idea básica de backtracking es que si no hay ningún conflicto en el espacio actual asigna un valor al espacio siguiente, si no es posible vuelve al espacio anterior y le reasigna un dígito distinto. Este es el proceso conocido como retroceso (CHEN et al, 2016).

2.3 Trabajos relacionados

Algunos algoritmos de solución para Sudoku han sido implementados por diferentes autores. A continuación, se presentaron brevemente diferentes soluciones.

Según Weyland (2015), cuando se utiliza la búsqueda armónica (HS), implica que su uso por sí mismo no ofrece ninguna novedad. El uso del algoritmo se pega al rendimiento que se puede obtener con una evolución de las estrategias y que incluso después de años de investigación no ofrecía resultados significativos.

Según Raouf et al (2014), con el método híbrido del algoritmo de polinización con la investigación de la armonía caótica (FPCHS). Raouf et al obtuvieron un resultado numérico más preciso y preciso en comparación con el uso de un método básico de búsqueda armónica.

El algoritmo híbrido cuántico-clásico fue implementado por Pal et al (2018) para la resolución sudoku de regiones 4x4 incompletas, que resultó ser un método exponencialmente más rápido.

Chen et al (2016) llevaron a cabo un estudio con backtracking algoritmos y algoritmos de enlace de baile (algoritmo x) donde resultó más lento debido a la falta de una base de datos anterior, pero resultó más eficiente en sudokus más complejos. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los métodos empleados por los autores antes mencionados:

Tabla 1 - Algoritmos utilizados por otros autores.

Autor	Año	Algoritmo utilizado	Observes
Weyland	2015	Hs	Resultó ineficiente
Raouf et al	2014	FPCHS	Es más preciso y preciso que el HS
Pal et al	2018	híbrido cuántico-clásico	Es más rápido en sudokus 4x4
Chen et al	2016	Algoritmo x	Es más eficiente en sudokus complejos

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

3. RESULTADOS

Al realizar investigaciones sobre los algoritmos de solución para el sudoku, se encontraron las soluciones más diversas con diferentes grados de complejidad para la resolución computacional de un juego tan famoso que es sudoku.

Como se ve en el trabajo de Felisberto (2016) donde hizo un trabajo detallado sobre la ejecución de la construcción de un robot solver de sudoku donde durante su artículo el mismo consideró el uso de algoritmos de solución como Backtracking, Dance Links y Ruled based. Cuando al final se decide el uso del retroceso con la ayuda de algunos dispositivos como las técnicas de valores mínimos restantes (MVR) y comprobación directa (FC).

Sin embargo, debido a que no hay profundidad en relación con el rendimiento de la solución no se puede comparar con los otros estudios para no presentar datos de comparación, pero es extremadamente detallado en su ejecución.

El trabajo de Kamal et al (2015) compara tres tipos de algoritmos que son Backtracking, Simulated Annealing y Genetic Algorithm. Cuando los resultados obtenidos de su trabajo apuntan a una mayor eficiencia del algoritmo de retroceso en relación con el otro, principalmente en relación con el sudoku de mayores grados de complejidad, donde el tiempo de resolución es considerablemente más corto en comparación con el algoritmo genético y ligeramente inferior al de recocido simulado simulado.

Al igual que en el trabajo de Kamal et al (2015) donde los otros algoritmos estudiados tuvieron un rendimiento inferior al retroceso, otro artículo que demuestra resultados de comparación es el trabajo de Berggren y Nilsson (2012) donde el retroceso fue el segundo algoritmo más eficiente. sin embargo, no fue capaz de resolver aproximadamente 2.3% de los puzzles probados. mientras que los otros algoritmos

probados como el gobernado base fue el algoritmo probado más rápido además de haber logrado resolver todos los puzzles. El tercer algoritmo visto fue el solver de la máquina boltzmann que no funcionaba tan bien como los otros donde tenía que tener 46 pistas para tener ejecuciones razonables siendo que era incapaz de resolver el 2,5% de los puzzles.

El estudio de Job y Paul (2016) se llevó a cabo con el objetivo del algoritmo de retroceso, donde se probaron 30 rompecabezas divididos en el número de pistas, de 17 a 22 pistas. El resultado fue un tiempo medio de resolución del rompecabezas de 20.365 segundos, con los puzzles con más pistas teniendo un tiempo más corto en comparación con los puzzles de menos pistas de 3.24 segundos. Otro trabajo que también tuvo resultados similares fue el artículo de Majumder et al (2010), y la plataforma utilizada para resolver puzzles fue en entorno java donde tenía resultados en comparación con otro software un tiempo de resolución de 20 milisegundos.

Schottlander (2014) llevó a cabo un experimento en el que utilizó dos enfoques distintos utilizando el algoritmo de retroceso, que son opciones ordenadas y desordenadas. Incluso si el enfoque tiene el potencial de resolver los puzzles más rápidamente se observó lo contrario, especialmente en juegos con menos pistas, sin embargo en juegos con mayor número de pistas el rendimiento era prácticamente el mismo. Un trabajo que realizó pruebas de comparación entre algoritmos de fuerza bruta, Deliberación simulada. Algoritmo Genético, Búsqueda de Armonía y Referencia de Gráficos fue realizada por Chatterjee et al (2014). Se obtuvo como resultado que el algoritmo de mayor velocidad era la referencia de gráficos, haciendo una fuerza bruta bien emparejada, con algunos casos siendo más rápido. También se notó que la búsqueda de Harmony tenía la peor velocidad llegando a los casos de 100 segundos para resolver un rompecabezas.

El artículo de Bunma y Chongstitvatana (2010) muestra que el algoritmo genético tiene una buena tasa de éxito, y en su estudio sólo no pudo resolver los problemas considerados de nivel extremo. Mientras que los otros niveles de dificultad tenían una tasa de solución del 100%.

Chi y Lange (2012) realizaron estudios de los algoritmos de retroceso y recocido simulado, así como de proyecciones alternativas. Es notable que el rendimiento más eficiente y rápido fue el de retroceso en rompecabezas aplicados donde la tasa de éxito fue de 1.0 y la resolución media de 0.008 segundos con casos de rompecabezas más complicados que alcanzan hasta el tiempo de 0.031 segundos para la resolución. Mientras que en estos mismos casos simulado recocido alcanzó 7.2 segundos y Proyecciones Alternativas 0.5 segundos. y ambos no tenían una alta tasa de resolución siendo un promedio de 0,75 y 0,72 respectivamente.

Se ve que el algoritmo de retroceso es más rápido que la Fuerza Bruta según Eremic et al (2013). Donde esa comparación se realizó usando rompecabezas con diferentes cantidades de pistas siendo 36 para fácil, 32 para el medio y 28 para duro. El algoritmo de retroceso completó los puzzles a 6 ms, 42 ms y 46 ms, mientras que la fuerza bruta tomó más de 90 minutos en todas las dificultades.

En 2015 Sabuncu desarrolló un algoritmo para resolver rompecabezas sudoku que fue llamado el algoritmo híbrido de optimización de colonias de hormigas. Este algoritmo desarrollado es un híbrido de algoritmo de colonia de hormigas y métodos analíticos de solución sudoku. Sus pruebas en su algoritmo de rompecabezas considerado difícil fue que es capaz de resolverlo en menos de 2 segundos.

Wang et al(2015) en su trabajo utilizaron el Algoritmo Genético con una diferencia porque aplicaron un método de Mutaciones Filtradas donde el uso de las reglas de rompecabezas que se aplican después de que los candidatos elegibles de cada celda son elegidos por el algoritmo convencional aplicando así el número más cohesivo a la solución en lugar de elegir aleatoriamente entre los elegibles. Con este método logró una mejora en la tasa de éxito del algoritmo de 4.167% a 65.52% en rompecabezas de mayor dificultad.

El algoritmo aplicado por Zhai y Zhang (2013) conocido como Entropía de Información Personalizada donde sus resultados fueron muy positivos. En su trabajo se hace la comparación con el algoritmo genético donde tanto en la tasa de éxito y la velocidad el algoritmo de la entropía de información fue más eficaz principalmente en rompecabezas más complejos y el tiempo medio de resolución es de 5,3 ms, mientras que el algoritmo genético pasó 14 segundos con una tasa de éxito de 0,9 y 0,7.

Borges et al (2016) aplicaron el método de tinción de gráficos para la resolución de sudoku. Para su artículo desarrollaron dos algoritmos donde el algoritmo llamado como algorithm2 tuvo el mejor rendimiento siendo la resolución de problemas de sudoku 9x9 en menos de 0.02 segundos, pero también realizó pruebas en rompecabezas con cuadrículas más grandes como 25x25 donde tenía un tiempo de resolución de 46.33 segundos.

En 2009, Pacurib et al llevaron a cabo el estudio de la solución con el algoritmo llamado Colonia De abeja artificial, sus resultados no fueron muy expresivos en relación con la velocidad de resolución de los puzzles donde aproximadamente 4, 12, 176 segundos se gastaron en puzzles considerados fáciles, medios y difíciles respectivamente.

Almog (2009) llevó a cabo un estudio comparando el rendimiento de tres algoritmos que son: Quantum Simulated Annealing (QSA), Algoritmo Genético Cultural y un algoritmo híbrido entre ellos, el QSA fue el que obtuvo el mejor éxito y tasa de rendimiento resolviendo el 64% de los puzzles como un promedio de 40 segundos.

Gunther y Moon (2014) utilizaron un algoritmo de minimización de Entropía en 2012 para resolver más de 4000 rompecabezas de sudoku donde se dividieron por igual en fáciles, medios, difíciles y malvados. El algoritmo tuvo buenos resultados y la estrategia fue nombrada Como C, obtuvo rendimientos en cada nivel respectivamente de 0.1; 0.13; 0.22 y 0.29 segundos siendo incapaz de resolver sólo 2 rompecabezas de nivel maligno.

Mantere en 2008 probó el uso de Algoritmo Cultural para la solución sudoku. Sus resultados muestran que dicho algoritmo presenta un rendimiento ligeramente más eficiente en comparación con el algoritmo genético.

En 2006 Mantere llevó a cabo un trabajo utilizando algoritmo genético, donde dice que el algoritmo genético de una manera pura, es decir, sin ninguna regla específica del problema para el sudoku no es muy eficiente en la resolución de los puzzles, pero son solucionables.

El estudio de Sato e Inoue (2010) utilizó algoritmo genético y realizó algunos cambios, como el uso de una función de búsqueda local entre otros métodos que resultaron en una mejora significativa en el rendimiento del algoritmo. Lim et al (2015) también realizaron la prueba de comparación de su algoritmo genético de par monógamo con el algoritmo Sato e Inoue donde se realizó de manera similar y una diferencia

del 1% en la tasa de éxito.

Soto et al(2014) realizaron un estudio de comparación entre los algoritmos AC3 en dos métodos, siendo Tabu Search y Cuckoo Search with the Genetic Algorithm, donde demostraron que los métodos AC3 tenían el uso del 100% en la resolución de rompecabezas con la limitación de sólo cien mil interacciones mientras que el Algoritmo Genético tenía sólo un 6.6% de utilización de los puzzles con esta limitación. También se realizó sin el límite de interacciones y todos los algoritmos tenían una utilización del 100%.

En 2015, Soto et al demostraron en un artículo el funcionamiento del algoritmo AC3 con la adición de técnicas de filtrado, que resultaron ser muy útiles para facilitar el proceso de resolución del rompecabezas. También en 2015 Soto et al realizaron una comparación del algoritmo basado en el teorema del matrimonio con AC3 de su estudio anterior, donde se observó que obtuvo un rendimiento similar.

Harrysson y Laestander (2014) escribieron que el algoritmo Dance Links resuelve el rompecabezas de manera eficiente. El algoritmo basado en Ant Colony Optimization propuesto por Lloyd y Amos (2019), donde el algoritmo demuestra un rendimiento más eficiente en problemas más difíciles que algoritmos como Backtracking y Dance Links tanto en tiempo de resolución como en tasa de éxito;

La conclusión que Weiss (2009) tuvo en la realización de su trabajo en algoritmo genético para la solución Sudoku, es que el algoritmo realiza la función mal en comparación con backtracking, al menos en rompecabezas de cuadrícula 9x9. Como a veces es necesario que el proceso se reinicie para lograr el resultado, porque ocurre que el algoritmo se atasca, incapaz de alcanzar la solución, que se presenta para ser un problema de optimización para el uso que se impone.

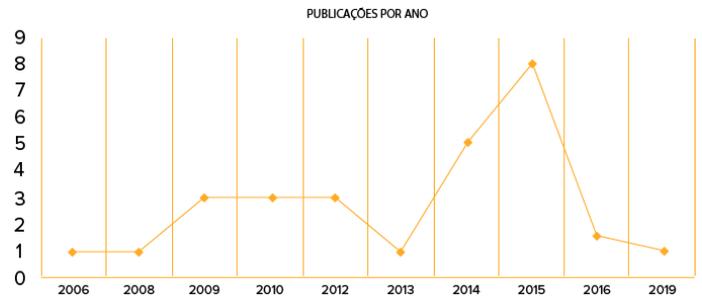
Lindberg y Steier (2015) propusieron el uso de un algoritmo híbrido de búsqueda AC3 y Taboo. Los autores describieron que tal algoritmo no es apropiado para la resolución del rompecabezas, porque en comparación con el método Fuerza bruta el algoritmo realizado más bajo, ya sea la tasa de éxito o el tiempo de resolución del rompecabezas. También describen que no creen que la optimización del algoritmo sea posible.

Coelho y Laporte (2014) expresan en su artículo que el algoritmo de retroceso tiene una mejora de la eficiencia cuando se basa en criterios heurísticos. También demuestra que el algoritmo Backtracking with Heuristics presenta una constancia en el tiempo de resolución independientemente del número de pistas, con una ligera variación en los tiempos de solución.

Borges et al (2016) aplicaron el método de tinción de gráficos para la resolución de sudoku. Para su artículo desarrollaron dos algoritmos donde el algoritmo llamado como algorithm2 tuvo el mejor rendimiento siendo la resolución de problemas de sudoku 9x9 en menos de 0.02 segundos, pero también realizó pruebas en rompecabezas con cuadrículas más grandes como 25x25 donde tenía un tiempo de resolución de 46.33 segundos.

Después de leer los artículos fue posible recopilar cierta información, es posible notar que las publicaciones vistas comenzaron en 2006.é visible que en 2015 tuvo un aumento en el número de publicaciones relacionadas con el tema como se ve en el gráfico 1.

Figura 1 - Publicaciones relacionadas con el tema cada año.



Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

La Tabla 2 muestra los algoritmos más frecuentes en las publicaciones, y desde 2010, la mayoría de los artículos vistos utilizaban retroceso para sus estudios.

Tabla 2 - Publicaciones y algoritmos más cubiertos por el período.

Período	Quiantidade	Técnica mais frequente
2004-2010	5	Algoritmo genético
2010-2015	12	Retroceso
2015-corriente	11	Retroceso

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

En este período tuvo varios estudios utilizando los enfoques más diferentes. Se demuestra en la tabla que los algoritmos más abordados fueron los algoritmos de retroceso, algoritmo genético y el recocido simulado.

Tabla 3 - Número de veces que el algoritmo fue abordado o citado.

Técnica utilizada	Cantidad
Retroceso	13
Algoritmo genético	11
Anconte simulado	4

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

A partir de los estudios que proporcionaron datos de comparación de los algoritmos mencionados anteriormente, como el tiempo de ejecución y la tasa de éxito, disponibles en la Figura 13. Sin embargo, no es posible hacer una comparación directa entre los métodos aplicados, porque los estudios se realizaron en diferentes plataformas y máquinas.

Figura 13 - Datos sobre la eficiencia y la tasa de éxito de los algoritmos.

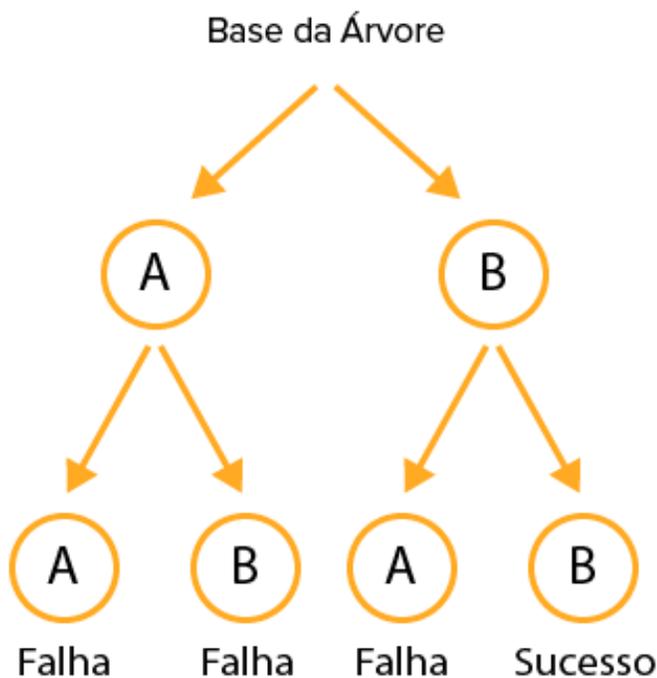
	Almog (2009)		Chi e Lange (2012)		Chatterje et al (2014)		Kamal et al (2015)	
	Taxa de sucesso	Tiempo de execução (s)	Taxa de sucesso	Tiempo de execução (s)	Taxa de sucesso	Tiempo de execução (s)	Taxa de sucesso	Tiempo de execução Log (s)
Backtracking / Brute force	xxx	xxx	1	0,008	xxx	0,051733	xxx	0,1
Genetic Algorithm	0,13	75,75	xxx	xxx	xxx	3,883	xxx	5000
Simulated Annealing	0,64	40,2	0,97	0,753	xxx	0,526667	xxx	5
Obs:	xxx		Dados: métrica do nível Hard		Taxa de sucesso definida como 1		Dados: Puzzle com 25 dicas	

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

Se puede tomar de la figura 13 mostrada anteriormente, que el algoritmo de retroceso funciona bien como una buena tasa de éxito. Es notable que de los algoritmos más abordados tiene un rendimiento ligeramente superior en comparación con el Annealing Simulado y ambos tienen una gran disparidad en comparación con el Algoritmo Genético.

El algoritmo de retroceso, aunque es un algoritmo de baja complejidad en relación con el otro, funciona bien. El retroceso se comporta como se expresa en la Figura 14.

Figura 14 - Ejemplo de la operación de retroceso.



Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

La lógica de funcionamiento de retroceso es bastante simple, donde el algoritmo establece una ruta de operación que seguirá a las decisiones tomadas hasta que se produzca un error o conflicto con las reglas estipuladas. Si se produce este error, el algoritmo devuelve un paso anterior de la causa del conflicto e intenta una nueva rama del árbol de decisión, siguiendo así la resolución que se considera adecuada. Como se muestra en la figura 14.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se ve en este artículo, donde se demostró la parte teórica sobre el procesamiento de imágenes y cómo esta técnica se puede aplicar al escaneo de rompecabezas Sudoku. Se presentan varios algoritmos, que complementan la técnica de procesamiento de imágenes con el fin de obtener el resultado del rompecabezas deseado.

Varios de los algoritmos vistos en este artículo tienen una gran tasa de éxito, así como un tiempo de ejecución bajo. Entre los algoritmos que se ajustan a esta descripción, el algoritmo BackTracking fue resaltado por su baja complejidad y a su vez fácil comprensión, donde no tiene una tasa de éxito perfecta. es ideal para aplicaciones y modificaciones de la misma, como se ve en el trabajo de Felisberto (2016). Lo que construyó un robot solver Sudoku que no requería algoritmos más complejos para lograr el resultado esperado.

Sudoku es un hermoso desafío matemático, que permite su uso para pruebas y desarrollo de algoritmos capaces de resolverlo con éxito. Un algoritmo que mostró avances significativos fue el algoritmo genético a partir de nuevos enfoques como Sato e Inoue (2010).

Un contratiempo observado en el estudio bibliográfico fue la falta de estandarización de los puzzles utilizados en las pruebas. Donde en cada publicación a menudo utilizaban diferentes rompecabezas y también los clasificaban por diferentes niveles de dificultad. Esta práctica impide una comparación más objetiva de las interpretaciones obtenidas en cada publicación. Dado que para un desarrollo más claro y comparaciones más objetivas del trabajo futuro se recomienda estandarizar los puzzles utilizados en las pruebas o simplemente la adición de ellos en apéndices para que los futuros investigadores puedan utilizar los mismos puzzles.



REFERENCIAS



- A. Deshmukh, A. Nagraj, M. A. Radke, (2016). SudoKrypt: A Novel Sudoku based Symmetric Encryption Scheme. *Journal of Network and Information Security* Volume, 4(2).
- A. Majumder, A. Kumar, N. Das, N. Chakraborty, (2010). The game of Sudoku-advanced backtrack approach. *IJCNS–International Journal of Computer Science and Network Security*, 10, 255-258.
- A. Pal, S. Chandra, V. Mongia, B. K. Behera, P. K. Panigrahi, (2018). Solving Sudoku Game Using Quantum Computation.
- C. S. G. Godinho, (2008). *Alguma da matemática do sudoku* (Doctoral dissertation, Universidade de Aveiro).
- C. Solomon, T. Breckon, (2011). *Fundamentals of digital image processing: a practical approach with examples in Matlab*. Wiley-Blackwell.
- D. Bunma, P. Chongstitvatana, (2010). Solving Logic Puzzles with Genetic Algorithm.
- D. Job, V. Paul, (2016). Recursive Backtracking for Solving 9* 9 Sudoku Puzzle. *Bonfring International Journal of Data Mining*, 6(1), 07-09.
- E. C. Chi, & K. Lange, (2012). Techniques for solving sudoku puzzles. arXiv preprint arXiv:1203.2295.
- G. Zhai, J. Zhang, (2013). Solving sudoku puzzles based on customized information entropy. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 6(1), 77-91.
- H. Lloyd, M. Amos, (2019). Solving Sudoku with Ant Colony Optimization. *IEEE Transactions on Games*.
- I. Sabuncu, (2015, March). Work-in-progress: solving Sudoku puzzles using hybrid ant colony optimization algorithm. In *2015 1st International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems (INISCom)* (pp. 181-184). IEEE.
- J. A. Pacurib, G. M. M. Seno, J. P. T. Yusiong, (2009, December). Solving sudoku puzzles using improved artificial bee colony algorithm. In *2009 fourth international conference on innovative computing, information and control (ICICIC)* (pp. 885-888). IEEE.
- J. Almog, (2009). Evolutionary computing methodologies for constrained parameter, combinatorial optimization: Solving the Sudoku puzzle. *Africon 2009*. <https://doi.org/10.1109/afcon.2009.5308284>
- J. E. R. Queiroz, & H. M. Gomes, (2006). Introdução ao processamento digital de imagens. *Rita*, 13(2), 11-42.
- J. Gunther, T. Moon, (2012). Entropy Minimization for Solving Sudoku. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 60(1), 508–513. <https://doi.org/10.1109/tsp.2011.2169253>
- J. Lindberg, M. Steier, (2015). Efficiency of the hybrid AC3-tabu search algorithm for solving Sudoku puzzles.
- J. M. Weiss, (2009, April). Genetic algorithms and sudoku. In *Midwest Instruction and Computing Symposium (MICS 2009)* (pp. 1-9).
- L. C. Coelho, G. Laporte, (2014). A comparison of several enumerative algorithms for Sudoku. *Journal of the Operational Research Society*, 65(10), 1602–1610. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.114>
- L. Chen, Y. Guo, S. Wang, S. Xiao, K. Kask, (2016). Sudoku Solver.
- L. P. Specht, O. Khatchaturian, R. T. Dos Santos, (2013). Measurement of pavement macrotexture through digital image processing. *Acta Scientiarum. Technology*, 35(1), 31-38.



- M. Eremic, R. Adamov, N. Bilinac, V. Ognjenovic, V. Brtko, I. Berkovic, (2013). COMPARISON OF STATE SPACE SEARCH ALGORITHMS-SUDOKU PUZZLE GAME. Chief and responsible editor, 154.
- M. Harrysson, H. Laestander, (2014). Solving Sudoku efficiently with Dancing Links.
- M. Schottlender, (2014). The effect of guess choices on the efficiency of a backtracking algorithm in a Sudoku solver. IEEE Long Island Systems, Applications and Technology (LISAT) Conference 2014. <https://doi.org/10.1109/lisat.2014.6845190>
- O. A. Raouf, I. E. Henawy, M. A. Baset, (2014). A Novel Hybrid Flower Pollination Algorithm with Chaotic Harmony Search for Solving Sudoku Puzzles. International Journal of Modern Education and Computer Science, 6(3), 38–44. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.03.05>
- O. M. Filho, H. V. Neto, (1999). Processamento digital de imagens. BRASPORT.
- P. Berggren, D. Nilsson, (2012). A study of Sudoku solving algorithms. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, (2002). Digital image processing. Prentice Hall.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, (2008). Digital image processing. Parson.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, (2018). Digital image processing. Pearson.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, (2004). Digital Signal Processing Using Matlab. Pearson/Prentice Hall.
- R. Soto, B. Crawford, C. Galleguillos, F. C. Venegasy, F. Paredes, (2015).
- A Marriage Theorem Based-Algorithm for Solving Sudoku. 2015 Fourteenth Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI). <https://doi.org/10.1109/micai.2015.24>
- R. Soto, B. Crawford, C. Galleguillos, K. Crawford, F. Paredes, (2015).
- A Filtering Technique for Helping to Solve Sudoku Problems. Communications in Computer and Information Science HCI International 2015 - Posters' Extended Abstracts, 598–603. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21380-4_102
- R. Soto, B. Crawford, C. Galleguillos, S. Misra, E. Olguin, (2014). Solving sudokus via metaheuristics and AC3. 2014 IEEE 6th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST). <https://doi.org/10.1109/icastech.2014.7068127>
- S. Borges, T. Lima, V. Marques, (2016). Coloração de Grafos Aplicado na resolução do Sudoku.
- S. Chatterjee, S. Paladhi, R. Chakraborty, (2014). A Comparative Study On The Performance Characteristics Of Sudoku Solving Algorithms. IOSR Journal of Computer Engineering, 16(5), 69–77. <https://doi.org/10.9790/0661-16566977>
- S. J. Russell, P. Norvig, (2004). Artificial intelligence: a modern approach. Prentice Hall/Pearson Education
- S. Kamal, S. S. Chawla, N. Goel, (2015). Detection of Sudoku puzzle using image processing and solving by Backtracking, Simulated Annealing and Genetic Algorithms: A comparative analysis.
- 2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP). <https://doi.org/10.1109/iciip.2015.7414762>
- T. Mantere, J. Koljonen, (2006, October). Solving and rating sudoku puzzles with genetic algorithms. In New Developments in Artificial Intelligence and the Semantic Web, Proceedings of the 12th Finnish Artificial Intelligence Conference STeP (pp. 86-92).
- T. Mantere, J. Koljonen, (2008). Solving and analyzing Sudokus with cultural algorithms. 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence). <https://doi.org/10.1109/cec.2008.4631350>
- T. Y. Lim, M. A. Al-Betar, A. T. Khader, (2015). Monogamous pair bonding in genetic algorithm. 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). <https://doi.org/10.1109/cec.2015.7256869>
- T. Z. Felisberto, (2016). Robô Solucionador de Sudoku.
- Y. Sato, H. Inoue, (2010). Solving Sudoku with genetic operations that preserve building blocks. Proceedings of the 2010 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games. <https://doi.org/10.1109/itw.2010.5593375>
- Z. Wang, T. Yasuda, K. Ohkura, (2015). An evolutionary approach to sudoku puzzles with filtered mutations. 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). <https://doi.org/10.1109/cec.2015.7257096>

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CAVITACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO INTERNO EN TOBERAS DE INYECCIÓN DIESEL TRANSPARENTES

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

OSCAR-HERNANDO VENEGAS-PEREIRA

RESUMEN

En el motor Diesel, uno de los temas que ha despertado gran interés en las últimas décadas es el sistema de inyección, debido a su influencia en los procesos de atomización y formación de la mezcla aire-combustible, los cuales repercuten directamente en las prestaciones y emisiones contaminantes del motor. Con el objetivo de disminuir la brecha científica en el conocimiento del comportamiento del flujo interno y del chorro a la salida del orificio se han llevado a cabo numerosos estudios; sin embargo, el estudio del flujo en el interior de las toberas de inyección, muestra aún incertidumbres significativas sobre todo en condiciones cavitantes, constituyendo un reto importante para la investigación en este campo.

De esta manera, se ha trabajado con un sistema de visualización que permite trabajar con diferentes geometrías y secciones de orificio (planas o cilíndricas), obteniendo imágenes de alta resolución espacial, lo cual posibilita caracterizar la influencia de la geometría tanto en el flujo interno. Se ha analizado en primer lugar la influencia que tiene la geometría en el comportamiento del flujo interno y posteriormente se ha analizado la formación y desarrollo de la cavitación en el interior del orificio, así como su relación con el colapso del gasto másico. Para ello, se han utilizado diferentes geometrías de toberas planas transparentes con dimensiones cercanas a las reales. Como resultado de este estudio se ha podido observar que toberas con una sección de salida más grande son más propensas a cavitarse; también se ha observado que toberas con mayor longitud de orificio necesitan de condiciones más críticas para cavitarse y que el colapso del gasto másico se presenta en condiciones de supercavitación.

PALABRAS CLAVE: visualización, cavitación, toberas transparentes, inyección diesel, chorro cercano.

Sumario: 1. Introducción. 2. Metodología. 2.1. Maqueta de micro-visualización. 2.2. Determinación de la geometría de las toberas. 2.3. Visualización del flujo interno. 2.4. Plan de ensayos. 3. Resultados y discusión. 3.1. Caracterización hidráulica en estado estacionario. 3.2. Influencia de la geometría en el coeficiente de descarga. 3.3. Visualización de la cavitación. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas.

Contents: 1. Introduction. 2. Methodology. 2.1. Micro-visualization vessel. 2.2. Nozzles geometry determination. 2.3. Internal flow visualization. 2.4. Test plan. 3. Results and discussion. 3.1. Hydraulic characterization in steady state. 3.2. Influence of geometry on the discharge coefficient. 3.3. Visualization of cavitation. 4. Conclusions. 5. Bibliographic references.

1 Profesor del Programa de Ingeniería Mecánica de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Colombia – oscar.venegas@escuelaing.ed.co, Traducción de Oscar Venegas (Ph.D. en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte -UPV) , Traducción de Oscar Venegas (Ph.D. en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte -UPV) Profesor de Planta - Programa de Ingeniería Mecánica Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito Autopista Norte AK 45 No. 205-59, Bogotá, Colombia Tel. +57(1) 668 3600 oscar.venegas@escueling.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

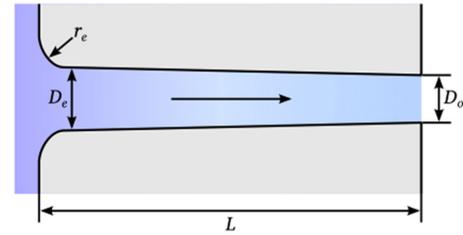
Uno de los mayores desafíos, en el ámbito de los motores Diesel ha sido la reducción del consumo de combustible y emisiones contaminantes. En este sentido, muchos de los logros y avances conseguidos para tal fin se han enfocado en entender el comportamiento del flujo interno y mejorar cada vez más los procesos de atomización y formación de la mezcla aire-combustible, los cuales determinan en gran medida el posterior desarrollo de la combustión. Por ello, continuamente surgen modificaciones o nuevas condiciones de operación de los sistemas de inyección, lo que se traduce en motores más eficientes y con un menor impacto medioambiental (Venegas, 2014).

Precisamente, para la mejora de la atomización del chorro y del proceso de mezcla, los actuales motores Diesel emplean presiones de inyección elevadas, llegando incluso a superar los 200MPa. El hecho de utilizar presiones tan elevadas, favorece la aparición de la cavitación en el interior de las toberas de inyección. Este fenómeno, considerado perjudicial en bombas y otras máquinas hidráulicas por el deterioro producido en las piezas debido a la erosión por cavitación, en el campo de los motores Diesel resulta favorable, puesto que provoca durante el proceso de inyección un aumento del ángulo de apertura del chorro a la salida de la tobera, mejorando el proceso de mezcla entre el combustible y el aire (Payri, Bermúdez, Payri, & Salvador, 2004), (Payri, Salvador, Gimeno, & De la Morena, 2009), (Desantes, Salvador, López, & De la Morena, 2011). Además, la aparición de estas burbujas de vapor conlleva a aumentar la velocidad del fluido debido a la reducción de la fricción con las paredes (Payri, García, Salvador, & Gimeno, 2005) y a la disminución de la sección efectiva para el paso de combustible en estado líquido (Payri, García, Salvador, & Gimeno, 2005), (Schmidt & Corradini, 2001).

Sin embargo, llevar a cabo estudios experimentales de la cavitación en toberas de inyección Diesel resulta realmente difícil. Esta complejidad es debida principalmente a los siguientes factores: las pequeñas dimensiones de los orificios, los cuales suelen tener longitudes en torno al milímetro y diámetros a la salida que rondan las $100\mu\text{m}$; la elevada velocidad del flujo, debido a la alta presión aguas arriba y la restricción que tiene el fluido al pasar por el orificio, la velocidad se incrementa llegando a varios cientos de metros por segundo en condiciones reales de funcionamiento y el proceso de inyección transitorio, con duraciones de inyección generalmente del orden de milisegundos o inferiores (Venegas, 2014).

Debido a las anteriores dificultades, son muchos los autores que han centrado sus esfuerzos en desarrollar herramientas experimentales y teóricas para la caracterización del flujo en el interior de toberas de inyección Diesel (Venegas, 2014). En la Figura 1 se definen los parámetros geométricos más importantes en los orificios de descarga de una tobera de inyección: diámetro de entrada del orificio D_e , diámetro de salida del orificio D_o , longitud del orificio L , y radio de entrada R_e o radio de acuerdo.

Parámetros geométricos de un orificio de inyección.



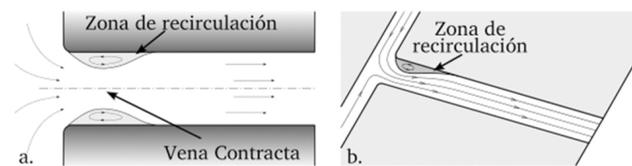
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En el caso de toberas en las que el orificio es axisimétrico (Figura 2a), como las toberas mono-orificio habitualmente utilizadas en investigación (Gimeno, 2008), (Linne, Paciaroni, Hall, & Parker, 2006), (Yon, 2003), el flujo entra por igual en todas direcciones. Como consecuencia del cambio brusco de sección que supone el orificio, las líneas de corriente se deflecan, provocando el desprendimiento de la capa límite y la aparición de una zona de recirculación en la sección de entrada del orificio.

Por su parte, en una tobera multiorificio, en la que el eje de los orificios de descarga tiene un ángulo respecto al eje de simetría de la tobera (caso habitual en toberas comerciales (Payri, Salvador, Gimeno, & la Morena, 2009), (Bae & Kang, 2000), (Kull & Krüger, 2004)), el cambio de la direccionalidad del flujo es mayor, aunque la recirculación del flujo se restringe a la mitad superior del orificio, justo por donde viene la alimentación de combustible (Figura 2b).

Estructura del flujo en una tobera de inyección.

a) Geometría axisimétrica. b) Tobera multiorificio.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Cabe destacar que, bajo determinadas condiciones de inyección, el incremento de velocidad del flujo y la pérdida local de presión existentes en las zonas de recirculación pueden llegar a caer hasta la presión de saturación del fluido, produciéndose el cambio de fase del mismo conocido como cavitación, el cual es un fenómeno de cambio de fase (líquido a vapor) que se forma en la zona cercana al radio de entrada del orificio.

Una de las primeras investigaciones de la cavitación en el ámbito de la inyección Diesel fue la llevada a cabo por Bergwerk (Bergwerk, 1959) donde estudió la influencia de la geometría de diferentes toberas en el comportamiento del flujo. Bergwerk observó el desarrollo del flujo interno mediante la visualización del flujo en orificios transparentes y advirtió la presencia de cavitación en determinadas condiciones, así como la presencia de un fenómeno conocido en la literatura como hydraulic flip. Este fenómeno se produce como consecuencia de la separación de la capa límite a la entrada del orificio extendiéndose por todo el orificio ocasionando que el gas, situado en la cámara de descarga, remonte aguas arriba del orificio ocupando el espacio entre la pared y la vena líquida (Salvador J. , 2007). En su trabajo Bergwerk definió el número de cavitación de acuerdo a la ecuación (1)

$$CN = \frac{P_i - P_v}{P_b - P_v}$$

Posteriormente Soteriou et al. (Soteriou, Andrews, & Smith, 1995) observaron que orificios trabajando en condiciones de hydraulic flip daban lugar a chorros de gran penetración y muy poco atomizados. Además, supusieron que el flujo en el interior del orificio no experimentaba pérdidas por fricción con la pared, puesto que se encontraba una capa de gas entre el líquido y la pared. Sin embargo, el fenómeno de hydraulic flip no debe ser considerado como un comportamiento típico en toberas de inyección Diesel; de hecho, este fenómeno nunca ha sido observado en toberas de tamaño real y a condiciones reales de funcionamiento.

Otros estudios sirvieron para caracterizar la cavitación como un fenómeno transitorio y multidimensional. Bode (Bode, y otros, 1992) observó que la zona de propagación de la nube de burbujas generadas como consecuencia de la cavitación era caótica, variaba temporalmente y carecía de simetría. En sus estudios Bode observó que la cavitación se presentaba en forma de hilos (cavitation films) que se extendían desde la entrada del orificio y acababan desapareciendo en un punto a lo largo del mismo. Además, se confirmó a través de diversos ensayos con el mismo orificio que la cavitación y la formación de estos hilos aparecían siempre en las mismas zonas, asociadas con zonas de mayor irregularidad superficial.

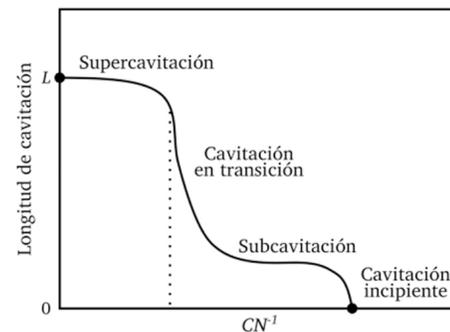
Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995) ampliaron el trabajo de Bode, centrándose en lo que denominaron como supercavitación. Estos investigadores usaron el término supercavitación para describir el estado en que la cavitación se desarrolla a lo largo de todo el orificio hasta la salida. A través de estos estudios observaron que uno de los efectos más notables de la supercavitación es el incremento del ángulo del chorro a la salida de la tobera como ha sido corroborado por Soteriou et al. (Soteriou, Smith, & Andrews, 1998), Salvador (Salvador F. J., 2003) y De la Morena (De la Morena, 2011). Este último observó un incremento del ángulo entre 1.5° y 3° en una tobera monorificio cilíndrica para las condiciones donde se detectaban burbujas de cavitación a la salida de la tobera.

Sin embargo, no es necesario que la cavitación se extienda hasta la salida para encontrar efectos importantes en el chorro. De hecho, autores como Arai et al. (Arai, Shimizu, & Hiroyasu, 1991), Hiroyasu et al. (Hiroyasu, Arai, & Shimizu, 1991) y Soteriou et al. (Soteriou, Andrews, & Smith, 1995) encontraron evidencias sobre el incremento significativo del ángulo del chorro durante la aparición de las primeras burbujas de vapor en el interior del orificio (cavitación incipiente). Simultáneamente la longitud intacta se reducía.

Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995) presentaron otra observación interesante a partir de sus estudios llevados a cabo en un orificio de entrada redondeada, advirtiendo que, a pesar de tener un radio de acuerdo bastante grande el orificio cavitaba debido a las irregularidades superficiales. Así, demostraron que la rugosidad por sí sola podría causar en algunos casos la cavitación de un orificio a pesar de tener un radio de acuerdo redondeado. Otro de los hechos importantes que señaló fue que para pasar de cavitación incipiente a supercavitación se requería solo un incremento de presión de 2MPa.

Uno de los temas que ha despertado mayor interés en el ámbito del flujo cavitante es, indudablemente, el estudio de la evolución de la extensión ocupada por la cavitación a lo largo del orificio, representado a modo de esquema en la Figura 3. Esta figura, en la que se representa la longitud de cavitación en función del número de cavitación (CN), se basa en los estudios desarrollados por diversos autores como Nurick (Nurick, 1976), Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995), Roosen et al. (Roosen, Unruch, & Behmann, 1997), Hiroyasu (Hiroyasu, 2000) o Sato y Saito (Sato & Saito, 2002). Precisamente, este último autor establece cuatro tipos de cavitación en función de la longitud de la región ocupada por el combustible en fase vapor: cavitación incipiente (aparecen las primeras burbujas de vapor), sub-cavitación, cavitación de transición y supercavitación (la extensión de la región ocupada por vapor alcanza la salida de la tobera). Otros autores como Sou et al. (Sou, Tomiyama, Hosokawa, Nigorikawa, & Maeda, 2006), agrupan las dos etapas intermedias establecidas por Sato y Saito en una única etapa, conocida como cavitación en desarrollo.

Longitud ocupada por la cavitación en función de CN.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Como se puede apreciar en la Figura 3, una vez aparecen las primeras burbujas de vapor (cavitación incipiente), el aumento del número de cavitación tendrá inicialmente poca influencia sobre la extensión de la región ocupada por la cavitación, aunque si se continúa aumentando el número de cavitación, ya sea mediante el aumento de la presión de inyección o la disminución de la presión de descarga, la cavitación crece rápidamente a lo largo del orificio hasta alcanzar la sección de salida de la tobera (supercavitación).

A pesar de las grandes dificultades existentes para el estudio experimental del flujo interno en toberas de inyección, se han llevado a cabo diferentes trabajos que intentan dar una mayor comprensión del comportamiento del flujo interno y el fenómeno de la cavitación (Venegas, 2014). Estos trabajos se han basado en la caracterización hidráulica del flujo a la salida de los orificios y en la visualización del flujo en el interior de los orificios a través de toberas transparentes.

El comportamiento del flujo a través de un orificio es completamente diferente en función de si se encuentra en condiciones de régimen laminar o turbulento. Sin embargo, las pequeñas dimensiones de los orificios presentes en las toberas de inyección, así como las altas velocidades que se alcanzan en su interior, hacen complicado el obtener información del desarrollo del flujo en estos elementos. Para la mayoría de aplicaciones prácticas el valor de transición entre los dos regímenes se sitúa en $Re_{crit} = 2300$. Para por debajo de este valor el régimen será laminar, por encima hasta un $Re_{crit} = 4000$ se encuentra una zona de transición en donde el flujo fluctúa entre régimen laminar y turbulento alternativamente. A partir de $Re_{crit} = 4000$ se puede considerar el régimen totalmente turbulento.

Sin embargo, esta forma de describir el flujo sólo resulta válida para flujos completamente desarrollados, es decir para conductos largos en relación a su diámetro (relaciones grandes). Una de las formas más utilizadas para evaluar el comportamiento del flujo en toberas de inyección consiste en la caracterización del coeficiente de descarga (ecuación (2)). Este coeficiente se define como el cociente entre el caudal másico real y el caudal másico teórico (Venegas, 2014).

$$C_d = \frac{\dot{m}_f}{A_o \sqrt{2\rho_f \Delta p}}$$

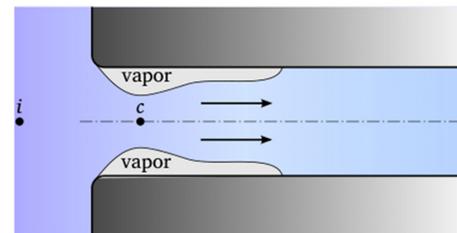
donde A_o el área geométrica a la salida del orificio, ρ_f es la densidad del fluido y Δp es la diferencia entre la presión aguas arriba y aguas abajo del orificio ($P_i - P_b$).

La caracterización hidráulica como técnica para determinar el comportamiento del flujo en condiciones cavitantes, permiten trabajar con toberas reales de forma no intrusiva obteniendo el comportamiento de la capacidad de descarga de los orificios junto con otros coeficientes adimensionales en condiciones cavitantes. Así, Bergwerk (Bergwerk, 1959) manifestó la pérdida de la capacidad de carga de la tobera con la aparición de la cavitación, y se pudo comprobar como el coeficiente de descarga se veía poco influenciado por el número de Reynolds en condiciones cavitantes. Además, observó que una vez iniciada la cavitación el coeficiente de descarga dependía fuertemente de la relación de presiones definida como $(P_i - P_b) / P_b$.

En 1976, Nurick (Nurick, 1976) propuso un modelo, conocido en la actualidad como Modelo Unidimensional de Nurick, para intentar explicar el comportamiento del coeficiente de descarga. Dicho modelo fue validado mediante diversos ensayos experimentales llevados a cabo sobre orificios de diferente relación longitud-diámetro, radio de acuerdo a la entrada y un amplio rango de presiones de descarga.

Basándose en la simplificación mostrada en la Figura 4, Nurick definió tres puntos característicos del orificio para explicar el comportamiento del coeficiente de descarga: un primer punto aguas arriba del orificio suficientemente alejado de éste como para poder considerar que la velocidad es despreciable en comparación con las velocidades que se pueden dar en el interior del orificio (punto *i*), un segundo punto situado en la sección de máxima restricción del flujo que coincide con la sección de mayor velocidad y menor presión (punto *c*) y un tercer punto correspondiente a la salida de la tobera (punto *b*).

Esquema del fenómeno de la cavitación en una tobera axisimétrica.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Usando el modelo de Nurick y aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos *i* y *c*, se llega a definir una nueva variante del número de cavitación, representado por la letra *K* como se muestra en la ecuación (3) y adicionalmente se define el coeficiente de descarga C_d en condiciones cavitantes, el cual crece linealmente con la raíz del número de cavitación, tal como expresa la ecuación (4), tal como se detalla en (Venegas, 2014),.

$$K = \frac{p_i - p_v}{p_i - p_b} = \frac{1}{KN}$$

$$C_d = C_c \sqrt{K}$$

Sin embargo, para estudiar la formación y apariencia de la cavitación, se hace imprescindible el uso de toberas transparentes. Debido a las características del fenómeno (altas velocidades de flujo, diámetros pequeños y flujo bifásico) su visualización resulta considerablemente compleja. Por este motivo, es habitual la utilización de geometrías simplificadas, aunque existen estudios que han conseguido resultados satisfactorios utilizando geometrías más similares a las de una tobera real (Chaves & Schuhbauer, 2006), (Walther, 2002), (Blessing, König, Krüger, Michels, & Schwarz, 2003).

Los estudios más importantes existentes en la bibliografía, mostrados en función del tipo de geometrías utilizadas (sección rectangular y sección circular) se detallan en (Venegas, 2014). Dichos estudios muestran cómo la naturaleza de la cavitación cambia en función del tamaño de los orificios. Por este motivo, y a pesar de las dificultades existentes en la visualización de este tipo de geometrías, son cada vez más los estudios que utilizan orificios de tamaños similares a los habituales en toberas de inyección (Chaves & Schuhbauer, 2006), (Blessing, König, Krüger, Michels, & Schwarz, 2003), (Badock, Wirth, & Tropea, 1999), (Saliba, Baz, Champoussin, Lance, & Marié, 2004), (Collicott & Li, 2006), (Andriotis & Gavaises, 2009).

Así, el propósito del presente estudio es lograr profundizar y dar explicación a los diversos fenómenos asociados a la cavitación en toberas de inyección Diesel. Para ello se diseña y pone en marcha un sistema de visualización de orificios transparentes que permitirá observar el flujo en el interior del orificio usando toberas con dimensiones cercanas a las utilizadas en un sistema de inyección Diesel actual.

En el apartado 2, se describen las técnicas experimentales utilizadas a lo largo del estudio y cómo se implementa el sistema de visualización. En primer lugar, se describe la maqueta de micro-visualización, prestando especial atención al sistema de visualización del flujo interno en toberas transparentes acoplado en la parte superior de la maqueta. Luego se introducirá la metodología seguida para la determinación de la geometría interna de las toberas a partir de la obtención de imágenes usando un microscopio digital y un micrómetro. A continuación, se describe la técnica de visualización de alta resolución por iluminación trasera difusa para detectar la cavitación. Posteriormente, se describe el principio físico de la medida del gasto másico en flujo continuo, de gran importancia para llevar a cabo la caracterización hidráulica de las toberas. En la parte final del apartado, se darán los detalles de las geometrías utilizadas en el estudio y el plan de trabajo seguido.

El apartado 3 abarca los resultados concernientes al estudio del flujo interno en condiciones cavitantes y no cavitantes. En primer lugar, usando diferentes modelos simplificados de toberas transparentes (siete planas asimétricas y una con orificio cilíndrico), se estudia la influencia que tiene la geometría en la formación de la cavitación. Así, aplicando la técnica de visualización e inyectando en una atmósfera líquida (con una resolución cercana a los 500pixel/mm), junto con la caracterización hidráulica, se puede determinar el inicio de la cavitación, el desarrollo de ésta a través del orificio, las burbujas que se desprenden a la salida del orificio y colapso del gasto másico; todos estos influenciados tanto por las características geométricas de las toberas como por las condiciones de presión aguas arriba y aguas abajo del orificio. Posteriormente, se mostrará la influencia que tiene el combustible en la aparición y desarrollo de la cavitación usando la tobera transparente cilíndrica y cuatro combustibles diferentes.

Por último, en el apartado 4, se establecerán las conclusiones más importantes extraídas a partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores. Además, se expondrán algunos de los posibles trabajos futuros encaminados a mejorar el conocimiento del proceso de inyección Diesel y del fenómeno de la cavitación.

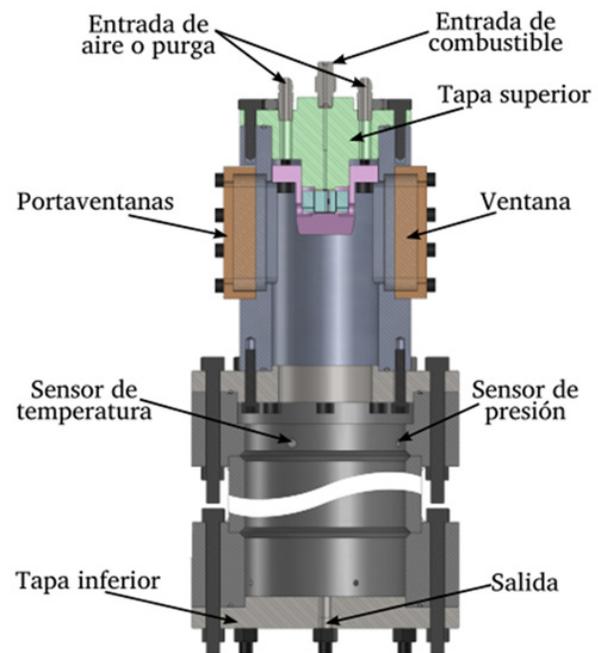
2. METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio se enmarca dentro una investigación de tipo diseño cuasi-experimental, en donde se busca observar la influencia de la cavitación en el comportamiento hidráulico a partir de unas condiciones de inyección (aguas arriba) y unas condiciones de contrapresión (aguas abajo) para diferentes toberas de inyección. Así, en este apartado se hará una descripción de las distintas técnicas y herramientas utilizadas a lo largo de este trabajo, las cuales permitirán analizar la relación existente entre la formación y el desarrollo de la cavitación en las características del flujo interno.

2.1 MAQUETA DE MICRO-VISUALIZACIÓN

La maqueta presurizada de inyección, denominada maqueta de micro-visualización, consiste básicamente en un largo cilindro de acero inoxidable (1m aproximadamente) en el que se incluyen dos accesos ópticos opuestos (ver Figura 5), de forma que permitan la visualización en el interior de la maqueta. Los accesos ópticos formados por ventanas planas de metacrilato, con un espesor de unos 30mm, son capaces de soportar hasta 6MPa aproximadamente sin sufrir deformaciones significativas. Por lo tanto, este valor será considerado en adelante como el límite mecánico de presión en el interior de la maqueta (Venegas, 2014).

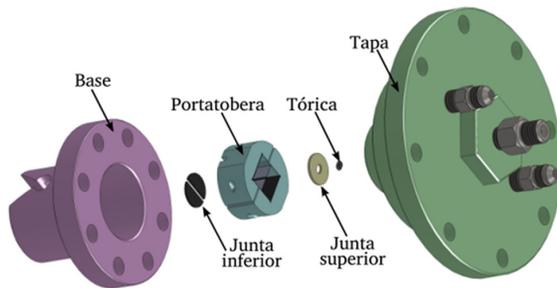
Figura 1. Esquema de la maqueta de micro-visualización.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

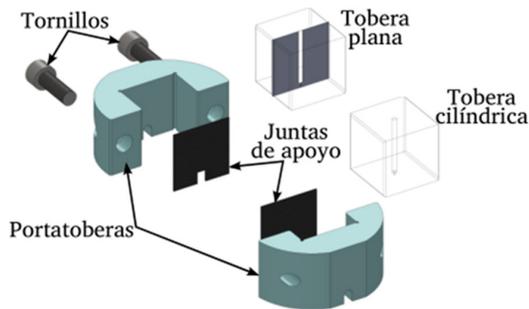
En la Figura 6, se muestra un despiece de los elementos que componen la tapa superior. Este diseño se realizó con el fin de tener un sistema de montaje de toberas flexible y lograr obtener acceso óptico a los orificios y permitir la salida del chorro. Adicionalmente la Tapa superior contiene el Portatoberas, que tiene como finalidades: alojar las toberas (ya sea una tobera plana o cilíndrica), dar forma y conseguir el ajuste necesario en el caso de las toberas planas y por último lograr que las toberas queden concéntricas con el sistema (ver Figura 7). El detalle del diseño de la Tapa superior y el procedimiento de montaje se encuentran descritos en (Venegas, 2014).

Figura 2. Despiece de la tapa superior.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Figura 3. Despiece del portatobera.



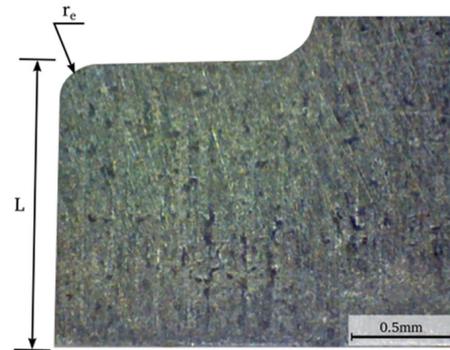
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

2.2 DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS TOBERAS

Para obtener la geometría interna en orificios reales, algunos estudios (De la Morena, 2011), (Gimeno, 2008) han usado la técnica de obtención de moldes de silicona (Macián, Bermudez, Payri, & Gimeno, 2003). Otros estudios más recientes han obtenido resultados similares con el uso de rayos X (Lee, Fezzaa, & Wang, 2005), (Kastengren, y otros, 2012). Ahora, puesto que las toberas utilizadas en el presente estudio son transparentes, determinar la geometría resulta menos compleja de obtener. Es evidente que conocer la mayoría de parámetros geométricos internos de los orificios de las toberas no es tarea fácil; sin embargo, si se desean establecer relaciones importantes entre la geometría de las toberas y el comportamiento del flujo interno, es necesario conocer la morfología interna de la forma más precisa posible. La medición de la geometría interna se realiza de dos maneras: por un lado, las dimensiones lineales de las láminas que conforman el orificio de la tobera pueden ser medidas a través de un micrómetro. De esta manera, se obtiene de forma sencilla y precisa la longitud del orificio (L) y las dimensiones exteriores de las láminas. Por otro lado, para la medición de los demás parámetros del orificio como radio de acuerdo, área de salida, ancho y espesor del orificio (en toberas planas) ó diámetros de orificio (en toberas cilíndricas) se utiliza un microscopio digital. Este microscopio permite realizar diferentes aumentos de acuerdo a la zona de interés que se desee medir.

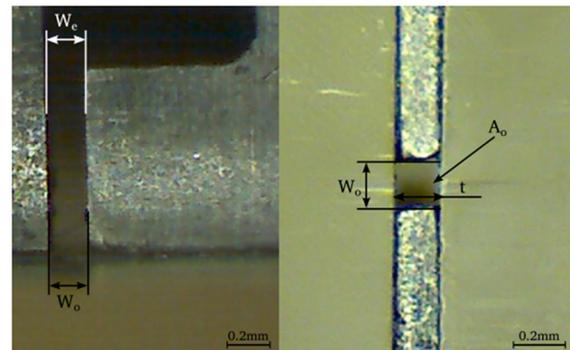
La Figura 8, muestra una de las láminas que conforman el orificio antes del montaje; de donde se obtiene la longitud del orificio (obtenido también con el micrómetro) y el radio de acuerdo (R_o). Para una completa caracterización de los orificios, son tomadas imágenes laterales y desde la parte inferior de la tobera (a la salida del orificio) una vez ha sido conformada la tobera (Figura 9) con el fin de obtener el ancho a la entrada W_e , el ancho a la salida del orificio W_o , el espesor t y por tanto el área geométrica de descarga A_o .

Imagen de una vista lateral de una de las láminas que forma el orificio obtenida con microscopio digital



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

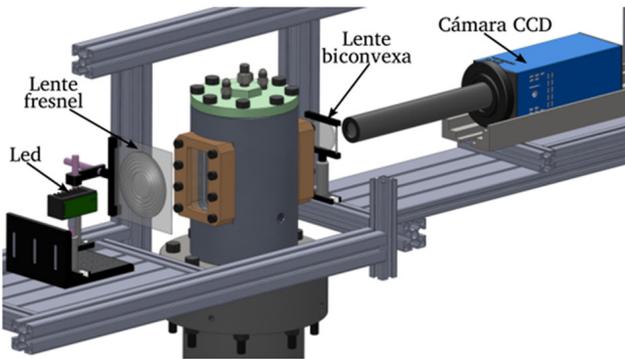
Despiece Vista lateral e inferior de una tobera plana transparente.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

2.3 VISUALIZACIÓN DEL FLUJO INTERNO

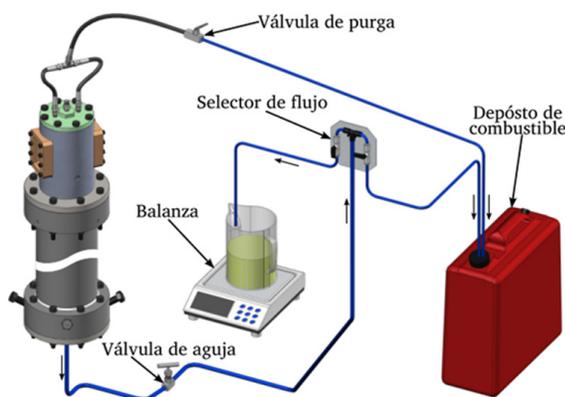
Para visualizar el flujo en el interior del orificio, se ha puesto en marcha una instalación óptica que permite obtener imágenes con una resolución de hasta 500pixel/mm aproximadamente a través de la técnica conocida como iluminación trasera difusa, la cual se basa en la diferencia entre el índice de refracción del fluido que se desea visualizar y el fluido que lo rodea (Venegas, 2014). De esta forma, los haces de luz alcanzan el fluido de trabajo, se desvían como consecuencia de la refracción, mientras que el resto continúan su camino libremente. Así, la imagen formada en el lado contrario (lado de la cámara) a la iluminación muestra la sombra de aquello que se desea observar. Esta configuración ha sido ampliamente utilizada para el estudio del comportamiento del chorro (Payri, Salvador, Gimeno, & Soare, 2005), (Jeong, Lee, & Ikeda, 2007), (Gao, y otros, 2009), (Hillamo, Sarjovaara, Kaario, Vuorinen, & Larmi, 2010). La descripción y características de cada uno de los elementos y su ubicación en el sistema se encuentran al detalle en (Venegas, 2014). En la Figura 10 se muestra un esquema general de la instalación utilizada para este fin.

Esquema de la instalación utilizada para la visualización.


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Para visualizar la cavitación y evitar la desviación de la luz, el fluido en la cámara es el mismo combustible inyectado; es decir se inyecta combustible en combustible. Esta configuración permitirá discernir entre las fases líquida y vapor del propio combustible, debido a la diferencia en el índice de refracción de ambas.

Con el fin de purgar la maqueta, la tapa superior tiene dos salidas por donde saldrá el aire que queda en la maqueta. Por otro lado, el combustible entra a la maqueta a través de la tobera de inyección y la presión de descarga será controlada gracias a una válvula de aguja en la parte inferior de la maqueta. Una vez que la presión está estable, el combustible evacuado de la maqueta puede ser dirigido al retorno o a una balanza para medir el gasto másico que pasa a través de la tobera transparente, inyectando siempre en condiciones estacionarias (flujo continuo). Un esquema de la instalación se muestra en la Figura 11.

Esquema de la instalación utilizando combustible líquido como fluido en la descarga.


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Debido a que toda la maqueta se encuentra completamente llena de combustible y se inyecta combustible en la misma en condiciones estacionarias, el gasto másico de combustible que sale por la tobera es el mismo gasto másico de combustible que sale de la maqueta (Venegas, 2014). Así, una vez se tiene el gasto másico estabilizado para una determinada condición de operación, es posible determinar el gasto másico tomando una masa inicial (m_1) y una masa final (m_2) en un determinado tiempo (Δt) como se muestra en la ecuación (5).

La lectura y registro de la masa inicial y la masa final se realiza a través del software de la balanza conectado a un computador y por tanto el gasto másico de combustible para cada condición puede ser calculada de acuerdo a la ecuación (5).

$$\dot{m}_f = \frac{m_2 - m_1}{\Delta t}$$

Posteriormente para evaluar el comportamiento del flujo en toberas de inyección consiste en la caracterización del coeficiente de descarga tanto en condiciones cavitantes como no cavitantes para observar el comportamiento de cada tobera a diferentes condiciones de operación.

2.4 PLAN DE ENSAYOS

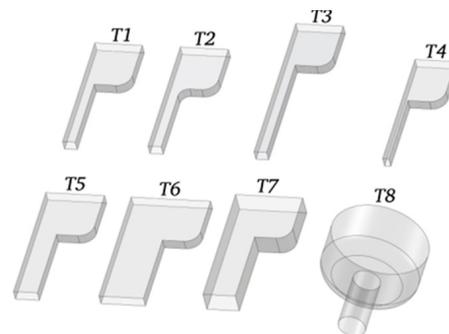
Una vez se ha mostrado el procedimiento para el montaje y la determinación de la geometría de cada una de las toberas, en la Tabla 1 y en la Figura 12 se muestran las toberas a usadas en el estudio. Dentro de los modelos mostrados en la Tabla 1 se cuenta con una tobera cilíndrica (T8) y una variedad de toberas planas de diferentes geometrías. Así el propósito de este grupo de toberas es tener toberas semejantes donde varíe solamente el radio de acuerdo a la entrada (toberas T1 y T2), toberas semejantes donde solo varía la longitud del orificio (toberas T1 y T3) y toberas semejantes donde se mantiene L y r_e y varía únicamente W (toberas T1, T4, T5 y T6). La tobera T7 se realizó con el fin de obtener una sección de salida comparable con la tobera cilíndrica T8 (Venegas, 2014).

Tabla 1. Parámetros geométricos de las toberas transparentes utilizadas

Tobera	W_o [μm]	t [μm]	D_o [μm]	r_e [μm]	D_h [μm]	L [mm]
T1	237	194	—	0	213	1.42
T2	249	194	—	177	218	1.43
T3	237	194	—	0	213	2.14
T4	116	194	—	0	145	1.43
T5	447	194	—	0	271	1.43
T6	834	194	—	0	315	1.43
T7	606	388	—	0	588	1.45
T8	—	—	510	0	510	1.13

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Figura 4. Esquema de los orificios para cada una de las toberas de estudio.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En cuanto a los puntos a ensayar, se tiene que todas las toberas serán estudiadas en condiciones de flujo continuo a cuatro niveles de presión de inyección (3, 5, 7 y 12MPa). Para la caracterización hidráulica de los orificios, se medirá el flujo másico proporcionado por las toberas en las cuatro presiones de inyección consideradas y distintas contrapresiones (desde 0.1 hasta 5MPa). De esta forma y conociendo la geometría de cada tobera se podrá obtener el coeficiente de descarga y detectar las condiciones críticas de colapso del gasto másico, definidas como aquéllas en las que el flujo másico se estabiliza sin importar las condiciones aguas abajo de la tobera.

De forma simultánea con las medidas de gasto másico y utilizando la técnica de visualización por iluminación trasera difusa, se podrán detectar las condiciones de presión en las que aparecen por primera vez en el interior del orificio (cavitación incipiente) y la aparición de burbujas aguas abajo de los orificios de salida de las toberas. Estas condiciones serán detectadas partiendo de condiciones cavitantes (es decir, baja presión de descarga), y luego incrementar la presión de descarga con el fin de encontrar el valor donde desaparecen las burbujas a la salida del orificio y el valor donde la cavitación en el interior del orificio desaparece. Para cada una de las condiciones se tomarán 50 repeticiones de imágenes.

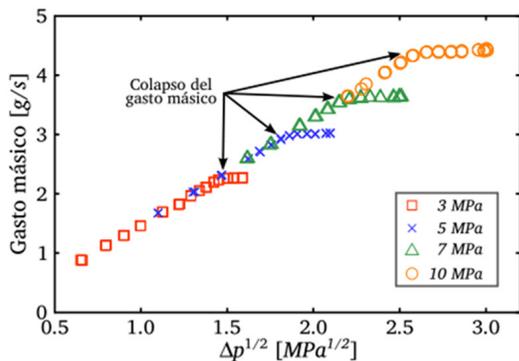
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado, se muestran los principales resultados obtenidos en la caracterización hidráulica en estado estacionario, la visualización de la cavitación y la influencia del combustible en el flujo interno.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de caracterizar detalladamente el comportamiento hidráulico de las toberas transparentes, se realizarán ensayos a cuatro niveles de presión de inyección (P_i) (3, 5, 7 y 10MPa) y presiones de descarga (P_b) entre 0.1 y 5.0MPa. En la Figura 13, donde se muestra la evolución del gasto másico (m) en función de la raíz de la diferencia de presiones ($\Delta p^{1/2}$) para la tobera T1. Como se puede observar para cada presión de inyección, el gasto másico crece linealmente con la raíz de la diferencia de presiones hasta alcanzar las condiciones críticas donde el flujo másico colapsa y empieza a mantenerse constante.

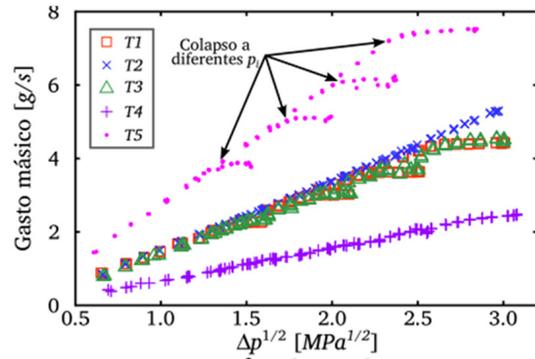
Figura 5. Gasto másico de la Tobera T1 a diferentes P_i y P_b .



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

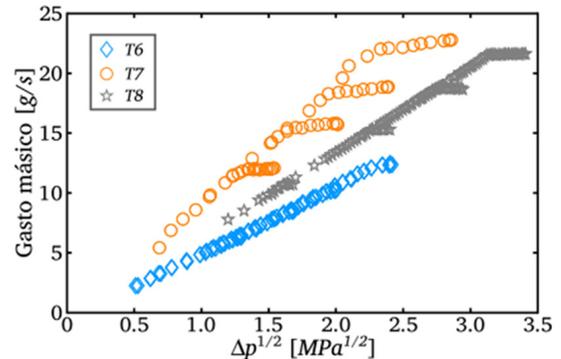
Con el propósito de comparar el gasto másico entre las diferentes toberas y observar adecuadamente el comportamiento entre cada una de estas, ha sido necesario graficar los resultados en dos grupos. Así, en la Figura 14 se muestran los resultados para las toberas más pequeñas con gastos másicos inferiores a 8g/s, mientras que la Figura 15 muestra los resultados para las más grandes (gastos másicos mayores a 8g/s).

Figura 6. Gasto másico en función de la raíz de la diferencia de presiones.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Figura 7. Gasto másico en función de la raíz de la diferencia de presiones. Toberas T6, T7 y T8.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

De estas figuras se observa que para todas las toberas el gasto másico colapsa por lo menos en las condiciones más críticas (alta p_i y baja p_b), excepto la tobera T2, la cual posee un radio de acuerdo a la entrada de 177 μ m. De forma similar a la Figura 13 se observa de nuevo tanto en la Figura 14 como en la Figura 15 que el comportamiento del gasto másico con la raíz de la diferencia de presiones es lineal hasta alcanzar el punto crítico de colapso. Adicionalmente, estos resultados muestran con antelación como el colapso del gasto másico aparece con mayor facilidad conforme aumenta la sección de salida de las toberas, aunque durante el transcurso del capítulo se analizará con mayor detalle.

Conociendo el comportamiento de m en función de $\Delta P^{1/2}$ para cada tobera, es posible determinar las condiciones críticas de cavitación según el criterio tradicional de colapso del gasto másico mostrado por Nurick (Nurick, 1976); es decir, determinando los puntos críticos a partir de las condiciones donde ocurre el colapso del gasto másico. La manera para conseguir estos puntos, consiste en realizar un ajuste lineal de la evolución de m_f en función $\Delta P^{1/2}$ y obtener el máximo valor del gasto másico colapsado.

Siguiendo esta metodología se determina para cada tobera y cada valor de presión de inyección la presión de descarga crítica (P_{bcrit}) y con ésta se obtiene el número de cavitación crítico (K_{crit}) de acuerdo a la ecuación (6). Los resultados se encuentran tabulados en la Tabla 2

$$K_{crit} = \frac{P_i - P_v}{P_i - P_{bcrit}}$$

Números de cavitación críticos a diferentes presiones de inyección

Tobera	3 MPa	5 MPa	7 MPa	10 MPa
T1	1.13	1.22	1.23	1.30
T2	1.00	1.00	1.00	1.00
T3	1.10	1.16	1.17	1.17
T4	1.00	1.01	1.02	1.04
T5	1.26	1.25	1.35	1.44
T6	1.01	1.06	1.07	1.08
T7	1.23	1.34	1.55	1.54
T8	1.09	1.13	1.16	1.21

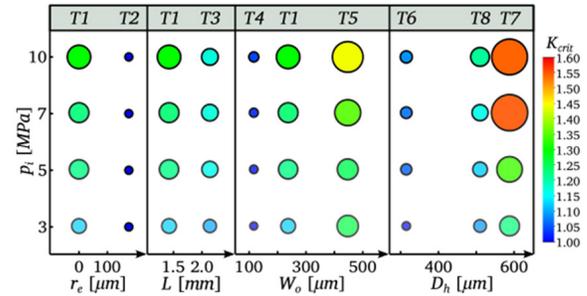
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Los valores mostrados en la Tabla 2 representan los valores del número de cavitación crítico obtenidos a partir de la ecuación (6), tomando como nulo el valor de P_v para el gasoil comercial, ya que es considerado despreciable en comparación con las presiones de ensayo. Analizando estos valores y conforme al criterio de Nurick, se observa que los números de cavitación críticos más cercanos a la unidad implican una menor tendencia a cavitarse, mientras que toberas con K_{crit} mayores tienen una mayor tendencia a cavitarse, ya que necesitan de unas condiciones menos críticas para alcanzar el colapso de flujo másico.

En particular, la tobera T2 tiene un K_{crit} igual a uno para todas las condiciones de presión de inyección, incluso reduciendo la contrapresión a su valor más bajo (cercano a la presión atmosférica); es decir, con esta tobera nunca se llega a observar el colapso del gasto másico. Lo mismo ocurre con la tobera T4 para la presión de inyección de 3MPa, donde nunca llega a colapsar el gasto másico, obteniendo así un valor de K_{crit} igual a la unidad.

En la Figura 16 se muestra en un gráfico de burbujas la evolución del número de cavitación crítico en función de la geometría de las toberas y de la presión de inyección. Así las burbujas más grandes representan K_{crit} grandes y las burbujas pequeñas K_{crit} pequeños, acompañados de una escala de colores para una mayor apreciación.

Número de cavitación crítico en función de la geometría de las toberas y la presión de inyección.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Este gráfico se ha realizado agrupando conjuntos similares de toberas con el fin de observar la influencia de cada parámetro geométrico por separado, quedando dividida en cuatro grupos: el primer grupo (toberas T1 y T2) son toberas con dimensiones muy similares donde sólo varía el radio de acuerdo (r_e), el segundo grupo (toberas T1 y T3) únicamente varía la longitud del orificio (L), el tercer grupo (toberas T1, T4 y T5) son toberas en las cuales el único parámetro que varía es el ancho de la tobera W_o y finalmente el cuarto grupo se ha establecido con el fin de comparar las similitudes en cuanto a números de cavitación entre toberas planas y la tobera cilíndrica. Para este último grupo se han usado las toberas planas con la sección de salida más similares a la cilíndrica usando como parámetro comparador el diámetro hidráulico (D_h); que en el caso de toberas planas esta dado por la ecuación (7).

$$D_h = \frac{4A_o}{P_o} = \frac{4(W_o \cdot t)}{2(W_o + t)}$$

donde A_o es el área geométrica a la salida, P_o es el perímetro en la sección de salida, W_o es el ancho a la salida y t es la profundidad del orificio.

Para observar el efecto del radio de acuerdo se tomaron como referencia las toberas T1 y T2, ya que son toberas geoméricamente similares donde el único parámetro que varía es r_e . En la Figura 14 se observó que los valores del gasto másico de la tobera T1 y la tobera T2 en la zona donde $\Delta P^{1/2}$ es función de son muy parecidos y se debe a que el área en la sección de salida del orificio es prácticamente igual. Sin embargo, en la tobera T1 se aprecia el colapso del gasto másico para cada una de las presiones de inyección, mientras que en la tobera T2 el flujo másico continúa creciendo conforme aumenta $\Delta P^{1/2}$ con un valor de K_{crit} . Físicamente este comportamiento se asocia a una menor recirculación en la entrada del orificio conforme el radio de acuerdo es mayor, lo cual repercute en la formación de la cavitación que a su vez

conlleva al colapso del gasto másico.

En cuanto al efecto de la longitud del orificio (L), se toman como referencia las toberas T1 y T3, ya que son toberas geoméricamente similares donde el único parámetro que varía es L . En la Figura 14 se observa que los valores del gasto másico son muy parecidos y que ambas toberas colapsan. Sin embargo, al observar los valores obtenidos en la Tabla 2 y en la Figura 16 se aprecia que para las diferentes presiones de inyección los valores de K_{crit} de la tobera T3 son menores a los de la tobera T1. Lo anterior se traduce en que, para una misma presión de inyección, la tobera T3 requiere de unas condiciones más críticas (menor P_b) para que el flujo másico colapse. Visto desde el punto de vista físico se tiene que la tobera T3, a las mismas condiciones de descarga que la tobera T1 y al tener una mayor longitud genera mayores pérdidas por fricción, lo cual conlleva a una menor presión a la entrada del orificio, afectando la formación de zonas de recirculación y posterior cavitación.

Para analizar la influencia del ancho a la salida del orificio (W_o), se compararán las toberas T1, T4, T5 y T6. Se inicia el análisis comparativo entre las toberas T1, T4 y T5, dejando para el final el análisis de la tobera T6. Al observar la Figura 14 se observa claramente el colapso de las toberas T1 y T5. No obstante para la tobera T4 solo llega a apreciarse el colapso para la presión de inyección más elevada. Para observar este hecho más claramente, al ver los valores obtenidos en la Tabla 2 para la tobera T4 a una presión de inyección de 3MPa que el gasto másico no colapsa ($K_{crit} = 1$) y solo empieza a colapsar para las presiones de 5 y 7MPa. Sin embargo, la tendencia mostrada por los números de cavitación críticos (ver Figura 16) es clara, a medida que incrementa el valor del ancho a la salida de la tobera (W_o) el flujo es más propenso a alcanzar las condiciones de colapso. Esto se debe a que en una tobera con una menor restricción a la entrada del orificio (por ejemplo, la tobera T5), genera menores pérdidas de carga que a su vez favorece la formación de zonas de recirculación y la posterior aparición de zonas cavitantes y colapso. En cuanto a la tobera T6 se observa que esta tobera en particular no sigue la tendencia mostrada por las otras tres toberas; es decir, aunque posee una sección de entrada bastante grande, la cual no genera grandes pérdidas a la entrada del orificio, requiere de condiciones más críticas para llegar a las condiciones de colapso.

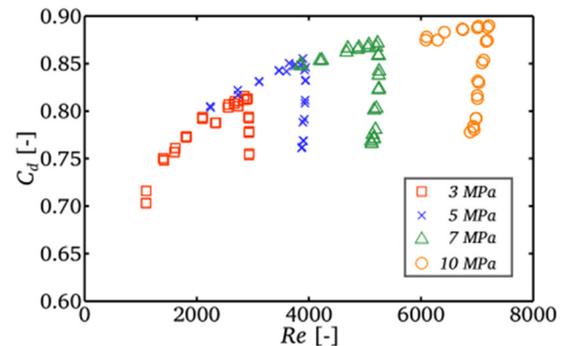
De forma similar para el análisis de la sección de salida (D_h), se toman en cuenta las toberas T6, T7 y T8. Estas toberas tienen diferentes secciones a la salida y como se muestra en la Figura 16, la tobera con menor sección de salida (tobera T6) requiere de unas condiciones más severas para alcanzar el punto de colapso. La explicación de este comportamiento, nuevamente se debe a una mayor pérdida de carga a la entrada del orificio al tener una tobera con un D_h menor haciendo que el flujo sea menos propenso a cavitarse y por tanto que necesite de unas condiciones más severas para que el flujo másico colapse.

Por último, se evalúa la influencia de la presión de inyección en el colapso del gasto másico. Este comportamiento se observa en la Figura 16, mostrando que se requieren de unas condiciones menos severas para alcanzar el colapso del gasto másico conforme aumenta la presión de inyección como ha sido mostrado por otros autores (Salvador F. J., 2003), (De la Morena, 2011). No obstante, la tobera T2 siempre conserva el valor de la unidad ya que nunca llega a colapsar el gasto másico.

3.2 INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA EN EL COEFICIENTE DE DESCARGA

Adicionalmente, aparte del valor de flujo másico obtenido en condiciones estacionarias, se puede calcular el coeficiente de descarga según la ecuación (2). En la Figura 17 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos de C_d en función de Re para la tobera T1 a diferentes presiones de inyección. Se puede observar que el coeficiente de descarga (C_d) tiene una evolución asintótica con el número de Reynolds (Re). Sin embargo, en el momento que el gasto másico empieza a colapsar, el coeficiente de descarga cae bruscamente, abandonando el comportamiento asintótico frente al número de Reynolds.

C_d en función de Re para la tobera T1.

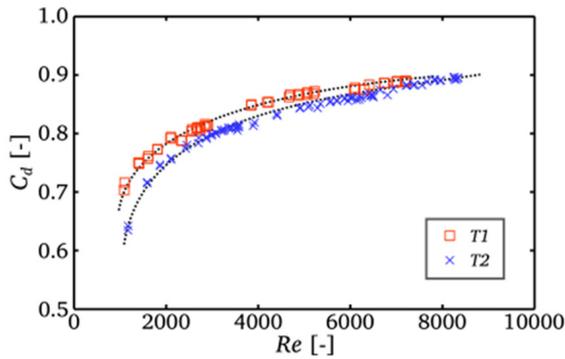


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Analizando las condiciones de no colapso, en la Figura 18 se observa un comparativo del coeficiente de descarga entre las toberas T1 y T2 (radio de acuerdo diferentes). Se puede apreciar en esta figura que el coeficiente de descarga de la tobera T1 es mayor y que la diferencia de C_d es un poco mayor a bajos regímenes y posteriormente se van igualando. De hecho, en la Figura 18 se puede apreciar que el valor asintótico del coeficiente de descarga en la tobera T2 parece superar el valor asintótico de la tobera T1 a números de Reynolds más elevados.

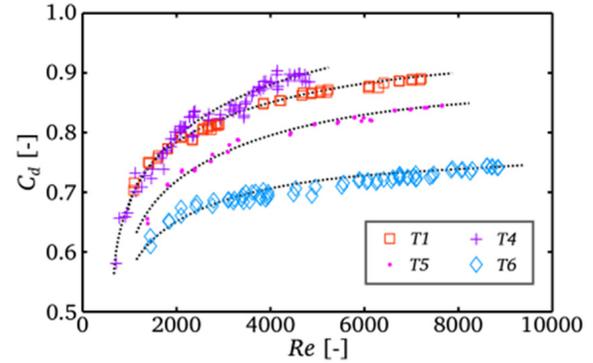
Este comportamiento se debe al gran radio de acuerdo que posee la tobera T2, favoreciendo la entrada del flujo al interior del orificio de inyección con unos cambios de direccionalidad menos bruscos en comparación con la tobera T1 que tiene un radio de acuerdo nulo. Sin embargo, dejando de un lado el máximo valor que puede alcanzar el coeficiente de descarga (C_{dmax}), se puede observar en la Figura 18 que los puntos experimentales de la tobera T2 se encuentran por debajo de la tobera T1 y se van alejando conforme el régimen del fluido es menor. Lo anterior se debe a que con bajos regímenes, las pérdidas por fricción a través del orificio predominan sobre las pérdidas a la entrada del orificio y según lo mostrado tienen un mayor efecto sobre la tobera T2 al ser un poco más ancha y larga que la tobera T1.

C_d en función de Re y ν^* .



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

C_d en función de Re y W_o .

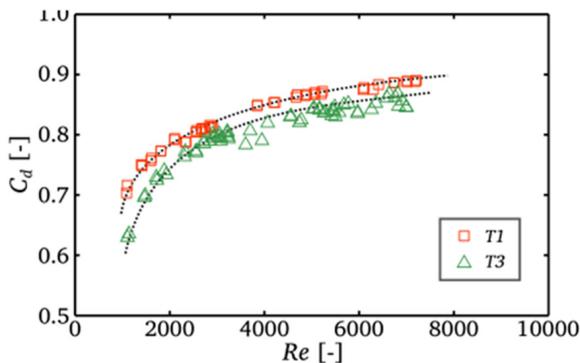


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Por su parte en la Figura 19, al comparar las toberas T1 y T3 (diferente longitud de orificio), se puede observar que el coeficiente de descarga de la tobera T3 se encuentra por debajo del coeficiente de descarga de la tobera T1, en todos los regímenes ensayados; incluyendo el valor asintótico del coeficiente de descarga a altos regímenes de acuerdo a la tendencia mostrada. Este comportamiento era de esperarse puesto que las pérdidas por fricción son mayores en la tobera T3 al tener una mayor longitud el orificio de inyección suponiendo unas pérdidas a la entrada muy similares para las dos toberas, puesto que tiene la misma sección transversal y un radio de acuerdo nulo.

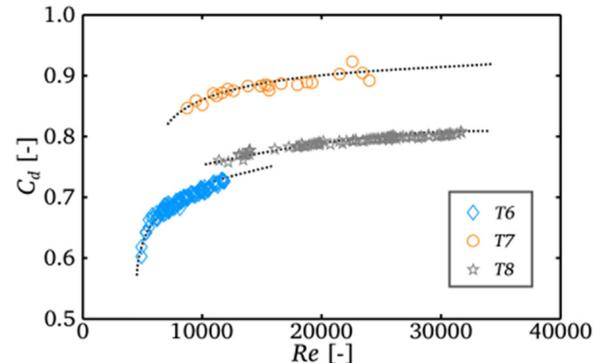
En la Figura 21 se muestra el comportamiento del coeficiente de descarga para tres toberas con diferentes secciones. Observando estos resultados, se puede analizar que, aunque la tobera con una mayor sección (tobera T7) presenta unas mayores pérdidas por fricción para un mismo régimen debido a una mayor superficie de contacto con el fluido, las pérdidas a la entrada del orificio son menores. Ahora puesto que los cambios de sección entre las toberas son más significativos, las pérdidas a la entrada del orificio predominan sobre las pérdidas por fricción, haciendo que una tobera con una gran sección tenga unas pérdidas totales menores y por tanto un coeficiente de descarga mayor.

C_d en función de Re y L .



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

C_d en función de Re y D_o .

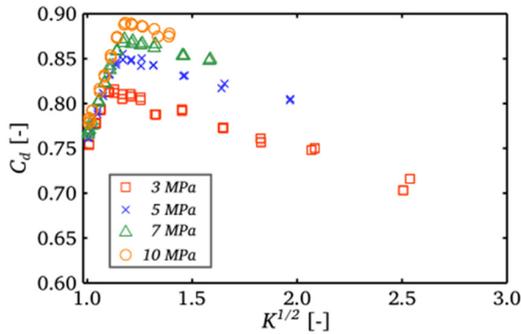


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En la Figura 20 se observa como varía el coeficiente de descarga para diferentes anchos de tobera. Así, esta figura muestra que la tobera con la sección más pequeña a la salida (tobera T4), tiende a tener un coeficiente de descarga mayor que las demás toberas y éste va disminuyendo conforme el ancho a la salida de la tobera (W_o) va incrementando (ver Tabla 1). Este comportamiento se debe a que una tobera con un ancho más grande tiene una mayor superficie de contacto con el fluido generando unas posibles mayores pérdidas por fricción, lo cual se ve reflejado en un menor coeficiente de descarga; es decir, comparando estas toberas, las pérdidas por fricción tienen una mayor influencia en las pérdidas de carga totales.

Una vez estudiado el comportamiento hidráulico de las toberas antes que ocurra el colapso del gasto másico se procede a estudiar el comportamiento del coeficiente de descarga en condiciones de colapso. Como se mostró en el modelo de Nurick (ecuación (4)), en condiciones de colapso el coeficiente de descarga es lineal con la raíz cuadrada del número de cavitación ($K^{1/2}$). La Figura 22 muestra un ejemplo del comportamiento del C_d en función de $K^{1/2}$ para la tobera T1 a diferentes presiones de inyección.

C_d en función de $K^{1/2}$ para la tobera T1.

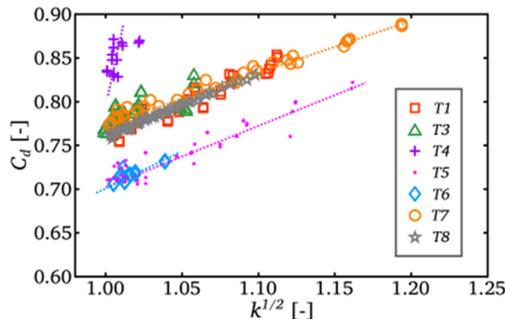


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Se puede ver en la Figura 22 que para todas las presiones de inyección los puntos de no colapso caen aproximadamente sobre la misma recta, aunque en realidad cada presión de inyección tiene su propia recta pese a no ser apreciado. Por otro lado, los puntos de más a la derecha representan el coeficiente de descarga antes del colapso para cada presión de inyección, siendo estos dependientes del número del Reynolds como se estudió anteriormente.

Finalmente, en la Figura 23 se pueden comparar las diferentes toberas en las condiciones de colapso, representado únicamente los resultados donde el gasto másico ha colapsado, mostrando que todas las toberas tienen un comportamiento lineal del C_d en función de $K^{1/2}$.

C_d en función de $K^{1/2}$.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

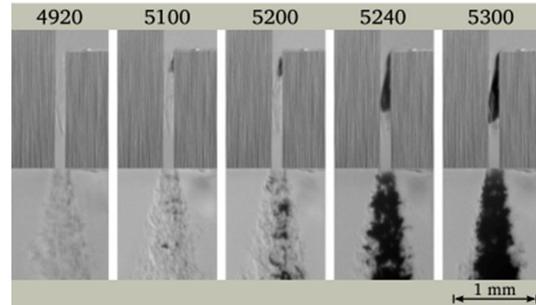
Con los valores obtenidos, en (Venegas, 2014) se propone un modelo que predice el comportamiento hidráulico en condiciones de colapso y no colapso para diferentes anchos a la salida de la tobera.

3.3 VISUALIZACIÓN DE LA CAVITACIÓN

En la sección anterior se ha estudiado la caracterización hidráulica de cada una de las toberas evidenciando el fenómeno de la cavitación a través del criterio tradicional de colapso del gasto másico. Con el fin de avanzar un poco más en el entendimiento de este fenómeno y de su influencia en el flujo interno, en esta sección se estudiará la aparición de la cavitación tanto en el interior del orificio como a la salida del mismo y su desarrollo en el interior del orificio. Para ello se ha usado la técnica de visualización, descrita en la metodología, inyectando sobre una atmósfera líquida usando gasoil comercial. En (Venegas, 2014) se muestran diferentes tipos de pruebas preliminares a las pruebas finales aquí presentadas y se detalla el procedimiento para el procesamiento de las imágenes.

En la Figura 24 se muestra un ejemplo la evolución del flujo interno y en la salida del orificio a diferentes regímenes (Números de Reynolds) para la tobera T4 con imágenes procesadas. En esta figura de izquierda a derecha se observa una primera imagen sin cavitación con gradientes de densidad a la salida del orificio, seguida de una imagen donde aparece la cavitación en el interior del orificio y unas pequeñas burbujas a la salida, posteriormente la cavitación en el interior va incrementando conforme aumenta el régimen del flujo. Como se menciona en (Venegas, 2014) es posible que para los Números de Reynolds más altos la cavitación se extienda hasta la salida del orificio, pero por la presencia de micro-grietas que se forman justo a la salida resulta complejo determinar el vapor del combustible en esta zona.

Evolución del flujo interno y a la salida a diferentes R_e para T4.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Una vez se han adquirido las imágenes, el siguiente paso consiste en encontrar los números de cavitación críticos cuando aparece la cavitación incipiente y las primeras burbujas a la salida ($K_{crit,i}$ y $K_{crit,v}$ respectivamente) para todas las toberas y condiciones de presión. Así, en la Tabla 3 se han resumido los valores de $K_{crit,i}$ y $K_{crit,v}$ para cada una de las toberas a las diferentes presiones de inyección ensayadas con el fin de comparar los resultados obtenidos a partir de la visualización con los determinados en la caracterización hidráulica (Tabla 2).

$K_{crit,i}$ y $K_{crit,v}$ a diferentes presiones de inyección.

Tobera	3 MPa		5 MPa		7 MPa		10 MPa	
	$K_{crit,v}$	$K_{crit,i}$	$K_{crit,v}$	$K_{crit,i}$	$K_{crit,v}$	$K_{crit,i}$	$K_{crit,v}$	$K_{crit,i}$
T1	1.22	1.22	1.29	1.46	1.30	1.58	1.39	1.77
T2	1.00	1.00	1.04	1.04	1.11	1.11	1.13	1.13
T3	1.14	1.14	1.22	1.29	1.23	1.46	1.23	1.59
T4	1.02	1.02	1.09	1.09	1.16	1.16	1.16	1.22
T5	1.31	1.31	1.43	1.53	1.54	1.87	1.54	1.85
T6	1.21	1.21	1.26	1.35	1.36	1.49	1.48	1.60
T7	1.50	1.80	1.53	1.83	1.67	1.85	1.69	2.07
T8	1.24	1.36	1.28	1.51	1.27	1.62	1.31	1.67

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

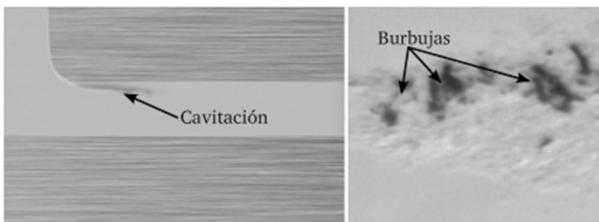
Como se puede observar en las Tabla 3, las tendencias que tienen estos números de cavitación críticos son muy similares a los mostrados en la Tabla 2; es decir, los números de cavitación críticos, tomando como criterios la aparición de las burbujas a la salida y la cavitación incipiente, tienen la misma tendencia mostrada en el gráfico de burbujas de la Figura 16, respecto a la geometría de las toberas y presión de inyección. Por lo tanto, de nuevo se observa que toberas con un mayor radio de acuerdo (R_e), mayor longitud de orificio (L) y menor ancho a la salida de la tobera (W_o ó D_o) tienen menos tendencia a cavitarse y por otro lado que los números de cavitación críticos son mayores conforme aumenta la presión de inyección, independiente del criterio que se utilice.

Sin embargo, comparando los nuevos criterios, por medio de la visualización, con el criterio tradicional de colapso del gasto másico, en general se observa que, la aparición de las primeras burbujas a la salida de la tobera se da a unas condiciones menos críticas (menor Δp ó mayor K) que el colapso del gasto másico y a su vez la cavitación incipiente se presenta a unas condiciones menos críticas que la aparición de las primeras burbujas a la salida del orificio.

Esto ocurre para la mayoría de las toberas y condiciones; no obstante, para la presión de 3MPa se observa que para las toberas T1 a T6, el número de cavitación crítico $K_{crit,v}$ es igual al número de cavitación crítico $K_{crit,i}$; por tanto, la aparición de las primeras burbujas a la salida del orificio se presenta de forma simultánea a la cavitación incipiente, mostrando que la formación de burbujas a la salida no dependen únicamente de la evolución de cavitación en el interior hasta la salida, sino que pueden existir condiciones locales a la salida que propician la formación de estas burbujas, restándole así importancia a la influencia de las zonas de vapor en el interior del orificio en la formación de estas burbujas a la salida.

En particular, se observa que en la tobera T2, $K_{crit,v}$ es igual a para todas las presiones de inyección y además $K_{crit,i}$ a partir de 5MPa, lo que significa que la tobera aunque no presenta colapso del gasto másico si llega a aparecer cavitación en el interior del orificio como se muestra en la Figura 25.

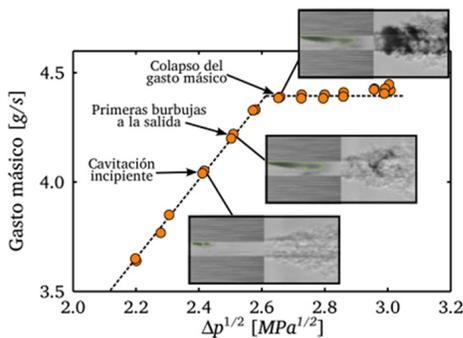
Cavitación incipiente y burbujas a la salida para la tobera T2.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Así, se puede afirmar que aún en condiciones donde el flujo sigue comportándose de forma lineal con la raíz cuadrada de la diferencia de presiones, puede existir cavitación en el interior y adicionalmente la cavitación en el interior del orificio aparece mucho antes que se produzca el colapso del gasto másico, tal como se puede ver en la Figura 26 para la tobera T1.

Diferentes condiciones del flujo. Tobera T1, $p_i = 10MPa$

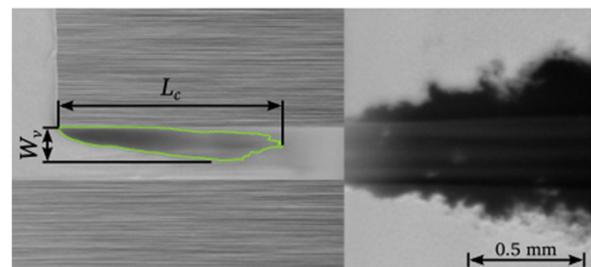


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Lograr determinar la existencia de cavitación en condiciones previas al colapso del gasto másico concuerda con los resultados obtenidos en otros estudios donde muestran que para que exista colapso de flujo másico las condiciones de cavitación han de ser relativamente severas (Winklhofer, Kull, Kelz, & Morozov, 2001). De hecho, a través de la visualización del flujo interno es posible identificar que una vez el gasto másico ha colapsado, el flujo cavitante se ha extendido por gran parte del orificio.

Para caracterizar la evolución de la extensión ocupada por la cavitación en el interior de los orificios, se han propuesto dos parámetros: la longitud desarrollada por la cavitación (L_c) desde la entrada hasta la salida del orificio y el ancho máximo ocupado por la zona de vapor (W_v) en la dirección transversal del orificio. En la Figura 27 se muestra un ejemplo de una imagen procesada mostrando los dos parámetros utilizados para caracterizar el desarrollo de la cavitación en el interior del orificio.

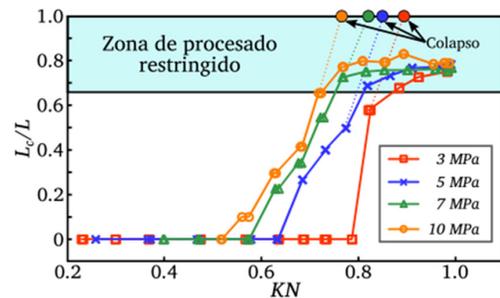
Parámetros utilizados para caracterizar la cavitación.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En la Figura 28 se muestra la evolución de la relación L_c / L frente al número de cavitación KN (inverso de K , ver ecuación (3)) para la tobera T1 a diferentes presiones de inyección. Esta representación es similar a la mostrada por Sato y Saito (Sato & Saito, 2002) en la Figura 3 aunque en la Figura 28 se ha utilizado el número de cavitación KN en lugar de CN^{-1} .

L_c / L promedio en función de KN . Tobera T1.



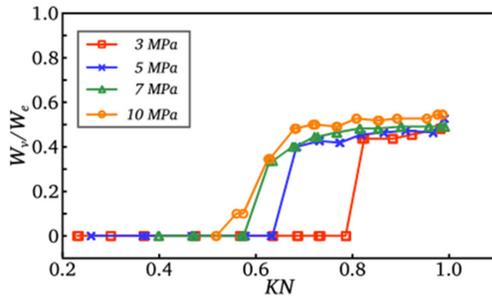
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En esta figura se puede apreciar que, desde la aparición de la cavitación, la longitud desarrollada por la cavitación va incrementando conforme las condiciones se van haciendo más críticas (mayor KN). Sin embargo, llega un punto donde aparentemente L_c no sigue incrementando y se estabiliza en torno a un 80% de la longitud total del orificio (L) y no en torno al 100% como habría de esperarse. Esto se debe a la dificultad de procesar la parte final del orificio por la presencia de micro-grietas generadas en las ventanas, es decir; seguramente la cavitación se ha desarrollado hasta la salida del orificio (existencia de supercavitación) pero la presencia de micro-grietas en el final de la tobera hace que no sea posible visualizar y detectar por completo el contorno de la cavitación en esta zona.

No obstante, teniendo la tendencia de la evolución longitudinal de la cavitación hasta el 80% de la longitud del orificio, es posible suponer su trayectoria hasta la parte final del orificio (líneas punteadas de la Figura 28) y llegar a concluir que el colapso del gasto másico efectivamente se presenta en condiciones muy cercanas a las condiciones de supercavitación como ha sido visto por Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995).

Ahora con el fin de observar la evolución de la zona de vapor en el sentido transversal del orificio, en la Figura 29 se representa la relación entre el ancho ocupado por el vapor y el ancho de la tobera a la entrada (W_v / W_e).

L_c / L promedio en función de KN. Tobera T1.

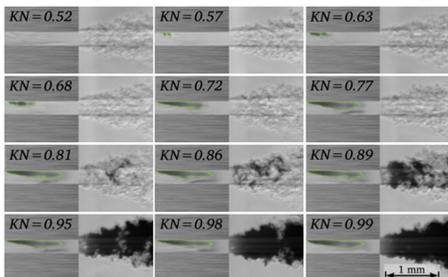


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En la Figura 29 se aprecia como una vez aparece la cavitación, W_v va incrementando conforme las condiciones se van haciendo más críticas y posteriormente se estabiliza en torno a un 50% del ancho del orificio. Adicionalmente, se observa que el máximo valor de W_v / W_e se escala con la presión de inyección, de forma que la zona cavitante ocupa una zona transversal al orificio un poco más amplia con el aumento de la presión de inyección.

Con el fin de apreciar un ejemplo de la evolución de la cavitación en el interior del orificio para la Tobera T1, en la Figura 30 se muestran imágenes a diferentes condiciones de contrapresión para la presión de inyección de 10MPa. Con las otras presiones de inyección la evolución de la cavitación es similar, aunque se va presentando a unas condiciones más críticas a medida que disminuye la presión de inyección.

Evolución de la cavitación para la Tobera T1. $P_i = 10MPa$.

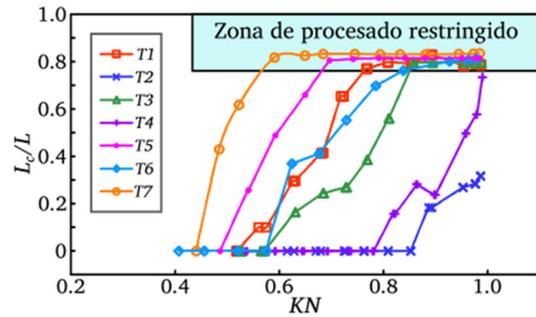


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Finalmente, con el propósito de llevar a cabo un comparativo entre las diferentes toberas y observar la influencia por separado de cada parámetro geométrico, relacionado con el análisis hecho en la caracterización hidráulica, a continuación, se hace un análisis de cada parámetro por separado.

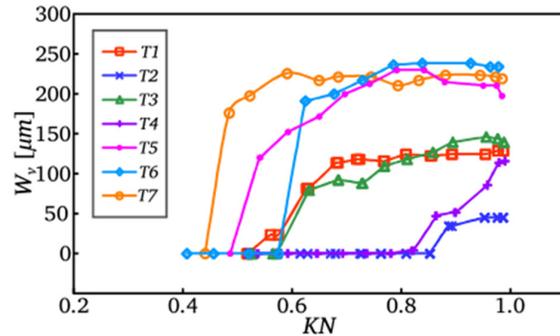
Para llevar a cabo este análisis, en la Figura 31 y en la Figura 32 se muestra la evolución de la relación L_c / L y el ancho de la zona de vapor (W_v) respectivamente para la presión de inyección más elevada (10MPa). Con las demás presiones ocurre algo similar a lo analizado con la presión de 10MPa.

L_c / L en función de KN. $P_i = 10MPa$.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

W_v / W_e en función de KN. $P_i = 10 MPa$.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

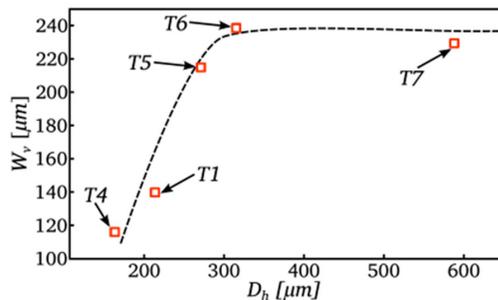
Al comparar las toberas T1 y T2 (diferente r_e), en la Figura 31 se observa que la tobera T2 necesita de unas condiciones críticas para empezar a cavitarse y la cavitación se extiende a tan solo un 30% de su longitud total mientras que en la tobera T1 parece llegar hasta la parte final del orificio (aunque se visualiza un 80% de la longitud del orificio). Estos datos resultan coherentes con los obtenidos en la caracterización hidráulica, mostrando el efecto de la supercavitación en el colapso del gasto másico (tobera T1). En cuanto a la evolución de la cavitación en el sentido transversal del orificio, en la Figura 32 se observa algo similar a la evolución longitudinal, mostrando que la cavitación en el caso de la tobera T2 se extiende a tan solo unas 50µm comparado con las 100µm a los que se extiende la tobera T1, resultado del cambio abrupto de la direccionalidad del flujo a la entrada del orificio en ésta última.

Para observar la influencia de la longitud del orificio (L), se comparan las toberas T1 y T3. Como se observa en la Figura 31 la tobera T3 requiere de unas condiciones más severas para una misma relación (L_c / L), lo cual en términos absolutos significa que la longitud de cavitación (L_c) se extiende más rápidamente en la tobera T3. En cuanto a la evolución transversal las diferencias son menos apreciables, puesto que al tener ambas un radio de acuerdo nulo, la direccionalidad del flujo a la entrada es similar haciendo que el ancho estabilizado de estas zonas de recirculación sea muy similar entre las dos toberas.

En cuanto a la influencia del ancho del orificio, se puede observar que, hasta un determinado ancho, la aparición y evolución de la cavitación (tanto de L_c como de W_v) se beneficia cuanto más grande es. Sin embargo, la tobera T6 tiene un comportamiento diferente, lo que muestra que la evolución longitudinal y transversal de la cavitación de la tobera T6 requiere de unas condiciones más críticas debido a unas mayores pérdidas por fricción a pesar de tener unas menores pérdidas a la entrada en comparación con las toberas T1, T4 y T5.

Ahora para conocer la influencia de la sección de salida incluyendo la tobera T7, en la Figura 33 se observa el comportamiento del ancho de vapor máximo estabilizado, $W_{v,max}$ (ver Figura 32) en función del diámetro hidráulico (D_h) de las toberas T1, T4, T5, T6 y T7, en la cuales la zona de vapor llega a estabilizarse en la dirección transversal del orificio.

W_v máximo estable en función de D_h , $P_i = 10$ MPa.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Esto pone de manifiesto que la extensión de la zona de vapor cuantificada a partir de $W_{v,max}$ en las toberas de mayor dimensión no guarda una relación directa con la sección de salida; es decir, el comportamiento de $W_{v,max}$ parece indicar que a partir de un determinado tamaño a la salida de la tobera la extensión de la cavitación en el sentido transversal del orificio tiene su propia escala y deja de depender del tamaño de la tobera.

4. CONCLUSIONES

Se determinó la influencia que tiene la presión de inyección en el colapso del gasto másico, mostrando que a medida que la presión de inyección (P_i) es mayor incrementa el número de Reynolds (Re) favoreciendo la turbulencia en el interior del orificio, lo cual hace la tobera sea más propensa a cavitarse requiriendo unas condiciones menos críticas en la descarga (mayor P_{bcrit}).

Se logró estudiar la influencia de la geometría en la tendencia a cavitarse de una tobera. Así se pudo observar que toberas con mayor radio de acuerdo (r_a), mayor longitud de orificio (L) y menor sección de salida (W_o y/o D_h) son menos propensas a cavitarse. Esta tendencia ha sido analizada y se relaciona físicamente con unas mayores pérdidas a la entrada (en el caso de menores radios de acuerdo y menores secciones a la entrada) y unas mayores pérdidas por fricción al incrementar la longitud del orificio. No obstante, se pudo observar que, a partir de un determinado tamaño de sección, las pérdidas por fricción empiezan a tener mayor relevancia necesitando de unas condiciones más críticas para que el gasto másico colapse como es el caso de la tobera T6. Esto se encuentra relacionado con unos mayores números de cavitación críticos

(K_{crit}) conforme incrementa el número de Reynolds (Re).

Si bien el colapso de flujo másico ha sido utilizado frecuentemente como criterio para detectar el inicio de la cavitación, se han detectado que los primeros indicios de cavitación en el interior del orificio (cavitación incipiente) y las burbujas de cavitación a la salida de la tobera se presentan en condiciones en las que el flujo aún no está colapsado. Esto indica que para que el flujo másico llegue a colapsarse es necesario que la cavitación esté considerablemente extendida a lo largo del orificio.

Con los datos provenientes tanto de la caracterización hidráulica como de la visualización para las toberas T1, T4, T5 y T6 fue posible determinar correlaciones para predecir el comportamiento del gasto másico, el coeficiente de descarga y los números de cavitación críticos en función de la geometría de la tobera, logrando así predecir el comportamiento hidráulico, la cavitación incipiente y la aparición de las burbujas a la salida del orificio para un ancho de tobera determinado. Adicionalmente se determina la tendencia de los números de cavitación críticos en función del número de Reynolds mostrando una tendencia asintótica. Así, se logró observar que conforme el ancho a la salida es más pequeño se requieren de unas condiciones más severas para empezar a cavitarse y para que el gasto másico colapse.

En cuanto a la evolución de la cavitación en el interior del orificio se pudo mostrar a partir de los parámetros L_c y W_v la extensión de la zona de vapor a lo largo y ancho del orificio respectivamente.

A pesar de las micro-grietas en la parte final de los orificios de las toberas planas estudiadas, se pudo observar a partir de las tendencias de L_c que el colapso del gasto másico se presenta en condiciones de cavitación extrema muy cercana a las condiciones de supercavitación.

Adicionalmente se logró observar que no solo la geometría de las toberas propicia la formación de la cavitación. Por ejemplo, analizando las imágenes de la tobera T2; se visualizaron pequeñas zonas de vapor en su interior a pesar de tener un radio de acuerdo lo suficientemente grande, lo que pone de manifiesto la formación de la cavitación por otros factores como irregularidades en la superficie que entra en contacto con el fluido.

Se pudo analizar que la extensión de la zona de vapor en el sentido transversal del orificio alcanza un valor máximo a partir del cual se estabiliza. Además, se observó que este valor máximo $W_{v,max}$ tiene su propia escala a partir de un determinado tamaño en la sección de salida.

Este capítulo es producto de la tesis doctoral titulada "Estudio del fenómeno de la cavitación en la inyección Diesel mediante la visualización del flujo interno en orificios" realizada en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universitat Politècnica de València - España.

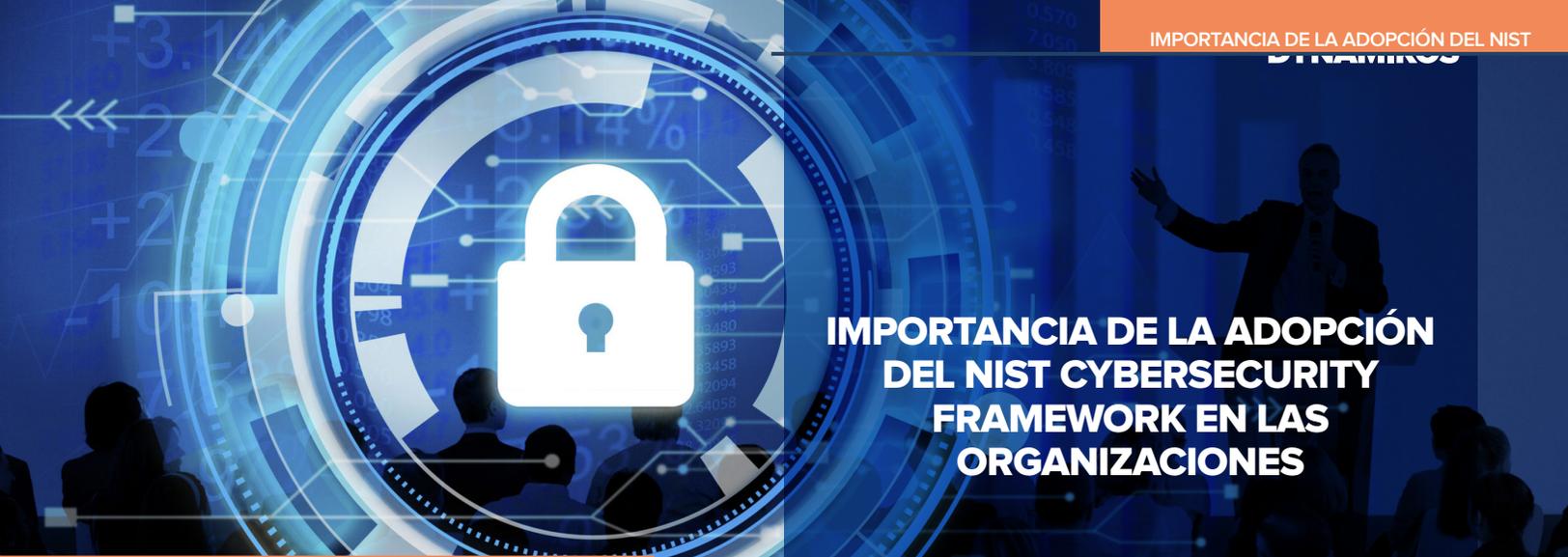


REFERENCIAS

- Andriotis, A., & Gavaises, M. (2009). Influence of vortex flow and cavitation on near-nozzle Diesel spray dispersion angle. *Atomization and Sprays*, 19-3, 247-261. Obtenido de <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,2eb1978e25960e38,72d1ecca50e47b34.html>
- Arai, M., Shimizu, M., & Hiroyasu, H. (1991). Similarity between the breakup lengths of a high speed liquid jet in atmospheric and pressurized conditions. In *ICLASS-91*, Gaithersburg, Maryland.
- Badock, C., Wirth, R., & Tropea, C. (1999). The influence of hydro-grinding on cavitation inside a Diesel injection nozzle and primary break-up under unsteady pressure conditions. *Proc. 15th ILASS-Europe 99*, Toulouse, July 5-7.
- Bae, C., & Kang, J. (2000). Diesel spray characteristics of a common rail VCO nozzle injector. *Thiesel 2000*, Valencia. Editorial de la UPV.
- Bergwerk, W. (1959). Flow pattern in Diesel nozzle spray holes. *Proc. Inst. Mech. Engrs*, 173, n. 25.
- Blessing, M., König, G., Krüger, C., Michels, U., & Schwarz, V. (2003). Analysis of flow and cavitation phenomena in Diesel injection nozzles and its effects on spray and mixture formation. *SAE Paper 2003-01-1358*.
- Bode, J., Chaves, H., Hentschel, W., Kubitzek, A., Obermeier, F., Schindler, K., & Schneider, T. (1992). Fuel spray in Diesel engines. Part I: spray formation. *ATA 92A065*.
- Chaves, H., & Schuhbauer, I. (2006). Cavitation in an asymmetric transparent real size VCO nozzle. *Proceedings of Spray'06*. Obtenido de http://www.raumfahrtantriebe.de/spray2006/files/spray06_chaves_final_paper.pdf
- Chaves, H., Knapp, M., Kubitzek, A., & Obermeier. (1995). Experimental study of cavitation in the nozzle hole of Diesel injectors using transparent nozzles. *SAE Paper 950290*.
- Collicott, S. H., & Li, H. (2006). True-scale, true-pressure internal flow visualization for Diesel injectors. *SAE Paper 2006-01-0890*.
- De la Morena, J. (2011). Estudio de la influencia de las características del flujo interno en toberas sobre el proceso de inyección Diesel en campo próximo. Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València.
- Desantes, J. M., Salvador, F. J., López, J. J., & De la Morena, J. (2011). Study of mass and momentum transfer in Diesel sprays based on X-ray mass distribution measurements and on a theoretical derivation. *Experiments in Fluids*, 50, 233–246. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/s00348-010-0919-8>
- Gao, Y., Deng, J., Li, C., Dang, F., Liao, Z., Wu, Z., & Li, L. (2009). Experimental study of the spray characteristics of biodiesel based on inedible oil. *Biotechnology Advances*, 27, 616-624. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975009000688>
- Gimeno, J. (2008). Desarrollo y aplicación de la medida de flujo de cantidad de movimiento de un chorro Diesel. Ph.D. dissertation, E.T.S. Ingenieros Industriales, Universitat Politècnica de València.
- Hillamo, H., Sarjoavaara, T., Kaario, O., Vuorinen, V., & Larmi, M. (2010). Diesel spray visualization and shockwaves. *Atomization And Sprays*, 20 (3), 177-189. Obtenido de <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,4e45bd991615efe7,2ebac7b60dc70e11.html>
- Hiroyasu, H. (2000). Spray breakup mechanism from the hole-type nozzle and its applications. *Atomization and Sprays*, 10, 511-527. Obtenido de <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,1a3008e01332192c,40dc16525a2ae269.html>
- Hiroyasu, H., Arai, M., & Shimizu, M. (1991). Break-up length of a liquid jet and internal flow in a nozzle. In *ICLASS-91*, Gaithersburg, Maryland, July.
- Jeong, H., Lee, K., & Ikeda. (2007). Investigation of the spray characteristics for a secondary fuel injection nozzle using a digital image processing method. *Measurement Science and Technology*, 18, 1591. Obtenido de <http://iopscience.iop.org/0957-0233/18/5/051>
- Kastengren, A. L., Zak, F. T., Powell, C. F., Manin, J., Pickett, L. M., Payri, R., & Bazyn, T. (2012). Engine Combustion Network (ECN): measurements of nozzle geometry and hydraulic behavior. *Atomization and Sprays*, 22, 1011–1052.
- Kull, E., & Krüger, G. (2004). Correlation of spray symmetry with mass and momentum of multihole Diesel nozzles. *THIESEL 2004 Conference on Thermo and Fluid-dynamic Processes in Diesel Engines*, (págs. 7–10).



- Lee, W. K., Fezzaa, K., & Wang, J. (2005). Metrology of steel micronozzles using x-ray propagation-based phase-enhanced microimaging. *Applied Physics Letters*, 87, 084105. Obtenido de http://apl.aip.org/resource/1/applab/v87/i8/p084105_s1
- Linne, M., Paciaroni, M., Hall, T., & Parker, T. (2006). Ballistic imaging of the near field in a Diesel spray. *Experiments in Fluids*, 40, 836-846. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/s00348-006-0122-0>
- Macián, V., Bermudez, V., Payri, R., & Gimeno, J. (3 de 2003). New technique for determination of internal geometry of a Diesel nozzle with the use of silicone methodology. *Experimental Techniques*, 27, 39-43. Obtenido de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1747-1567.2003.tb00107.x/abstract>
- Nurick, W. H. (1976). Orifice cavitation and its effects on spray mixing. *Journal of Fluids Engineering*, 98, 681–687.
- Payri, F., Bermúdez, V., Payri, R., & Salvador, F. J. (2004). The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in Diesel injection nozzles. *Fuel*, 83, 419-431. doi:DOI: 10.1016/j.fuel.2003.09.010
- Payri, R., Garcia, J. M., Salvador, F. J., & Gimeno, J. (2005). Using spray momentum flux measurements to understand the influence of Diesel nozzle geometry on spray characteristics. *Fuel*, 84, 551–561. doi:DOI: 10.1016/j.fuel.2004.10.009
- Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J., & De la Morena, J. (2009). Study of cavitation phenomena based on a technique for visualizing bubbles in a liquid pressurized chamber. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 768-777. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142727X09000678>
- Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J., & la Morena, J. D. (2009). Effects of nozzle geometry on direct injection Diesel engine combustion process. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2051–2060. doi:DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.10.009
- Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J., & Soare, V. (11 de 2005). Determination of diesel sprays characteristics in real engine in-cylinder air density and pressure conditions. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19, 2040–2052.
- Roosen, P., Unruch, O., & Behmann, M. (1997). Investigation of cavitation phenomena inside fuel injector nozzles. *Rapid Prototyping/Laser Applications in the Automotive Industries*, 439–446.
- Saliba, R., Baz, I., Champoussin, J. C., Lance, M., & Marié, J. L. (2004). Cavitation effect on the near nozzle spray development in high-pressure Diesel injection. *Proceedings of 19th ILASS (Europe)*.
- Salvador, F. J. (2003). Estudio teórico experimental de la influencia de la geometría de toberas de inyección Diesel sobre las características del flujo interno y del chorro. Ph.D. dissertation, E.T.S. Ingenieros Industriales. Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Salvador, J. (2007). Influencia de la cavitación sobre el desarrollo del chorro Diesel. Reverté.
- Sato, K., & Saito, Y. (2002). Unstable cavitation behavior in a circular-cylindrical orifice flow. *JSME International Journal Series B*, 45, 638-645. doi:10.1299/jsmeb.45.638
- Schmidt, D. P., & Corradini, M. L. (2001). The internal flow of Diesel fuel injector nozzles: a review. *Int J Engine Research. JER 00201 ImechE*, 2.
- Soteriou, C., Andrews, R., & Smith, M. (1995). Direct injection Diesel sprays and the effect of cavitation and hydraulic flip on atomization. *SAE Paper 950080*.
- Soteriou, C., Smith, M., & Andrews, R. (1998). Diesel injector laser light sheet illumination of the development of cavitation in orifices. *Proc. ImechE C529/018/98*.
- Sou, A., Tomiyama, A., Hosokawa, S., Nigorikawa, S., & Maeda, T. (2006). Cavitation in a two-dimensional nozzle and liquid jet atomization. *JSME International Journal Series B*, 49, 1253-1259. Obtenido de https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/4/49_4_1253/_article
- Venegas, O. (2014). Estudio del fenómeno de la cavitación en la inyección Diesel mediante la visualización del flujo interno en orificios transparentes. Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València.
- Walther, J. (2002). Quantitative untersuchungen der innenströmung in kavitierenden Dieseleinspritzdüsen. Ph.D. dissertation, TU Darmstadt. Obtenido de <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/241/>
- Winkhofer, E., Kull, E., Kelz, E., & Morozov, A. (2001). Comprehensive hydraulic and flow field documentation in model throttle experiments under cavitation conditions. *ILASS-Europe 2001, Zurich*.
- Yon, J. (2003). Jet Diesel haute pression en champ proche et lointain : Etude par imagerie. Ph.D. dissertation, UFR des Sciences de Rouen



IMPORTANCIA DE LA ADOPCIÓN DEL NIST CYBERSECURITY FRAMEWORK EN LAS ORGANIZACIONES

RECIBIDO: 15072019 ACEPTADO: 15092019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15022020

IMPORTANCE OF THE ADOPTION OF THE NIST CYBERSECURITY FRAMEWORK IN ORGANIZATIONS LUIS EDUARDO BAQUERO REY, MIGUEL HERNÁNDEZ BEJARANO, GABRIEL ANTONIO ROJAS DÍAZ

ABSTRACT

In the context of the research project entitled "Cyber resilience model for online applications" whose main objective is based on the design and implementation of a resilience or recovery model against security problems that may arise in the online transactions of an organization, and from the computer security research hotbed, by advancing what corresponds to the preliminary investigation and attending to the activities programmed for the proper development of the project, we identified the need for organizations in cybersecurity to have and maintain a common framework related to information security. In this sense, we set out to study the NIST Cybersecurity Framework and determine the importance of its adoption in an organization.

KEYWORDS: Cybersecurity, framework, NIST, organization.

1 [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000550892] Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia – lebaqueror@libertadores.edu.co

2 [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001158414] Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia – mhernandezb@libertadores.edu.co

3 Gabriel Antonio Rojas Díaz [CV] Estudiante del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia – garojasd@libertadores.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El marco para mejorar la ciberseguridad de la infraestructura crítica fue emitido el 12 de febrero de 2014, según lo dispuesto por el presidente de los Estados Unidos en Orden Ejecutiva 13636. Se refiere a un marco voluntario, basado en estándares existentes, directrices y prácticas que proporciona una guía para reducir riesgos dentro de las infraestructuras críticas de las organizaciones; este marco de ciberseguridad (CSF, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). Provee un conjunto detallado de controles de seguridad que se centran en desarrollar perfiles individuales para los operadores. Los controles de seguridad de CSF se distribuyen en cinco dominios: Identificar; Proteger; Detectar; Responder; Recuperar.

La seguridad de la información, por fortuna, es un tema que día a día preocupa más a las organizaciones, esto cubre el aseguramiento de su infraestructura crítica buscando garantizar la continuidad del negocio y desde años atrás vienen haciendo esfuerzos ingentes en ello, cuyo resultado ha sido la suma de esfuerzos y experiencias significativas, muchas de ellas aisladas, sin ningún marco de trabajo común que les pueda ahorrar tiempos y dinero, y que a la vez se puedan sentir mejor protegidos frente al sinnúmero de amenazas cibernéticas existentes tanto internas como externas. Pensando en esta situación, se estudia y se resalta la importancia de su adopción del NIST Cybersecurity Framework en las organizaciones.

2. LAS CIBERAMENAZAS

Los ciberdelincuentes se están volviendo cada vez más sofisticados y son capaces de explotar la vulnerabilidad de día cero y la amenaza persistente avanzada (APT) (Zhao et al., 2020), los ciberdelincuentes y los ciberterroristas tienen un amplio arsenal de armas para utilizar en sus actividades, siendo esto un problema de seguridad siempre han sido el foco principal, sin importar en el sector académico o industrial, agentes difieren considerablemente en términos del nivel de participación requerido por el perpetrador, la sofisticación de la herramienta, los mecanismos de protección y muchos otros factores. Sin embargo, lograr la ciberseguridad requiere que las personas, las empresas y las agencias gubernamentales se aseguren de que están preparados y son capaces de defender sus propios datos y redes de todas y cada una de las formas, dado que incluso las soluciones tecnológicas más avanzadas pueden ser eludidas por un pirata informático que pueda engañar a un empleado para que dé su información de inicio de sesión.

Los métodos más comunes se enumeran y describen brevemente aquí incluyen (Bullock, Haddow, & Coppola, 2018):

- Sitio web malicioso: funciona explotando la forma en que funcionan los navegadores web, de modo que se descarga software dañino en la computadora del usuario.
- Virus: programas que funcionan sin ser vistos ni detectados en una computadora u otro hardware para influir en la forma en que funciona el sistema operativo del dispositivo.
- Caballo de Troya: un programa que, como un virus, existe para influir en la forma en que opera un componente de hardware o un programa de software, pero que se disfraza para aparecer como un programa útil que el usuario afectado instala a sabiendas en su sistema o dispositivo.

- Gusano: un tipo de virus que puede replicarse en un sistema infectado sin ninguna acción humana.
- Spyware: programas que se instalan en un sistema o dispositivo sin el conocimiento del usuario con el fin de recopilar información y transmitirla al origen del ataque.
- Registrador de pulsaciones de teclas (keylogger): programas o dispositivos físicos que registran cada tecla pulsada por el usuario en una sucesión ordenada.
- Malware: un nombre general para cualquier programa que busque comprometer, interrumpir o robar un dispositivo o sistema (también conocido como código malicioso o software malicioso).
- Ataque de denegación de servicio (DOS) / denegación de servicio distribuido (DDOS): impide el acceso o el uso de un sitio web o sistema de gestión de información.
- Bot: una computadora que ha sido tomada de forma remota por un atacante, casi exclusivamente a través de su conexión a Internet, con fines nefastos (generalmente para ataques DDOS).
- Hack: un acceso exitoso a un sistema informático o de información utilizando medios nefastos.
- Phishing: un método que utilizan los piratas informáticos para obtener la información de identificación y contraseña de un objetivo involuntario que generalmente implica el uso de ingeniería social.
- Spoofing: un método que se usa a menudo en esquemas de phishing en el que un pirata informático puede disfrazar su propia dirección de correo electrónico para que parezca una en la que su objetivo podría confiar.
- Envenenamiento de DNS (o suplantación de DNS): una forma de piratería en la que el pirata informático puede desviar el tráfico de un sitio web legítimo al suyo, dándoles así acceso a todos los datos que los usuarios normalmente proporcionarían al propietario legítimo del sitio web.
- Exploit: un error o una vulnerabilidad desconocida en el software o sistema que permite que un hacker acceda.
- Clickjacking: un método de piratería en el que el pirata informático engaña a un objetivo para que haga clic en algo que parece legítimo, pero de hecho lo dirige a otro sitio web o intenta instalar software malicioso en su computadora.
- Cookies: pequeños paquetes de información que un sitio web almacena en la computadora de un usuario para rastrear, almacenar y luego devolver información al sitio web con el fin de comprender la actividad previa (utilizada tanto para sitios web legítimos como para piratas informáticos).
- Inyección de SQL: un método de piratería en el que el pirata informático ingresa código en una interfaz de base de datos, u otro programa basado en datos, para ordenar al programa que les envíe parte o toda la información que el sistema está almacenando.
- Skim: una acción en la que se recopilan datos personales de una tarjeta de crédito durante una transacción en persona sin el conocimiento del propietario.

- Ingeniería social: métodos que utilizan medios psicológicos o no técnicos para engañar a las víctimas para que entreguen voluntaria o involuntariamente su información personal, incluida la información de inicio de sesión y las contraseñas.

- Ransomware, rescate y chantajes cibernéticos: herramientas y acciones en las que un ciberdelincuente altera o corrompe los datos en un sistema objetivo y luego instruye a una persona a cargo del material objetivo para que proporcione un pago de rescate a cambio de la reparación de los datos.

3. COMPROMISO PÚBLICO DESDE LA CASA BLANCA

El ciberespacio toca prácticamente todo y a todos. Proporciona una plataforma para la innovación y la prosperidad y los medios para mejorar el bienestar general en todo el mundo. Pero con el amplio alcance de una infraestructura digital flexible y ligeramente regulada, los grandes riesgos amenazan a las naciones, las empresas privadas y los derechos individuales.

El gobierno tiene la responsabilidad de abordar estas vulnerabilidades estratégicas para garantizar que los Estados Unidos y sus ciudadanos, junto con la comunidad más amplia de naciones, puedan realizar todo el potencial de la revolución de la tecnología de la información; en tal sentido la arquitectura de la infraestructura digital de la nación, basada en gran medida en Internet, no es segura ni resistente. Sin grandes avances en la seguridad de estos sistemas o un cambio significativo en la forma en que se construyen u operan, es dudoso que Estados Unidos pueda protegerse de la creciente amenaza del ciberdelito y las intrusiones y operaciones patrocinadas por el estado.

La infraestructura digital ya ha sufrido intrusiones que han permitido a los delincuentes robar cientos de millones de dólares, y a los estados-nación y otras entidades robar propiedad intelectual e información militar sensible (House, 2020). Otras intrusiones amenazan con dañar partes de nuestra infraestructura crítica. Estos y otros riesgos tienen el potencial de socavar la confianza de la Nación en los sistemas de información que subyacen a nuestros intereses económicos y de seguridad nacional; señalan desde la sede de gobierno federal.

4. EL MARCO DE CIBERSEGURIDAD CSF

El NIST Cybersecurity Framework es un marco de trabajo con enfoque basado en el riesgo que ayuda a quienes enfrentan amenazas de ciberseguridad a observar sistemáticamente qué son (personas, información, instalaciones, etc.), qué los amenaza (y cuáles podrían ser las posibles consecuencias de esas amenazas), qué se puede hacer para abordar esas amenazas y responder a ellas, y qué se puede hacer para garantizar una recuperación rápida.

Hay tres partes principales del marco, que incluyen: El Marco Básico o Framework Core, descrito como un conjunto de actividades de ciberseguridad y referencias informativas que son comunes en los sectores de infraestructura crítica. Las actividades de ciberseguridad están agrupadas en cinco funciones, cada una de las cuales proporciona una visión de alto nivel de la gestión de los riesgos cibernéticos de una organización. Estos incluyen (Bullock, Haddow, & Coppola, 2018) (NIST, 2020):

Identificar: desarrolle la comprensión organizacional para administrar el riesgo de ciberseguridad de los sistemas, activos, datos y capacidades. Comprender el contexto empresarial, los recursos que respaldan las funciones críticas y los riesgos de ciberseguridad relacionados permite a una organización enfocar y priorizar sus esfuerzos, de acuerdo con su estrategia de gestión de riesgos y sus necesidades comerciales.

- **Proteger:** desarrolle e implemente las salvaguardas apropiadas para asegurar la entrega de servicios de infraestructura crítica. La función Proteger admite la capacidad de limitar o contener el impacto de un posible evento de ciberseguridad.

- **Detectar:** desarrolle e implemente las actividades apropiadas para identificar la ocurrencia de un evento de ciberseguridad. La función Detectar permite el descubrimiento oportuno de eventos de ciberseguridad.

- **Responder:** desarrollar e implementar las actividades adecuadas para tomar medidas con respecto a un evento de ciberseguridad detectado. La función Responder admite la capacidad de contener el impacto de un posible evento de ciberseguridad.

- **Recuperar:** desarrolle e implemente las actividades apropiadas para mantener los planes de resiliencia y restaurar cualquier capacidad o servicio que se haya visto afectado debido a un evento de ciberseguridad. La función de recuperación admite la recuperación oportuna de las operaciones normales para reducir el impacto de un evento de ciberseguridad.

Tabla 1. Framework NIST

Function Unique Identifier	Function	Category Unique Identifier	Category
ID	Identify	ID.AM	Asset Management
		ID.BE	Business Environment
		ID.GV	Governance
		ID.RA	Risk Assessment
		ID.RM	Risk Management Strategy
PR	Protect	PR.AC	Access Control
		PR.AT	Awareness and Training
		PR.DS	Data Security
		PR.IP	Information Protection Processes and Procedures
		PR.MA	Maintenance
		PR.PT	Protective Technology
DE	Detect	DE.AE	Anomalies and Events
		DE.CM	Security Continuous Monitoring
		DE.DP	Detection Processes
RS	Respond	RS.RP	Response Planning
		RS.CO	Communications
		RS.AN	Analysis
		RS.MI	Mitigation
		RS.IM	Improvements
RC	Recover	RC.RP	Recovery Planning
		RC.IM	Improvements
		RC.CO	Communications

Fuente: <https://bit.ly/2GiiO8g> 2020

Los perfiles, que ayudan a las organizaciones a alinear sus actividades de ciberseguridad con los requisitos comerciales, las tolerancias de riesgo y los recursos. El análisis de las diferencias entre los perfiles puede identificar brechas que se deben gestionar para lograr los objetivos de gestión de riesgos. Con este fin, se debe desarrollar un plan de acción, que incluye priorizar las actividades en función de las necesidades comerciales de la organización y los procesos de gestión de riesgos. Este enfoque basado en el riesgo permite a las organizaciones estimar los recursos (por ejemplo, personal y fondos) necesarios para lograr los objetivos de ciberseguridad establecidos de una manera rentable y priorizada.

Los niveles del marco de ciberseguridad, que permiten a las partes interesadas de los sectores público y privado evaluar cómo están gestionando su riesgo cibernético y comprender mejor cómo se miden esas acciones hasta lo que se considere efectivo. Hay cuatro niveles, que se describen como "Parciales" en el extremo inferior y "Adaptativo" en el extremo superior. Los niveles incluyen descripciones generales de cuánta atención se presta a la gestión de riesgos, el grado en que estas actividades están vinculadas a las necesidades del negocio y cuánta integración disfruta la ciberseguridad en las operaciones más amplias de la empresa u organización.

Figura 1. Niveles de implementación del CSF



Fuente: <https://marvin-soto.medium.com/nist-ciberseguridad-hol%C3%ADstica-ce4b3911dae7>

Tal como se aprecia, el nivel varía de parcial (nivel 1) al adaptado (nivel 4) y describe el grado de toma de decisiones de riesgo cada vez más rigurosa e integral, el grado en que la ciberseguridad se incluye en decisiones de riesgo más amplias y la organización la comparte y recibe; incluye información de ciberseguridad de fuentes externas.

5. MARCO DE LA NIST EN LAS ORGANIZACIONES

La infraestructura crítica, o CI, es una subcategoría de infraestructura que incluye aquellos activos, sistemas y redes, ya sean físicos o virtuales, que son tan vitales que su falla o destrucción tendría un impacto debilitante en la seguridad, la gobernanza, la salud pública y la seguridad. confianza pública, así mismo las herramientas de evaluación de vulnerabilidades de seguridad cibernética existentes se diseñaron en base a las políticas y estándares definidos por organizaciones como el Departamento de Energía de los EE. UU. y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) (Gupta Gouriseti, Gouriseti, & Patangia, 2020).

Para las organizaciones es vital asegurar la información procesada y almacenada por las tecnologías de la información y la comunicación es una tarea cada vez más importante debido al creciente ingenio y la cantidad de ataques detectados en el ciberespacio, a este respecto la seguridad de la información propende por la preservación de la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información, sin embargo están las amenazas causas potenciales de un incidente no deseado, que puede resultar en daño a un sistema u organización otro elemento a considerar son las vulnerabilidades los cuales son una debilidad o defecto de un activo o control que puede ser explotado por una o más amenazas, el evento de seguridad de la información es la ocurrencia identificada del estado de un sistema, servicio o red que indica una posible violación de la seguridad de la información política o falla de los controles, o una situación previamente desconocida que puede ser relevante para la seguridad, incidente de seguridad de la información es uno o una serie de eventos de seguridad y el riesgo la probabilidad de que una vulnerabilidad pueda ser explotada por una amenaza, generando un impacto (Disterer, 2013) (Meszaros & Buchalcevova, 2017).

El modelo de la NIST se desarrollará de tal manera que pueda ser aplicable a la mayoría de las organizaciones. Para ser lo suficientemente flexible y genérico como para ser aplicado a diferentes realidades organizacionales, este modelo tendrá en cuenta los siguientes supuestos (Teodoro, Gonçalves, & Serrão, 2015):

- Diferentes niveles de madurez de CS en toda la organización.
- La relevancia de las subcategorías NIST CSF puede diferir entre organizaciones.
- Agnóstico tecnológico, enfocándose en la funcionalidad y objetivos.
- Estructura interna y organizaciones entre equipos y departamentos.

El modelo pretende ser lo más genérico posible desde la perspectiva de la organización (representado por los tres pilares, RRHH, procesos y tecnología) y tender un puente entre cada realidad propia con NIST CSF, proporcionando como resultado un conjunto de métricas que permitan un análisis de línea base de nivel de cumplimiento de esa norma; como una visión estratégica de alto nivel del ciclo de vida de la gestión del riesgo de ciber seguridad de una organización. Las cinco funciones principales de marco de NIST para una organización son (AWS, 2020):

A. Identificar (ID) Los datos, el personal, los dispositivos, los sistemas y las instalaciones que permiten a la empresa conseguir objetivos empresariales se identifican y gestionan de forma consistente con su importancia relativa para los objetivos empresariales y la estrategia de los riesgos de la empresa.

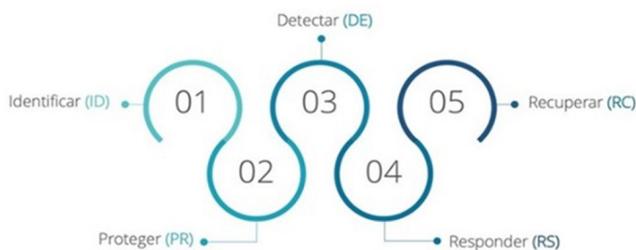
B. Proteger (PR) El acceso a los activos físicos y lógicos y las instalaciones asociadas se limita a los usuarios, los procesos y los dispositivos autorizados, y se gestiona de forma consistente con el riesgo evaluado del acceso no autorizado a actividades y transacciones autorizadas.

C. Detectar (DE) La actividad anómala se detecta de forma oportuna y se comprende el posible impacto de los eventos.

D. Responder (RS) Los procesos y los procedimientos de respuestas se ejecutan y mantienen para garantizar una respuesta oportuna a los eventos de seguridad cibernética detectados.

E. Recuperarse (RC) las actividades de restauración se coordinan con partes internas y externas, como centros coordinadores, proveedores de servicios de Internet, propietarios de sistemas de ataque, víctimas, otros CSIRT y vendedores.

Figura 2. Funciones principales del NIST Cybersecurity Framework



Fuente: NIST

Otras consideraciones es que el marco de ciberseguridad del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) dada su flexibilidad permite una integración con el Modelo de Alineación Estratégica (SAM), COBIT, la ISO 22316 correspondiente a la Resiliencia Organizacional La alineación entre las estrategias comerciales y de TI, con sus respectivas infraestructuras administrativas, procesos y habilidades del personal, mantiene una resiliencia mutuamente dependiente (Belalcázar, Belalcázar, Díaz, & Molinari, 2017).

La implementación de seguridad cibernética basado en la CSF incluye unos pasos iterativos, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3. Pasos para la implementación de un programa de ciberseguridad basado en el CSF



Fuente: <https://marvin-soto.medium.com/nist-ciberseguridad-hol%C3%ADstica-ce4b3911dae7>

• **Paso 1** – Priorización y definición de alcance: Se deberá identificar las prioridades de alto nivel de la organización y los objetivos de negocios. Con toda la información ya obtenida se puede decidir el alcance del programa.

• **Paso 2** – Orientación: Se deben determinar los sistemas activos, las amenazas, los requisitos regulatorios y las vulnerabilidades relacionados con el entorno de idoneidad definido.

• **Paso 3** – Crear un perfil actual: A través de las funciones del marco básico y el uso de categorías y subcategorías, se pueden obtener los resultados de la ejecución de controles en el entorno.

• **Paso 4** – Ejecutar un análisis de riesgos: Se realizó un análisis de riesgo para determinar la probabilidad y el impacto de incidentes de ciberseguridad en el entorno analizado.

• **Paso 5** – Crear un perfil objetivo: Determina los objetivos de seguridad cibernética que la organización pretende cubrir.

• **Paso 6** – Determinar, analizar y priorizar las brechas detectadas: A través del análisis de la diferencia entre el perfil actual y el perfil objetivo, se puede definir un plan de acción prioritario según costo/beneficio, de manera que se puedan determinar los recursos y se puedan tomar medidas de mejora.

• **Paso 7** – Implementar el plan de acción: Realizamos ajustes controlados y despliegues mejorados de forma gradual y monitoreada.

• **Paso 8** – Revisión del plan de acción.

• **Paso 9** – Gestión del ciclo de vida.

Existen herramientas de software para soportar la implementación del CSF, una de ellas es referida al proyecto Baldrige (NIST Programa Baldrige, s.f.) que permite el diseño de un enfoque integrado para la gestión del desempeño organizacional, integrando las normas del CSF en su marco de excelencia llamado "Marco de excelencia Baldrige".

Finalmente, una buena cantidad de estudios de casos, guías de implementación, herramientas y recursos educativos de gran apoyo se pueden encontrar en la página de recursos de la industria del NIST (NIST RESOURCES, s.f.) facilitando y aportando ayuda a las actividades de desarrollo en este sentido.

6. CONCLUSIONES

Las organizaciones se han vuelto cada vez más dependientes de los sistemas de información para realizar el Core del negocio como siempre. Además, ciber ataques como espionaje industrial, fuga de información confidencial, robo digital, daño a la imagen y reputación de la organización. Para mitigar estos incidentes informáticos, organizaciones como el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) han hecho un esfuerzo por establecer una guía de protección de ciberseguridad.

Los Estados, las organizaciones, las entidades financieras, los hospitales y otras empresas recopilan, procesan y almacenan grandes cantidades de información confidencial en las computadoras y las transmiten a través de redes a otras computadoras, con el fin de mitigar el riesgo y reducir la brecha en Ciberseguridad las organizaciones implementan el marco NIST.

El Marco de la NIST ofrece una estructura, sencilla y efectiva, que apoyan las cinco funciones de gestión de riesgos: Identificar, Proteger, Detectar, Responder y Recuperar. Con el fin de brindar la seguridad cibernética actual y futura a una organización.



REFERENCIAS



- AWS. (25 de 10 de 2020). AWS. Obtenido de <https://bit.ly/34IW5jR>
- Belalcázar, A., Belalcázar, M., Díaz, J., & Molinari, L. (2017). Towards a Strategic Resilience of Applications through the NIST Cybersecurity Framework and the Strategic Alignment Model (SAM). International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS). Quito: IEEE.
- Bullock, J., Haddow, G., & Coppola, D. (2018). 8 - Cybersecurity and Critical Infrastructure Protection. En H. Security. Elsevier Inc.
- Disterer, G. (2013). ISO/IEC 27000, 27001 and 27002 for Information Security Management. Journal of Information Security.
- Gupta Gourisetti, S., Gourisetti, G., & Patangia, H. (2020). Cybersecurity vulnerability mitigation framework through empirical paradigm. Enhanced prioritized gap analysis., 410-431.
- House, W. (28 de 10 de 2020). National Archives. Obtenido de www.whitehouse.gov/issues/cybersecurity .
- Meszaros, J., & Buchalcevoa, A. (2017). Introducing OSSF: A framework for online service cybersecurity risk management. Computers & Security, 300-313.
- NIST. (2020 de 10 de 2020). NIST releases Cybersecurity Framework version 1.0. Obtenido de <https://bit.ly/3oKIG3Y>
Nist Programa Baldrige. (s.f.). Obtenido de <https://www.nist.gov/baldrige/how-baldrige-works>
- NIST RESOURCES. (s.f.). Obtenido de <https://www.nist.gov/cyberframework/resources>
- Teodoro, N., Gonçalves, L., & Serrão, C. (2015). NIST CyberSecurity Framework Compliance: A Generic Model for Dynamic Assessment and Predictive Requirements. Trustcom/BigDataSE/ISPA, 418-425.
- Zhao et al., J. (2020). TIMiner: Automatically extracting and analyzing categorized cyber threat intelligence from social data. Computers & Security.