

ENFOQUE

UTE
REVISTA



Facultad Ciencias de la Ingeniería e Industrias
eISSN:13906542



Volumen 12 • N°4 • Octubre 2021

Sumario

ENERGÉTICA NUTRICIONAL EN TIEMPOS DE POS COVID-19 EN EL PERÚ (Nutritional energy in pos COVID-19 time in Peru) <i>Laura Stefany Velásquez-Quispe, Carlini Alberto Ortiz-Meza, Ulises Gonzalo Calizaya-Mamani, Andrea Alejandra Zapana-Calderón, Gabriela Cristina Chire-Fajardo</i>	1
SIMULACIÓN DE UN DESHIDRATADOR HÍBRIDO INDIRECTO ACTIVO MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS (Simulation of an active indirect hybrid dehydrator using ANSYS software) <i>José Cabrera, Francisco Jurado, David Vera</i>	29
ARQUITECTURAS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA (Architectures of Energy Harvesting Systems) <i>Salazar Fabian, Núñez Maritza, Cuji Julio, Gordón Carlos</i>	45
ESCENARIOS DE VINCULACIÓN DE LAS BASES DE DATOS RELACIONALES Y LAS ONTOLOGÍAS: UN MAPEO SISTEMÁTICO (Linkage scenarios of relational databases and ontologies: a systematic mapping) <i>Yoan Antonio López Rodríguez, Yusniel Hidalgo Delgado, Nemury Silega Martínez</i>	58
OXIDACIÓN AVANZADA COMO TRATAMIENTO ALTERNATIVO PARA LAS AGUAS RESIDUALES. UNA REVISIÓN (Advanced Oxidation as an Alternative Treatment for Wastewater. A Review) <i>Miguel Ángel López Ramírez, Olaya Pirene Castellanos Onorio, Fabiola Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez, Jesús Montoya Mendoza, Cinthya Alejandra Sosa Villalobos, Benigno Ortiz Muñiz</i>	76
RED NEURONAL CONVOLUCIONAL PARA LA PERCEPCIÓN ESPACIAL DEL ROBOT InMOOV A TRAVÉS DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA COMO TECNOLOGÍA DE ASISTENCIA (Convolutional Neural Network for Spatial Perception of InMoov Robot Through Stereoscopic Vision as an Assistive Technology) <i>Juan F. Cortes Zarta, Yesica A. Giraldo Tique, Carlos F. Vergara Ramírez</i>	88

Energética nutricional en tiempos de pos COVID-19 en el Perú

(Nutritional energy in pos COVID-19 time in Peru)

Laura Stefany Velásquez-Quispe¹, Carlini Alberto Ortiz-Meza², Ulises Gonzalo Calizaya-Mamani³, Andrea Alejandra Zapana-Calderón⁴, Gabriela Cristina Chire-Fajardo⁵

Resumen

La pandemia actual del COVID-19 es una enfermedad que afecta a toda la humanidad. El gobierno peruano ha promovido el uso de las barreras físicas, sin embargo, el sistema inmunitario es una importante defensa contra el virus que no se ha motivado aún. Los objetivos fueron: conocer la enfermedad del COVID-19 y su comportamiento; conocer la alimentación nutricional de la población; definir la población de riesgo y realizar propuestas de alimentación en tiempo de pandemia para el Perú. Para ello, se utilizaron las fuentes de información de científicos e instituciones de ciencia. Los resultados fueron: las principales características de la enfermedad y su efecto en la población en diferentes edades y grupos de riesgo; se describió la alimentación en seis diferentes regiones del Perú, mostrando en promedio un alto consumo de carbohidratos simples y una energética nutricional no balanceada; se identificaron los nutrientes de los recursos biodiversos; se definió la población con riesgo; se presentó la alimentación para pacientes en domicilio, en estado crítico y los que pasaron la enfermedad; así como recomendaciones generales para la población que abarcan una energética integral para alcanzar una vida saludable. Se culmina resaltando la importancia del rol del Estado peruano para impulsar una vida saludable a la población.

Palabras clave

Biodiversidad, desnutrición, enfermedad, pandemia, sistema inmunitario.

Abstract:

The current COVID-19 pandemic is a disease that affects everyone. The Peruvian government has promoted the use of physical barriers; however, the immune system is an important defense against the virus that has not yet been motivated. The objectives were: to know the COVID-19 disease and its behavior; to know the nutritional diet of the population; to define the population at risk and to make food proposals in time of pandemic in Peru. For this, we used the information sources of scientists and science institutions. The results were: the main characteristics of the disease and its effect on the population at different ages and risk groups; described the feeding in six different regions of Peru, showing high simple carbohydrate intake and unbalanced nutritional energy, identified the nutrients of the biodiversity resources; defined the population with the risk; presented a diet for patients at home, those in critical condition and those who passed the disease; as well as general recommendations to the population that includes a comprehensive energy to achieve a healthy life. Culminates highlighting the importance of the role of the Peruvian State to promote a healthy life for the population.

Keywords

Biodiversity, malnutrition, disease, pandemic, immune system.

1 Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. [20140328@lamolina.edu.pe, https://orcid.org/0000-0003-3501-6064]
2 Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. [20141365@lamolina.edu.pe, https://orcid.org/0000-0002-0189-3790]
3 Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. [20170259@lamolina.edu.pe, https://orcid.org/0000-0001-5966-538X]
4 Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. [20190526@lamolina.edu.pe, https://orcid.org/0000-0002-4521-7532]
5 Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. [gchire@lamolina.edu.pe, https://orcid.org/0000-0001-7422-7636]

1. Introducción

En diciembre del 2019 surgió una neumonía asociada con el nuevo coronavirus en Wuhan, provincia de Hubei de la República Popular China, que se ha extendido por todo el mundo. El SARS-CoV-2 es un nuevo tipo de coronavirus que produce la enfermedad del COVID-19 (OMS, 2020a). Siendo considerada pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 11 de marzo del 2020. Sin embargo, llegó a Latinoamérica y el Caribe el 25 de febrero de 2020 cuando el ministro de salud de Brasil confirmó el primer caso en la región (Rodríguez-Morales et al., 2020). El primer caso peruano confirmado de una persona infectada fue dado a conocer el 06 de marzo del 2020 y se incrementó rápidamente el número de casos sospechosos y las primeras hospitalizaciones (MINSA, 2021a). Según la OMS, hasta el 16 de agosto de 2021 se han reportado 207 173 086 casos confirmados y 4 361 996 personas fallecidas (OMS, 2021a). En el Perú, hasta el 15 de agosto de 2021 se reportó 2 133 812 casos confirmados y 197 393 fallecidos con una tasa de letalidad de 9,25 % (MINSA, 2021b). Su rápida propagación ha propiciado la activación de protocolos para detener su diseminación. La primera medida que tomó el gobierno del Perú fue iniciar una cuarentena (aislamiento social obligatorio), norma que se estableció en todo el país durante tres meses y medio debido a la precaria situación del servicio médico. Seguidamente, se incrementó la crisis económica hasta que se abrieron todos los sectores de producción del país. En paralelo, se aplicó el uso obligatorio de barreras físicas entre la población como el uso de mascarilla cubriendo nariz y boca, guardar distancia de más de un metro, lavado de manos con agua y jabón y evitar los lugares concurridos, las aglomeraciones y los espacios sin ventilación natural. El 04 de febrero del 2021 se confirmó la presencia en el país de dos nuevas variantes: la inglesa y la brasilera. Sin embargo, las variantes de preocupación son además la sudafricana y la india, ésta última denominada delta, cuya característica es que se transmite con mayor rapidez que las otras (MINSA, 2021a). La vacuna contra el COVID-19 tiene una aprobación de emergencia y es una versión inactivada del coronavirus (SARS-CoV-2). El país ha otorgado una autorización excepcional a la misma para su importación y su uso por situación de salud pública (MINSA, 2021c). Las vacunas que se están utilizando en el país son: Sinopharm (eficacia del 79,34 %), Pfizer/BioNTech (eficacia del 95 %) y Astra Zeneca (eficacia del 70 %), siendo seguras y previenen afectaciones graves del COVID-19. Aun así, se debe continuar con el uso de las medidas preventivas o barreras físicas.

La alimentación y nutrición de la población peruana está sujeta a los ingresos mensuales del trabajo. Ya en el año 2018 el ingreso promedio mensual proveniente del trabajo era de 1 400,10 soles (INEI, 2019), valor por debajo de una canasta saludable de 1515 soles para una familia de cuatro personas (Navarro, 2019). Los alimentos con mayor consumo en una gran presencia de la población son: pan, arroz, papa, fideos. En concreto, una dieta alta en carbohidratos bajos en fibra. Sin embargo, en el país existen una biodiversidad de alimentos que contienen nutrientes esenciales que aún no se conocen del todo.

El sistema inmunitario cuida el orden del cuerpo y reacciona frente a la agresión exógena y endógena. En condiciones normales, nuestro sistema inmunitario nos permite sobrevivir en un mundo natural plagado de virus y otros microorganismos a los cuales es capaz de reconocer y destruir. Sin embargo, ante una inmunodeficiencia se pone en peligro la vida porque dicho sistema no funciona bien (USIL, 2020). La dieta tiene efectos importantes en la salud humana debido a su interacción con la microbiota intestinal. Así mismo, tiene un efecto en la respuesta inmunitaria y consecuencias importantes en la salud de los individuos (USIL, 2020).

Por ello, los objetivos de la presente investigación son: conocer la enfermedad del COVID-19 y su comportamiento, conocer la alimentación nutricional de la población, definir la población de riesgo y realizar propuestas de alimentación en este tiempo de pandemia en el Perú.

2. Metodología

La investigación ha sido descriptiva y aplicada. Es descriptiva porque provee conocimiento sobre la enfermedad del COVID-19, la situación de la alimentación y los recursos con que cuenta la ciudadanía peruana, la población de riesgo y las recomendaciones como impacto en la vida de las personas para desarrollar diversas actividades en medio de la enfermedad. Es aplicada porque de la bio-diversidad del país, se encuentran alternativas de ingesta de alimentos en el día a día para enfrentar el COVID-19 en el Perú.

Las fuentes de información de investigaciones halladas se tomaron de: artículos científicos, informes técnicos especializados, libros y tesis. Los artículos científicos se seleccionaron en bases de datos como de Google Scholar, Scielo, ScienceDirect, Web of Science y Scopus. Los informes técnicos especializados fueron de las organizaciones de salud del mundo y del país, así como de los colegios médicos. Los libros y tesis fueron seleccionados de autores-referente peruanos que investigaron sobre los recursos biodiversos del país en los últimos años. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda de la base de datos fueron: COVID-19, alimentación y COVID-19, nutrición y COVID-19, nutrición peruana, alimentación peruana, COVID-19 Perú, todo ello en los idiomas inglés y castellano. Finalmente, se analizaron 75 referencias bibliográficas de los cuales 50,7 % corresponden a artículos científicos, 34,7 % a informes técnicos de organizaciones nacionales e internacionales, 8,0 % a libros y 6,7 % a tesis. De los documentos citados, el 70,7 % estaban en idioma castellano y 29,3 % en idioma inglés, contando con un 78,7 % de las referencias publicadas en los últimos cinco años.

3. Resultados y discusión

3.1. La enfermedad del COVID-19

Los coronavirus son una gran familia de virus que pueden causar enfermedades en animales o humanos. En los humanos, se sabe que varios coronavirus causan infecciones respiratorias que van desde el resfriado común hasta enfermedades más graves como el Síndrome Respiratorio del Medio Oriente (MERS) y el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS). El actual brote de coronavirus está generando una afección conocida como COVID-19. Este nuevo virus y enfermedad eran desconocidos antes de que comenzara el brote en Wuhan, China, en diciembre de 2019. La enfermedad del COVID-19 es ahora una pandemia que afecta a todos los países a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, 2020a).

Los síntomas más comunes del COVID-19 son: fiebre, tos seca y cansancio. Otros síntomas que son menos comunes y pueden afectar a algunos pacientes incluyen dolores y molestias, congestión nasal, dolor de cabeza, conjuntivitis, dolor de garganta, diarrea, pérdida del gusto o del olfato, erupción en la piel, decoloración de los dedos de manos y pies. Estos síntomas comienzan gradualmente y son leves para algunas personas. La mayoría de las personas (alrededor del 80 %) se recuperan de la enfermedad sin un internamiento médico. Las personas mayores y aquellos con problemas médicos subyacentes como presión arterial alta, problemas

cardíacos y pulmonares, diabetes o cáncer tienen un mayor riesgo de desarrollar enfermedades graves. Sin embargo, cualquiera puede contraer la enfermedad del COVID-19 y enfermarse gravemente (OMS, 2020a).

Una persona puede contraer COVID-19 por contacto con otra que esté infectada por el virus. Se transmite de persona a persona a través de gotitas que expulsa una persona enferma al hablar, toser o estornudar. Las gotitas pueden ser inhaladas por las personas que están cerca al enfermo y ser tocadas por las manos. El virus ingresa a nuestro organismo cuando nos tocamos los ojos, la nariz y la boca con las manos sin lavar (MINSA, 2020).

El virus del COVID-19 ha sido identificado y secuenciado genéticamente. Los coronavirus se clasifican como una familia dentro del orden Nidovirales. Estos son virus que se replican usando un conjunto anidado de ARNm y está relacionado con otros coronavirus que circulan entre los murciélagos (incluyendo el SARS coronavirus), por lo que se considera que su reservorio natural más probable son estos mamíferos voladores. El huésped intermediario, probablemente otro mamífero, no ha sido identificado aún (Palacios-Cruz et al., 2020).

Según Cheng et al. (2004) son virus de ARN de hebra positiva con envoltura de tamaño mediano, su nombre deriva de su aspecto característico similar a una corona en microfotografías electrónicas. Tienen los genomas de ARN virales más grandes conocidos con una longitud de 27 a 32 kb. La replicación del ARN viral ocurre en el citoplasma del huésped por un mecanismo único en el que la ARN polimerasa se une a una secuencia líder y luego se separa y se vuelve a unir en múltiples ubicaciones, lo que permite la producción de un conjunto anidado de moléculas de ARNm con tres extremos comunes. La subfamilia de coronavirus animales y humanos se divide en cuatro géneros distintos: alfa, beta, delta y gamma, de los cuales hasta el momento se sabe que los coronavirus de tipo alfa y beta infectan a los humanos, provocando enfermedades que van desde el resfriado común hasta afecciones más graves, como el MERS-CoV y el SARS-CoV, que causó miles de muertes en 2002. Cuatro de los HCoV (HCoV 229E, NL63, OC43 y HKU1) son endémicos en todo el mundo y representan del 10 al 30 % de las infecciones del tracto respiratorio superior en adultos (Cheng et al., 2004).

Respecto a las vías de transmisión, Palacios-Cruz et al. (2020) refieren que, generalmente, los coronavirus se replican primordialmente en las células epiteliales del tracto respiratorio inferior y, en menor medida, en las células de las vías respiratorias superiores. Es por eso que la transmisión ocurre, principalmente, de pacientes con enfermedad reconocida y no de pacientes con signos leves e inespecíficos. Es decir, se cree que la propagación ocurre solo después de que se presentan signos de enfermedad del tracto respiratorio inferior. Sin embargo, los pacientes con infección por 2019-nCoV detectados en estado severo o fatal tienen una mayor probabilidad de transmitir este virus, ya que eliminan una mayor cantidad de partículas infectivas en comparación con los pacientes que presentan la infección de forma leve o asintomática.

El contagio a través de gotículas se produce por contacto cercano (a menos de un metro) de una persona con síntomas respiratorios (por ejemplo, tos o estornudos) debido al riesgo de que las mucosas (boca y nariz) o la conjuntiva (ojos) se expongan a gotículas respiratorias que pueden ser infecciosas. Además, se puede producir transmisión por gotículas a través de fomites en el entorno inmediato de una persona infectada. Por consiguiente, el virus del COVID-19 se puede contagiar por contacto directo con una persona infectada (OMS, 2020a).

El periodo de incubación del COVID-19 (es decir, el tiempo transcurrido entre la exposición al virus y el inicio de los síntomas) es de 5 a 6 días por término medio, pero puede prolongarse hasta 14 días (Lauer et al., 2020). En un estudio temprano en Wuhan, el período medio de incu-

bación del COVID-19 fue de 5,2 días entre 425 casos, aunque varía ampliamente entre individuos. Los patrones de diseminación de virus aún no se comprenden bien y se necesitan más investigaciones para comprender mejor la sincronización, la compartimentación y la cantidad de diseminación viral para informar una muestra óptima de colección (OMS, 2020b). Por si fuera poco, se ha comprobado que algunas personas pueden dar positivo en la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para COVID-19 entre uno y tres días antes de presentar síntomas. De tal modo, se define como transmisión presintomática la transmisión del virus de COVID-19 por una persona infectada que excreta el virus pero aún no tiene síntomas. Al parecer, las personas que presentan síntomas tienen una carga vírica más elevada justo el día o poco antes de presentar síntomas, por comparación con una etapa posterior de la infección (OMS, 2020a)

Según Liu et al. (2020) en su estudio entre 12 grupos de los casos de transmisión intra-grupo único, 15 casos-pacientes se infectaron dentro de los 5,5 días del intervalo medio entre el inicio de la enfermedad y la enfermedad inicio del infectado. Entre 56 grupos de casos de coexposición única, el intervalo medio de aparición de síntomas entre el primer y segundo caso-paciente dentro un grupo fue de 3,1 días y, el intervalo medio de aparición de síntomas entre el primer y último caso-paciente dentro de un grupo fue de 3,6 días. Con implementación continua de medidas de estricto control, observamos un período más corto (la mediana de los días disminuyó de tres a uno) entre el inicio de la enfermedad y visitas hospitalarias para casos-pacientes. Este hallazgo puede resultar de un manejo estricto del control de infecciones (por ejemplo, detección temprana de casos sospechosos, monitoreo de personas de contacto cercano y mejora de la salud conciencia de la población en general).

El nuevo coronavirus puede infectar a personas de todas las edades, una de las primeras experiencias en un hospital peruano declara que la población con mayor riesgo de enfermarse es: adulto mayor, hipertensión arterial y obesidad (Acosta et al., 2020). Las tribus no contactadas que viven en las zonas muy alejadas de las urbes no sentirán esta nueva enfermedad. Esta grave situación exige al Estado Peruano una reforma sanitaria en beneficio de la sociedad peruana (Maguiña-Vargas, 2020). Actualmente, la vacunación se está priorizando por grupos de riesgo (Valenzuela, 2020).

3.2. Alimentación nutricional de la población peruana

DIETA PERUANA

La dieta peruana en el trienio 2009-2011 fue de 1102 g per cápita/día, prevalecieron los alimentos básicos vegetales, cereales, papa y arroz. Los productos de origen animal representaron el 15,4% de la disponibilidad total; con predominancia de los lácteos y las carnes. Es preocupante saber que el 28% de la población nacional no satisface sus necesidades energéticas diarias, hallándose en estado de subnutrición. En lo referente a proteínas, la importancia es compartida entre los productos básicos vegetales y los productos de origen animal, el grupo dominante fue los cereales. El contenido proteico de la dieta peruana se halló dentro de los márgenes recomendados por la OMS y la FAO como un indicador positivo de una dieta saludable. Las grasas de los alimentos de la dieta provinieron, en forma predominante, de los productos de origen animal, principalmente de carnes y de lácteos. Además, se agregaron los aceites vegetales (Caballero-Armas, 2013). El número de compras per-cápita de productos ultra-procesados (cereales en cajas, jugos, gaseosas, galletas) adquiridos en locales de comida rápida (McDonald's, Kentucky Fried Chicken,

Bembos, entre otros) cuenta con un crecimiento rápido en la región pasando de 8,7 a 31,8 para los años 2000 y 2013, dando como resultado un crecimiento de 265%, por lo que fuimos uno de los mayores consumidores de comida rápida según informe de OPS/OMS (Eguren, 2016a).

Para el mismo periodo 2009-2011, se muestra la dieta de la ciudadanía peruana en seis diferentes regiones:

- La dieta diaria en el área urbana: tenía 1161 g de productos alimenticios (2040 Kcal). La mayor cantidad era de origen vegetal y tenía un déficit calórico estimado en 22 % que afectaba con mayor incidencia a los hogares de escasos recursos. Este déficit era marcado en las hortalizas y frutas que impedía obtener una dieta saludable. Los productos de origen animal cubrían una apreciable cantidad de la dieta, pero no era suficiente, sobre todo en pescado, carnes de vacuno y de cerdo y leche fresca de vaca. En los misceláneos había un consumo excesivo de sazónadores, condimentos (para preparar las comidas) y de bebidas gaseosas (con un alto contenido de azúcar) que son perjudiciales para la salud (Caballero-Armas, 2013).
- La dieta en el área rural era pobre y de bajo contenido en nutrimentos con 938 g de productos alimenticios (1781 Kcal). Había un déficit calórico de 40,2 % que afectaba a los estratos de escasos recursos. Las dietas diarias de sus pobladores estaban sustentadas por los alimentos básicos de origen vegetal. Era muy pobre en hortalizas y frutas, los cuales son alimentos valiosos para evitar enfermedades no transmisibles. Las proteínas totales se hallaban por debajo de la recomendación de la OMS y la FAO. La mayoría eran de origen vegetal, es pequeña la cantidad de alimentos de origen animal. El mayor aporte de grasas provenía de sustancias adicionadas a la dieta (Caballero-Armas, 2013). El poblador rural consume un volumen bastante mayor de productos alimenticios que el poblador urbano que corresponde a 450 kg con respecto a 365 kg por parte del poblador urbano. Esto se debe a la gran cantidad de tubérculos como la papa que tiene poco contenido de proteínas (Eguren, 2016b).
- La dieta diaria en Lima Metropolitana (LM) tuvo 1267 g de productos alimenticios (2223 Kcal). La mayor cantidad era de origen vegetal y tenía un déficit calórico estimado de 18,5 % que afectaba con mayor incidencia a los hogares de escasos recursos. Este déficit era marcado en las hortalizas y frutas. Los productos de origen animal cubrían una apreciable cantidad de la dieta, pero no era suficiente, sobre todo en pescado, carnes de vacuno, de cerdo y leche fresca de vaca. En los misceláneos había un consumo excesivo de sazónadores, condimentos (para preparar las comidas) y bebidas gaseosas (con un alto contenido de azúcar), que son perjudiciales para la salud (Caballero-Armas, 2013).
- La dieta diaria de los pobladores de la costa sin Lima Metropolitana tuvo 1082 g de productos alimenticios (2043 Kcal). Menor en 185 g a la que correspondía a Lima Metropolitana. La mayor cantidad era de origen vegetal y tenía un déficit calórico estimado de 24,2% que afectaba con mayor incidencia a los hogares de escasos recursos. Este déficit era marcado en las hortalizas y frutas. Los productos de origen animal cubrían una apreciable cantidad de la dieta, pero no era suficiente, sobre todo en pescado, carnes de vacuno, de cerdo y leche fresca de vaca. En los misceláneos había un consumo excesivo de sazónadores, condimentos y de bebidas gaseosas (Caballero-Armas, 2013).
- La dieta diaria en la sierra tenía 1000 g de productos alimenticios (1821 Kcal). Menor en 82 g a la que correspondía a la costa sin LM. En su gran mayoría era de origen vegetal (53,3 %) y tenía un alto déficit calórico estimado en 37,8 % que afectaba con mayor

incidencia a los hogares en estado de pobreza. Este déficit era marcado en las hortalizas y frutas. Los productos de origen animal cubrían una pequeña cantidad de la dieta, principalmente de lácteos, de carnes rojas y de huevos. Dentro de los misceláneos había un apreciable consumo de bebidas gaseosas y de sazónadores. No era pequeño el consumo de golosinas (incluye dulces, caramelos, entre otros.) las que por su alto contenido de azúcar son perjudiciales para la salud (Caballero-Armas, 2013).

- La dieta humana de la selva fue de 1009 g (1782 Kcal). Menor en 74 g a la que correspondía a la costa sin LM. En su gran mayoría era de origen vegetal (76,4 %) y tenía un alto grado de subnutrición estimado en 32,7 % que afectaba con mayor incidencia a los hogares en estado de pobreza. Los productos de origen animal cubrían una pequeña cantidad de la dieta (12,8 %) principalmente de lácteos y, en un segundo plano, de carnes rojas y de pescado. Dentro de los misceláneos (11,4 %) había un apreciable consumo de agua procesada (envasada o combinada con frutas de la región), bebidas gaseosas y sazónadores. No era pequeño el consumo de golosinas (Caballero-Armas, 2013). El consumo de frutas era alto (Eguren, 2016b).

RECURSOS BIODIVERSOS PERUANOS

En el país, a lo largo y ancho de la costa, sierra y selva encontramos productos de origen vegetal (cultivos) y productos de origen animal que aportan compuestos bioactivos al sistema inmunitario. A continuación, se describen algunos de ellos.

- Algas marinas: es de importancia en la dieta humana por su alto contenido de polisacáridos (fibra dietaria), proteínas, vitaminas y minerales. En el Perú tenemos algas verdes, pardas y rojas que se usan en la alimentación humana y existen otras algas con alto contenido de proteínas que aún están en estudio. Son consumidas mayormente por pobladores de la sierra que de la costa (Noriega-Cardó, 2016). Algunas propuestas innovadoras de productos de consumo masivo son: elaboración de barras energéticas con kiwicha-yuyo (Rubio-Rubio, 2019), derivados lácteos, refrescos (Noriega-Cardó, 2016) y entre los platos de consumo inmediato tenemos ceviche, chilcano, pescado seco y seco-salado, entradas (ensaladas), sopas, platos de fondo (picantes).
- Quinua: es una fuente excelente de proteínas (11,2 a 14,5 %), lípidos (4,0 a 9,7 %) y carbohidratos. El embrión ocupa una mayor proporción de la semilla que en los cereales comunes, por eso el contenido de proteínas y aceites son altos. Antes de su consumo, el contenido de saponina (sustancia amarga) debe ser eliminada de la quinua. Los usos tradicionales de la quinua son sopas, pan, torta y papilla. En la medicina tradicional resaltan las propiedades anti-inflamatorias, desinfectantes y repelente de insectos. Un producto comúnmente elaborado es 'quinua pop' (extrusión) con mayor digestibilidad *in-vitro* del almidón sin efecto adverso sobre la digestibilidad *in-vitro* de la proteína y el daño de los aminoácidos sensibles (lisina) fue mínima (Repo-Carrasco, 2014). Otro producto novedoso es la 'bebida fermentada a base de quinua' sin separación de fases, fuente de proteínas, fibra cruda, vitaminas y minerales. Diseñado para ser consumido por personas celiacas o intolerantes a la lactosa, así como por consumidores en general como producto exótico del Perú (Ludena et al., 2016).

- Tarwi: posee altas cantidades de proteína (41,4 %) y de aceite (20,1 %). Tiene más proteínas que la soya y aún más que otras especies de lupino. Los aminoácidos limitantes son: metionina, cisteína, triptófano y valina. El tarwi tiene cantidades suficientes de lisina y treonina que son limitantes en las proteínas de los cereales, por lo que la proteína del tarwi es un excelente complemento para las proteínas de los cereales. El tarwi desamargado destaca por la presencia de leucina y fenilalanina/tirosina, la torta del lupino es rico en proteínas y puede ser utilizado como un concentrado de proteínas. Los principales ácidos grasos del aceite de tarwi son oleico (41,2–53,87 %) y linoleico (25,89–39,6 %) tienen un contenido relativamente alto de γ -tocoferol que actúa como antioxidante natural. Los principales carbohidratos del tarwi son los oligosacáridos, el contenido de estaquiosa es relativamente alta y esto reduce la digestibilidad de los hidratos de carbono y, por lo tanto, de la energía total (Repo-Carrasco, 2014). La eliminación de los alcaloides es esencial en el procesamiento del tarwi, se trata de la eliminación del amargor del tarwi que empieza con la limpieza y selección de los granos, luego el remojo, la cocción (45 a 60 minutos) para, finalmente, colocar en un chorro de agua para eliminar los alcaloides. El producto final se consume fresco o se utiliza en preparaciones tradicionales. La otra forma es secando y obteniendo harina de lupino. Se puede elaborar pan complementado con harinas de trigo (40 %) y yuca (40 %) (Repo-Carrasco, 2014). En el libro *Los granos andinos-super alimentos en la cocina* se reportó 80 recetas a base de quinua, kañihua, kiwicha y tarwi. (Repo-Carrasco y Solorzano, 2020).
- Frutas nativas: en el Perú las principales son aguaymanto, papaya andina, tomate de árbol y otras. El aguaymanto es una fuente de provitamina A (3000 UI de caroteno por 100 g) y tiene 58 a 68 mg de vitamina C por cada 100 g, así como compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Repo-Carrasco y Encina, 2008). Tiene un contenido alto de minerales (hierro, potasio y zinc) y aceite (2 % sobre el peso fresco, con ácidos grasos linoleico y oleico). Es consumido en fresco y en procesado (como por ejemplo en mermeladas, jugos, deshidratados, salsas para carnes y mariscos, postres y helados). Tiene propiedades medicinales como antiasmático, diurético, antisépticas. También se ha utilizado en la medicina popular para tratar el cáncer, la leucemia, la hepatitis, el reumatismo y otras (Repo-Carrasco, 2014). La papaya andina se la conoce como papaya arequipeña. Contiene vitamina A (100 UI/100 g) y vitamina C (70 mg/100 g), fósforo, potasio y compuestos fenólicos. Es consumido en fresco (jugos) y en procesado (mermeladas y postres). Tiene propiedades medicinales que permiten tratar tuberculosis y disentería, así como relajante muscular e hipotensor (Repo-Carrasco, 2014). El tomate de árbol en el Perú se le conoce como sachatomate. Es una fuente de provitamina A (carotenos 150 UI por 100 g), vitamina B6, vitamina C (25 mg/100 g), vitamina E, hierro, zinc y potasio, compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Es consumido fresco (postres, ensaladas de frutas, ensaladas verdes, bebidas, guisos, sopas y salsas) o procesado (jaleas, mermeladas, *chutneys*, congelados) (Repo-Carrasco, 2014). Entre otras frutas, el sauco es originario de los andes. La fruta es consumida cruda y procesada (mermelada y vino de frutas). Tiene usos medicinales, las hojas se utilizan para curar la bronquitis, tos, fiebre e inflamación en el riñón. El capulí, *Pasiflora mollisima* y granadilla que se consumen como fruta fresca o procesada (Repo-Carrasco, 2014).
- Pimientos: encontramos pimiento, rocoto, ají limo, ajíes amazónicos que contienen vitamina C (23,15 mg/100 g), compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Repo-Carrasco, 2014).

- Cacao: el grano de cacao tiene un alto contenido de grasa (43,59 a 45,80 % en base seca) seguido de carbohidratos totales, proteína cruda y ceniza (Chire-Fajardo, 2019). Un contenido importante de polifenoles (6,26 ± 0,26 g de ácido gálico/100 g de cacao) con valores superiores a los cacaos en grano de los países de Venezuela y Ecuador y una capacidad antioxidante (411,15 ± 11,72 mM equivalente a trolox/g de materia seca) que confirma el contenido de polifenoles totales (Castro et al., 2016). Muchos productos del cacao tienen beneficios para la salud por su alta concentración en flavonoides (Donovan et al., 2012).
- Lácteos: la leche es esencialmente un alimento formador de tejidos con proteínas (aproximadamente 3,30 %) de alto valor biológico y calcio (alrededor de 120 mg) que constituyen la base de la composición del esqueleto. En todo el país se puede fabricar yogurt (beneficiosa acción sobre la flora intestinal), queso (fuente de proteínas de calidad, grasa y calcio) y sus derivados (Martin-Salinas y Diaz-Gómez, 2014).
- Cuy: la carne de cuy es un producto con ventajas nutricionales y en la actualidad es muy aceptado porque existe la preferencia por consumir alimentos como la carne de cuy bajo en calorías, grasa, colesterol y alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Contiene aproximadamente 20,63 % de proteínas, 3,44 % de grasa, de los cuales contiene grasa saturada (40 %), grasa monoinsaturada (25 %), poliinsaturada (más de 30 %) y otros (Salvá y Mateo, 2014). Según Sullcahuaman (2020), el consumo *per cápita* de carne de cuy es 0,75 kg/hab/año para el año 2020 en Perú. La demanda tiene un constante aumento alcanzando 24680 TM en el mismo año, se observa un incremento por actividades costumbristas, tradicionales en épocas festivas, además por efecto de las degustaciones en algunas tiendas en un 400 a 450 %. Las ventas en su 70 % son con los productores y el 30 % es por intermediarios.
- Camélidos sudamericanos: se menciona a la carne de alpaca, la cual es baja en grasa y con un contenido de proteínas superior al de las carnes convencionales. Su composición en macronutrientes es similar al de la carne de llama. Salvá et al. (2009) reportan para la carne de alpaca peruana un contenido de proteínas de 22,69 ± 1,66 % y un contenido de grasa 2,05 ± 0,85 %. Sobre las proteínas, el contenido de aminoácidos en la carne camélida es comparable al de otras especies. Para la carne de alpaca peruana se encontró los siguientes aminoácidos: glutámico (16,61 %), aspártico (12,06 %), isoleucina-leucina (11,40 %) y lisina (11,05 %), principalmente (Salvá, 2009). Sobre el contenido de grasa, Salvá (2009) reportó en el musculo de alpacas peruanas ácidos grasos como oleico (C18:1 n-9 con 24,24 ± 5,04%), palmítico (C16:0 con 22,01 ± 1,05 %) y esteárico (C18:0 con 19,82 ± 1,78 %). Polidori et al. (2007) determinaron el perfil de ácidos grasos en el musculo de llamas peruanas con 50,34 % de ácidos grasos saturados, 42,48 % de ácidos grasos monoinsaturados y 7,18 % de ácidos grasos poliinsaturados, éste último superó el contenido de ácidos grasos poliinsaturados para vacuno y cordero. Los ácidos grasos encontrados para la carne de llama peruana fueron: oleico (C18:1 cis con 35,75 ± 4,11 %), palmítico (C16:0 con 24,78 ± 2,01 %) y esteárico (C18:0 con 21,47 ± 2,02 %) y un contenido importante de linolénico (C18:3 n-3 con 0,82 ± 0,17 %). El cociente n6:n3 hallado en la grasa intramuscular de la alpaca peruana fue 3,74 (Salvá, 2009).

CANASTA BÁSICA FAMILIAR PERUANA

El estudio de Alcázar (2007), declara que la desnutrición crónica está relacionado generalmente con la pobreza, debido a que está vinculada con la posibilidad de acceso a una canasta alimentaria e incide sobre en otros factores como el acceso a servicios de salud y saneamiento determinados como la clave de la desnutrición crónica. Sin embargo, pueden existir posibilidades en la relación nutricional con la pobreza en los tipos de estratos económicos.

Por otro lado, la pobreza está relacionada con su disponibilidad y acceso a unos u otros alimentos que influirán en la dieta y el peso de una persona. Los factores que determinan la disponibilidad pueden ser: 'físico', refiriéndose a tener los alimentos cerca; 'económico', a precios accesibles según los ingresos familiares; 'nutricional', de alto valor nutricional; o 'cultural', adecuado a sus costumbres del consumidor (Alcázar, 2017).

En los últimos años, los alimentos saludables como las frutas y verduras han subido de precio, a pesar de que el gasto social alimentario ha reflejado una disminución crónica infantil de 4,4 % en ocho años (33,2 % en 1992 y 28,8 % en el 2000). Se buscan sustitutos de alimentos y bebidas menos saludables, los cuales son más baratos y están disponibles en lugares de puntos de venta. Ello tiene como resultado restringir la posibilidad de mantener a una alimentación saludable para el sector de pobreza rural con un ingreso familiar promedio fue de S/. 771,40 nuevos soles (INEI, 2019).

Según Rojas et al., (2004) con respecto a la situación de la niñez, mencionan que el 54,8 % de la población es considerada en situación pobre por no tener los ingresos suficientes para la adquisición de una canasta básica familiar de consumo, afectando en este contexto, principalmente, a la población infantil en su estado nutricional al estar restringido alimentos, así como también al servicio de salud, saneamiento y educación. En sus hallazgos Rojas et al., (2004) mencionan las condiciones de vida desfavorables en infantes que relacionan con la deficiencia de gran parte de nutrientes en su alimentación, comprometiendo al desarrollo físico y mental, incrementando los riesgos de morbilidad y mortalidad infantil. Se relaciona el consumo deficiente de energía al no acceso de alimentos en el nivel socioeconómico bajo. La contribución mayor de ingesta de energía en la dieta de la población infantil pobre es obtenida por los carbohidratos simples (alimentos adquiridos más baratos, disponibles, ausentes de vitaminas y minerales), siendo la base de su alimentación en familia.

Por este motivo, a través de los años, pobladores rurales han comenzado a migrar de zonas rurales a urbanas por la demanda de dinero para cubrir sus necesidades. Esto, en el Perú se expresa en diferencias del entorno y en estilos de vida. En un estudio del año 2007 se encontraron grandes diferencias y un gradiente de obesidad entre los tres grupos: 34,0 % en el urbano, 21,3 % en el migrante y 3,0 % en el rural (Rojas et al., 2004).

3.3. Población con mayor riesgo de enfermarse con COVID-19

Existe cierto sector de la población que presenta condiciones de salud como edad avanzada (adulto mayor), obesidad, diabetes, cáncer, asma y otros que forman parte de los factores de riesgo para ser internado en un centro médico, ingreso a UCI, dependencia de respirador mecánico y muerte por desarrollo de la enfermedad COVID-19.

ADULTOS MAYORES

El motivo de su alta mortalidad por COVID-19 puede atribuirse a la elevada comorbilidad, alta prevalencia de demencia, mayor prevalencia de fragilidad, vulnerabilidad a eventos adversos, discapacidad y dependencia vinculadas a la disminución de la reserva fisiológica, a una menor capacidad intrínseca y resiliencia. Esta situación favorece una mayor frecuencia de manifestaciones severas de la enfermedad, necesidad de ingreso en UCI y letalidad en pacientes de edad avanzada (Tarazona-Santabalbina et al., 2020). Se espera que la cantidad de adultos peruanos que tienen más de 60 años aumente de 3 millones en 2015 a 8,7 millones en 2050 (Fondo de Población de las Naciones Unidas, 2021). En 2018, se registraron 3 345 552 de los habitantes del país como personas adultas mayores, lo que representa el 10,4 % de la población nacional. Según las proyecciones demográficas estimadas, para este año se esperaba que la cantidad de adultos peruanos mayores de 60 años aumente a 3 593 054 personas (INEI, 2018).

PACIENTES OBESOS

La obesidad es una enfermedad crónica que se encuentra presente en todos los sectores poblacionales alrededor del mundo, presenta una tendencia a aumentar a lo largo de los años y ha sido declarada como la epidemia del siglo XXI. Su presencia se relaciona a enfermedades como la diabetes mellitus 2, la hipertensión arterial, las dislipidemias y algunos tipos de cánceres (Pajuelo-Ramírez, 2017). Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades consideran que quienes tienen un IMC ≥ 40 kg/m² tienen riesgo de sufrir complicaciones por la influenza. Cabe recordar que, durante la pandemia H1N1 del año 2009 la obesidad fue reconocida como un factor de riesgo independiente para las complicaciones de la influenza (Ryan et al., 2020). La obesidad tiene una fuerte influencia en la patogénesis de la enfermedad por COVID-19. De hecho, el sistema inmunitario es clave en la fisiopatología de la inflamación del tejido adiposo inducida por la obesidad. Esta produce una disfunción metabólica (Aquino-Canchari et al., 2020). Según Pajuelo-Ramírez et al. (2019) en un estudio realizado en el Perú en el periodo 2012-2013 a nivel nacional refleja que el 40,5 % de la población padece de sobrepeso, 19,7 % de obesidad y 33,6 % de obesidad abdominal en personas adultas. Estas cifras nos muestran la poca importancia alimenticia y nutricional que maneja la población peruana.

PACIENTES CON DIABETES MELLITUS TIPO 2

Las personas tienen mayor probabilidad de desarrollar infecciones, resultado de múltiples alteraciones en su inmunidad innata, producen un déficit funcional de los granulocitos neutrófilos, anormalidades en los fenómenos de adhesión, quimiotaxis, fagocitosis y destrucción intracelular a causa de microorganismos patógenos (Kulcsar et al., 2019). Los pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en su mayoría presentan obesidad, este es otro factor de riesgo, lo cual desarrolla una alteración de la homeostasis glucémica y genera dos alteraciones importantes tales como: la hiperglucemia crónica y el estado inflamatorio crónico. Estos, merman la inmunidad de los pacientes con diabetes mellitus tipo 2 y los vuelve vulnerables a las infecciones, en este caso, a la infección por COVID-19 (Muniyappa y Gubbi, 2020). Según el estudio de Seclen et al. (2015), cuyo objetivo fue estimar las prevalencias de diabetes y glucosa alterada en ayunas (IFG) en una muestra nacional de adultos mayores de 25 años, se ha registrado la prevalencia nacional de diabetes de 7 % y de IFG (prediabetes) de 22,4 %. Esto confirma la diabetes como un

importante problema de salud pública y que casi la cuarta parte de la población nacional está en riesgo de presentarla.

PACIENTES CON CÁNCER

Son más susceptibles a la infección que las personas sin cáncer debido a la malignidad y la terapia anticancerígena, los cuales desencadenan un estado de inmunosupresión (Markham, 2020; Aquino-Canchari et al., 2020). Durante la pandemia del virus de la influenza A (H1N1) en 2009, se hicieron unos estudios y, como resultado, reportaron que los pacientes con cáncer tuvieron una mayor incidencia de neumonía (66 %) y mortalidad a los 30 días (18,5 %) en comparación con la población en general (Markham, 2020; Aquino-Canchari et al., 2020). En otro estudio con 1 590 infectados con SARS-CoV-2, de los cuales 18 (1,13 %) presentaban cáncer, se encontró que los afectados por esta patología desarrollaban signos y síntomas más graves. A su vez, empeoraban más rápidamente a diferencia de los pacientes sin cáncer. Cabe remarcar que, los pacientes oncológicos que tenían tratamiento de quimioterapia o fueron sometidos a cirugía presentaron mayor riesgo a desarrollar eventos graves en comparación con los que no recibieron este tipo de tratamientos (Markham, 2020; Aquino-Canchari et al., 2020). Los determinantes más relevantes para el cáncer son pobreza, educación y urbanización, lo que representa -en los últimos 11 años- una tendencia descendente para la pobreza. Una fracción importante de la población no llegó a completar los estudios secundarios y se incrementó la urbanización, lo que trae consigo estilos de vida sedentarios con una dieta no saludable, entre otros. Se diagnosticó 66 627 nuevos casos de cáncer en la población peruana de 32 551 811 de habitantes para el año 2018, siendo los más frecuentes tratados en los hospitales de la costa (cervix, piel, mama, estómago y colorrectal) que en la sierra (cervix y estómago) y en la selva (cervix) (Ministerio de Salud, 2020).

PACIENTES CON ASMA

Los pacientes con asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) que se infecten con el virus del SARS-CoV-2 parecen tener un mayor riesgo de infección por COVID-19 (Daccord et al., 2020). A pesar de la epidemia en curso, las recomendaciones que indicaron para dicho tratamiento del asma y la EPOC siguen siendo válidas. Sin embargo, las pruebas de función pulmonar y las nebulizaciones deben realizarse con precaución a lo largo de la pandemia de COVID-19 a causa del riesgo potencial de aerosolización y contagio del virus durante el procedimiento. Se debe tener especial cuidado para identificar y proteger a los pacientes que particularmente son vulnerables a la infección por COVID-19, asma y la EPOC, deben continuar y adaptarse para garantizar un control óptimo de la enfermedad pulmonar durante toda la vida (Daccord et al., 2020). Las autoridades y los médicos aún están aprendiendo cómo el COVID-19 afecta a las personas con enfermedades latentes y el asma grave no es una excepción. Para los pacientes con asma grave infectados por SARS-CoV-2, la decisión de mantener la terapia biológica hasta que el paciente se recupere debe ser una decisión respaldada por un equipo multidisciplinario. Un registro de casos de COVID-19 en pacientes con asma grave, incluidos los tratados biológicos, ayudará a abordar un desafío clínico en el que tenemos más preguntas que respuestas (Morais-Almeida et al., 2020). Los primeros informes sugirieron que los esteroides estaban contraindicados en pacientes con enfermedad de COVID-19, aunque ha habido algunas indicaciones de que los esteroides son útiles en la enfermedad grave de COVID-19. La conclu-

sión para las personas con asma es que, durante esta pandemia, deben seguir haciendo lo que siempre hacen: deben continuar tomando su medicamento de control e informar a su médico si se desarrollara algún síntoma. Además, por supuesto, deben practicar las barreras físicas (Moore, 2020).

DATOS EPIDEMIOLÓGICOS DE DIFERENTES ESTUDIOS DE PACIENTES AFECTADOS POR COVID-19 EN PERÚ

A fin de revisar la relación de la enfermedad con la población en condición de riesgo y factores de comorbilidad, se detalla lo siguiente:

- En el Hospital Cayetano Heredia se realizó un análisis con historias clínicas de pacientes adultos con COVID-19 ingresados entre marzo y junio de 2020 con una edad media de 59 años. El 68,56 % de los pacientes presentaron al menos una comorbilidad. Con mayor frecuencia: 42,55 % con obesidad, 21,95 % con diabetes mellitus tipo 2 y 21,68 % con hipertensión, siendo la mortalidad hospitalaria registrada de 49,59 % (Mejía et al., 2020).
- En el Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins que registró a un grupo de pacientes que ingresaron por emergencia en marzo de 2020 con una edad promedio de 53,5 años. Todos presentaron factores de riesgo: 35,3 % adultos mayores, 23,5 % hipertensión arterial, 17,6 % obesidad, 11,8 % diabetes mellitus tipo 2 y 11,8 % problemas renales, siendo la mortalidad hospitalaria registrada de 29,4 % (Acosta et al., 2020).
- En el establecimiento de la Red Sabogal-Callao se realizó un análisis de un grupo de pacientes que ingresaron entre marzo y abril de 2020. Las características epidemiológicas predominantes fueron sexo masculino y de edad de 60 a 79 años. Las comorbilidades predominantes fueron: 30,43 % hipertensión arterial, 21,74 % obesidad, 17,39 % diabetes, 13,04 % enfermedad respiratoria crónica y 8,7 % enfermedades cardiovasculares (Llaro-Sánchez et al., 2020).

3.4. Propuestas de alimentación y nutrición en tiempos de pos COVID-19 para la población peruana

3.4.1. ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN

Desde un punto de vista nutricional, y analizando distintos escenarios que enfrenta la población frente al COVID-19, se ha confirmado que no existe un tratamiento médico específico para este nuevo virus. Asimismo, el consumo de alimentos específicos o el planteamiento de una dieta determinada no disminuye el riesgo de contagio. Sin embargo, podría ayudar a personas enfermas en el manejo de síntomas que se van complicando en la estadía del virus en el organismo, tanto para pacientes domiciliarios o pacientes hospitalizados (García et al., 2020).

El error en el manejo de la estadía del virus en el organismo es considerar que el COVID-19 es una enfermedad respiratoria y que solo se debe enfocar en tratamientos para el sistema respiratorio. Es por ello que se debe observar desde un campo más amplio ya que puede ocasionar falla multiorgánica y resultar fatal (Huang et al., 2020).

Por esta razón, desde el punto de vista nutricional se debe individualizar a las personas contagiadas, empleando estrategias para poder abarcar todos los escenarios posibles en que

se encuentra la persona actualmente. De manera que se clasifica en dos grandes grupos: pacientes COVID-19 con sintomatología leve en domicilio y pacientes COVID-19 hospitalizados.

La Academia Española de Nutrición y Dietética (2020) realizó algunas recomendaciones de alimentación y nutrición para la población española ante la crisis sanitaria del COVID-19. Menciona que el plan nutricional es afectado si el paciente COVID-19 se encuentra en situación de riesgo nutricional, es decir, que tenga una malnutrición o presente enfermedades preexistentes crónicas, teniendo en cuenta que la malnutrición va más allá de tener un alto o bajo índice de masa corporal (IMC), además de mantener la composición corporal y masa muscular saludable.

PACIENTES COVID-19 EN DOMICILIO

Refiere al grupo que está dentro de los pacientes COVID-19 y desarrollan la enfermedad en su domicilio, se considera aquellos que puedan alimentarse por vía oral sin problemas, teniendo en cuenta que pueden presentar síntomas generales de la enfermedad como es la pérdida de los sentidos del olfato y del gusto, consecuentemente pérdida del apetito, lo cual originaría una depresión nutricional en el paciente y podría llevar a una complicación del paciente enfermo.

El enfoque para este grupo de pacientes es una alimentación adaptada en color, textura, sabor y densidad calórica. De manera que cada combinación de alimentos en las comidas aporte macronutrientes (proteína, grasas y carbohidratos) y no sea un aporte basándose solo en la energía que requiere el organismo para su metabolismo (García et al., 2020).

- Hidratación: es necesario mantener al cuerpo hidratado constantemente para evitar la deshidratación. Se recomienda ingerir agua a demanda, considerando la sensación de tener o no sed (Frangeskou et al., 2015). Para el caso de personas con mayor edad que no presenten sensación de sed con frecuencia, e incluso disminuye con más intensidad la sensación de sed, es importante mantenerlas hidratadas ya que son un grupo de riesgo. Se puede considerar la hidratación por medio de consumo de gelatinas neutras o saborizadas sin azúcar para ayudar al apetito en mayores (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020).

La fiebre es un síntoma muy común en la mayoría de pacientes enfermos en casa. Se requiere por lo menos 1,8 litros de agua al día u ocho vasos de agua al día (MINSA, 2021d). La hidratación puede realizarse por distintos medios como: la preparación de caldos de pollo, carne o pescado previamente desgrasado, infusiones de té, jugos, zumos de frutas o leche y, además, se considera también el consumo de frutas y hortalizas como ingesta de agua debido al alto contenido de agua que presentan. Sin embargo, se prefiere siempre el consumo de agua como fuente de hidratación (García et al., 2020).

No se recomienda ningún tipo de bebida refrescante o edulcorada, tampoco se recomienda el consumo de bebidas alcohólicas (vino o cerveza). En el caso de personas que son bebedoras deben disminuir drásticamente el consumo normal de estas bebidas (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020).

- Frutas y hortalizas: se recomienda, para todas las personas, el considerar en su dieta diaria entre dos a tres raciones de frutas y dos raciones de hortalizas al día (MINSA, 2021d). Sin embargo, para pacientes con sintomatología de inflamación a la garganta, fiebre o falta de apetito se debe estimular el consumo alterando la forma y textura de dichos alimentos para una fácil deglución, como es en el caso de la preparación culina-

ria en alimentos como puré de hortalizas enriquecidas con aceite de oliva, fruta pelada y cortada en diminutos trozos. En el consumo de un tipo de fruto u hortaliza no hay restricción ni preferencias. Sin embargo, se opta por el consumo de frutas y hortalizas frescas y de temporada (Academia Española Nutrición y Dietética, 2020).

- Integrales y legumbres: se prefiere elegir cereales integrales procedentes de grano entero (pan integral, pasta integral, arroz integral) y legumbres presentes en guisos o estafados acompañados con verduras. No se recomienda considerar derivados de cereales que se presenten en productos de pastelería, disminuyendo su consumo totalmente (García et al., 2020).
- Lácteos: existe una controversia entre el consumo de lácteos, aún se sigue discutiendo si el consumo de éstos productos es indispensables para la salud y si pueden afectar negativamente al sistema óseo. Sin embargo, aún no se confirma esta hipótesis, por lo cual, según la Academia Española de Nutrición y Dietética (2020), parece más prudente seguir recomendando lácteos desnatados para adultos como fuente de calcio. Es importante diferenciar que el consumo de lácteos fermentados no incluye a los productos que tienen variedades saborizadas, aromatizadas con frutas, entre otros, que por lo general contienen grandes cantidades de azúcar añadida (Méndez, Padilla y Lanza, 2020). El estudio de Calvo et al. (2014), declara que la grasa láctea constituye una fuente natural de compuestos bioactivos, cuyo beneficio potencial sobre la salud humana permitiría su aplicación comercial en el desarrollo de alimentos funcionales.
- Cárnicos: se recomienda consumir carne de tres a cuatro veces por semana con un máximo de una vez a la semana de consumo de carne roja (ternero, cordero o cerdo). El consumo de carne de pescado es más frecuentemente, de manera que se recomienda de dos a tres veces por semana (MINSA, 2021d). También, se prioriza el consumo de huevos (tres a cuatro veces por semana como mínimo). Se considera el consumo de carne de aves (pollo, pavo, entre otros), conejo y cuy. Se debe evitar el consumo de embutidos de cualquier animal (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020).
- Frutas secas, semillas y aceite de oliva: se recomienda el uso del aceite de oliva, como grasa de aderezo. Además, se considera importante el consumo de frutos secos (almendras, pecanas y nueces) y semillas (girasol y calabaza). De allí que estas sean una excelente opción de aperitivo entre tiempos, siempre y cuando se consuman naturales o tostadas sin el exceso de aceite o sal (MINSA, 2021d; Schwingshackl et al., 2017).
- Comida rápida o precocida: el consumo de alimentos precocidos y comida rápida no están recomendados, en general, por su alta densidad energética (elevado contenido de grasa y azúcares). No se consideran dentro de una dieta normal saludable y mucho menos en periodos de aislamiento debido a que puede aumentar el riesgo de padecer sobrepeso u obesidad y otras patologías asociadas (MINSA, 2021d; Pajuelo-Ramírez, 2017).

No está comprobado que el consumo de algún nutriente pueda ayudar a prevenir la infección causada por la presencia del virus COVID-19 en nuestro organismo en sujetos con sintomatología leve. Aunque algunos nutrientes como: cobre, folatos, hierro, selenio, vitamina A, vitamina B12, vitamina B6, vitamina C, vitamina D y zinc contribuyen al funcionamiento correcto del sistema inmunitario. Tal como menciona *European Food Safety Authority* (EFSA, 2020), no se puede concluir aún que el consumo de estos nutrientes puede detener el riesgo de padecer complicaciones sintomatológicas del nuevo virus ni mucho menos consumir estos nutrientes para este fin. Esta última conclusión ha sido revisada a detalle sobre potenciales intervenciones

dietéticas en coronavirus reforzados por las conclusiones de un trabajo realizado sobre SARS, MERS y COVID-19 (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020).

Pacientes COVID-19 en estado crítico: Es muy importante considerar cuáles son las características y el mecanismo que enfrenta el sistema inmunitario hacia la enfermedad del COVID-19. En algunos casos, en pacientes que padecen la enfermedad las manifestaciones clínicas pueden complicarse en la segunda fase de la enfermedad (Baro-Moral y Fernández-López, 2020).

Según información recolectada de países occidentales que se enfrentaron inicialmente al virus COVID-19, para los pacientes ingresados con sintomatología leve o críticos en UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) siguieron las pautas de la Sociedad Europea de Nutrición Clínica y Metabolismo (ESPEN) o de la Sociedad Americana de Nutrición Enteral y Parenteral (ASPEN) (McClave et al., 2016). Estas consistieron en una detección del estado nutricional antes del tratamiento global entre las 24-48h del ingreso y adaptación de la dieta a su función gastrointestinal y riesgos de aspiración. Se priorizó la dieta oral con o sin suplementación proteica. En los casos en los que no fue posible la nutrición enteral (NE) se optó por sonda y, finalmente, se pasó a nutrición parenteral (NP) como último recurso, siguiendo el protocolo de cualquier paciente crítico (Baro-Moral y Fernández-López, 2020).

Se sugiere al paciente hospitalizado por COVID-19 la suplementación de vitaminas y antioxidantes (CNP, 2020). En países occidentales aún no existen guías ni recomendaciones oficiales y específicas para prevenir ni tratar la infección por COVID-19. Sin embargo, conocemos por información científica publicada que China realiza un cribado del estado nutricional del paciente, que prescriben probióticos y que usan estrategias de estudios realizados en enfermedades infecciosas respiratorias (MERS y SARS) para mejorar la recuperación y el sistema inmune del paciente (Baro-Moral y Fernández-Lopez, 2020).

La Academia Española de Nutrición y Dietética (2020) menciona que es importante identificar si el paciente que ingresa a UCI se encuentra en un estado de desnutrición o si presenta alguna patología crónica previa para poder realizar un tratamiento en base a su estado o si necesita una suplementación, como sucede en la mayoría de los casos registrados. Se mencionan las siguientes recomendaciones alimentarias y de nutrición en pacientes críticos con COVID-19:

- a. El establecimiento de una dieta alimentaria específica en base a una evaluación previa de la condición del paciente que entra a UCI es el soporte del tratamiento integral frente al COVID-19.
- b. La evaluación antes de asignar un tratamiento al paciente puede marcar el avance o el descenso del tratamiento, por ello, el análisis del paciente debe ser temprano para evitar complicaciones.
- c. Una iniciación nutricional entre las primeras 48 horas de ingreso del paciente a UCI.
- d. Monitorear al paciente en energía, proteínas y el mantenimiento del equilibrio de líquidos. Dieta oral antes que enteral o parenteral, suministrar de 20 a 30 kcal/kg/d aproximadamente. Se debe incluir una dosis proteica en el rango de 1,2 a 2 g/kg/d, ya que muchos de los pacientes con diagnóstico terminal presentan atrofia muscular porque su organismo realiza catabolismo de proteínas que afecta a la supervivencia y la lucha del paciente por combatir contra el virus.
- e. A los pacientes mayores de 70 años que ingresan con pérdida de consciencia, cuidado oral deficiente, posición prona o reflujo gastroesofágico se deben tomar precauciones debido al riesgo de broncoaspiración.

- f. No se debe fomentar el consumo de nutrientes que participan en el funcionamiento inmunológico (cobre, folatos, hierro, selenio, vitamina A, vitamina B12, vitamina B6, vitamina C y vitamina D y zinc) para combatir el virus del COVID-19, ya que existen estudios científicos trabajados sobre SARS, MERS y COVID-19 que llegan a esta misma conclusión (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020).

PACIENTES COVID-19 QUE PASARON LA ENFERMEDAD:

La información científica declara que más del 70 % de los pacientes requieren soporte nutricional, siendo una parte muy importante para el proceso integral del tratamiento de la enfermedad y una pronta recuperación (Rubio, 2020).

Por lo general, los pacientes presentan requerimientos nutricionales altos debido a la recuperación de la enfermedad. Se debe aplicar algún sistema de alimentación que pueda asegurar una ingesta adecuada de nutrientes de 25-30 kcal/kg de peso y 1,5 g proteínas/kg/día. Sin embargo, si es insuficiente, se recomienda usar suplementos orales nutricionales (Ballesteros, 2020, citado en Fernández et al., 2020).

Para pacientes que tuvieron una estadía en UCI (Van Zanten, De Waele & Wischmete, 2019, citado en Guía de Práctica Clínica en el Manejo Médico Nutricional de Pacientes Críticos) los requerimientos de macronutrientes utilizados en el Hospital Nacional Dos de Mayo en pacientes críticos cuando salen de la fase de estrés y con ella su recuperación de la enfermedad, aumentan al 125 % de la ingesta calórica promedio, aumenta la ingesta proteica a 1,5-2 g/kg/d. Además, consideran la nutrición enteral prolongada y suplementos nutricionales orales, indicando los suplementos de proteína más importantes de adquirir. Es importante considerar la alta ingesta proteica y calórica, ya que estos pacientes salían de una inflamación aguda por la disfagia pos-entubación y la extracción de la sonda de alimentación.

Después del alta hospitalaria (Van Zanten, De Waele & Wischmete, 2019, citado en Guía de Práctica Clínica en el Manejo Médico Nutricional de Pacientes Críticos) un aumento al 150 % de ingesta calórica o 35 kcal/kg/día, la ingesta proteica a 2-2,5 g/kg/d y, si no se llega a los requerimientos, se puede obrar por consumo de suplementos nutricionales, sobre todo, para pacientes que aún tiene un riesgo de ingesta reducida prolongada. Se considera el inicio de función muscular y composición corporal, es decir actividad física mínima. El aumento de aporte calórico y proteico no indica el aumento de volumen de las raciones (Fernández et al., 2020).

De igual manera, para cualquier estado de salud del que provenga el paciente se debe mantener buenos hábitos alimentarios, ya que es la solución para prevenir enfermedades y mejorar la salud durante la etapa de convalecencia (Fernández et al., 2020).

SISTEMA INMUNITARIO

El sistema inmunitario se localiza en las mucosas de los aparatos respiratorio, digestivo y genitourinario, pesa algo más de un kg (linfocitos), cuida el orden del cuerpo y reacciona frente a la agresión exógena y endógena (USIL, 2020).

Las respuestas inmunológicas en un paciente que contrae el virus del COVID-19 son una de las características más evaluadas en esta enfermedad. Como ya hemos analizado anteriormente, las condiciones del paciente que entra a hospitalización se complican en la segunda fase de la enfermedad, respondiendo al organismo infectado (Baró-Moral y Fernández-López,

2020). Muchos nutrientes protegen el sistema inmunológico como: vitaminas, minerales, prebióticos, probióticos, ácidos grasos entre otros (USIL, 2020). En la Tabla 1 se presenta un resumen de las principales características de cada inmunonutriente.

Tabla 1. Características y fuentes de los inmunonutrientes

Inmunonutriente	Característica
Vitamina A	Regula la respuesta inmune innata. Se encuentra en: hígado de res y de cerdo, zanahoria, espinaca, melón, tomate, mango, camote, salmón, lácteos y huevos.
Vitamina B	Respuesta defensiva inmune. Se tienen: <ul style="list-style-type: none"> • B1 (tiamina), cereales integrales, soya, avena, semillas, ajonjolí, carne magra de cerdo, frutos secos. • B2 (riboflavina), leche, hígado y vísceras, carne de res, pescado, cereales enteros, huevos, almendras, espinacas, espárragos, palta. • B3 (niacina), carne magra, lúcuma, pescados azules, cereales, nueces, huevos. • B5 (ácido pantoténico), hígado, cerdo, pollo, huevo (yema), maní, garbanzos, champiñones, camote, brócoli. • B7 (biotina), carnes y vísceras, yema de huevo, brócoli, almendras, camote, palta, salón. • B12 (ácido fólico), verdura de hoja verde, frutas cítricas, legumbres.
Vitamina C	Potente antioxidante, protege la infección por coronavirus. Se encuentra en: limón, toronja, fresas, kiwi, camu-camu, pimienta roja, rábano, brócoli, perejil crudo.
Vitamina D	Estimula la maduración de las células inmunitarias. Reduce el crecimiento viral. Se encuentra en: exposición a la luz solar, pescados azules, lácteos, huevos.
Vitamina E	Reduce el estrés oxidativo. Se encuentra en: aceites vegetales, almendras, maní, pistachos, palta, espinaca.
Zinc	Participa en el mantenimiento y desarrollo de las células inmunitarias. Se encuentra en: garbanzos, lentejas, frijoles, mariscos, cashews (nueces de la India).
Hierro	Reduce el riesgo de contraer infecciones respiratorias. Se encuentra en: lentejas, sangrecita e hígado.
Selenio	Estimula la función de las células inmunitarias. Se encuentra en: castañas y mariscos.
Fibra (prebióticos)	Estimula las células en el tejido linfático asociado al intestino. Induce la actividad de las 'bacterias buenas'. Se encuentra en: manzana, granos integrales, avena, alcachofa.
Probióticos	Refuerzan la vigilancia inmunológica de las células NK (<i>natural killer</i>). Se encuentra en: yogurt, kombucha, kéfir, encurtidos, chucrut.
Ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs)	Tienen efectos antiinflamatorios. Se encuentra en: aceites vegetales, linaza, nueces, huevos, pescados azules.

Fuente: USIL (2020).

Es importante mencionar que la inmunonutrición asocia diferentes aspectos del estado nutricional, es decir, engloba distintos compuestos en los alimentos y su potencial bioactivo,

regulando nuestra salud intestinal y buscando una relación 'intestino/cerebro'. También, regula los procesos inflamatorios sistémicos e inmunológicos, detectando las enfermedades más probables a padecer según la evaluación realizada. Como se sabe, la desnutrición es el enfoque más común encontrado, generado por estados de inmunodepresión con mayor riesgo de padecer infecciones. Además, también se encuentra un enfoque de sobrealimentación que daría la respuesta a un organismo con mayores casos de inflamaciones relacionadas con la obesidad, diabetes tipo II, hipertensión, entre otras. El sistema inmune está en constante cambio durante la vida, es relativamente inmaduro al nacer, va adquiriendo madurez hasta la edad adulta para declinar en la adultez mayor (USIL, 2020).

3.4.2. RECOMENDACIONES GENERALES

La Universidad de Harvard (Harvard, 2020) menciona algunas recomendaciones nutricionales generales, las cuáles son: alimentación muy variada, saludable, equilibrada y la actividad física diaria con la hidratación respectiva. Todas ellas practicadas en conjunto.

La alimentación saludable: como ya se mencionó, consiste en que todos los nutrientes se encuentren en la dieta diaria para fortalecer el sistema inmunológico cuando este se encuentre frente a enfermedades virales o infecciones. Para un mejor análisis, la alimentación se ha dividido en grupos de alimentos:

- a. El consumo de frutas y verduras son fundamentales para el fortalecimiento del sistema inmune por su contenido de vitaminas y minerales (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020). El consumo debe ser repartido en cinco porciones, tres frutas y dos verduras, al día.
- b. El consumo de lácteos y derivados por su contenido de calcio. El consumo de estos se prefiere que sea bajo en grasa.
- c. El consumo de cereales preferentemente integrales o enriquecidos con fibra. Se sugiere la combinación de carbohidratos biodisponibles acompañados con carbohidratos con reducida biodisponibilidad dos o tres veces al día (Hernández-Cárdenas, 2019). Ejemplos: cereales de salvado, arroz integral, pan integral, avena en hojuelas, frijol, lenteja o garbanzo acompañados de papa, camote o maíz (Martin-Salinas, 2014). Estas brindan energía y se pueden preservar sin refrigerar.
- d. El consumo de carnes blancas de dos a tres veces por semana, carnes rojas o de cerdo máximo una vez por semana, además de pescado y huevos tres a cuatro veces por semana por su contenido de proteínas de origen animal y alto valor biológico (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020).
- e. El consumo de alimentos que contengan un significativo contenido de grasas insaturadas. Se tiene a aceites de las semillas de girasol, maíz, germen de trigo, soja, cacahuate y como frutos secos las nueces (omega 6), también los pescados azules (omega 3) (Martin-Salinas, 2014).

Evitar el consumo de embutidos y carnes con exceso de grasas de cualquier animal debido a que contienen elevado contenido de ácidos grasos saturados. De igual forma, sucede con el consumo de bebidas alcohólicas que tampoco aportan ningún beneficio a la salud (Pajuelo-Ramírez, 2017).

En la preparación de alimentos se debe optar por una preparación más saludable, como es el cocinado a la plancha, al vapor, asados, al horno o guisados. Usar aceites vegetales en lugar de grasa de manteca o mantequilla. No se recomienda el consumo de alimentos precocidos o comida rápida, ya que contiene un elevado contenido en grasas y azúcares (Pajuelo-Ramirez, 2017).

Finalmente, se debe tener en cuenta la hidratación. Esta va a variar con respecto a la actividad física que se realiza. Se recomienda consumir ocho vasos con agua, dos litros, como mínimo de agua durante el día, optando por elegir el agua sola como bebida principal (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

Con respecto a realizar una compra responsable de alimentos, se debe realizar un inventario de los productos que hay en casa y planificar un menú en base a dos semanas y realizar compras enfocadas hacia dicho menú (Academia Española de Nutrición y Dietética, 2020). Según el documento establecido por la Academia Española de Nutrición y Dietética, se considera que los alimentos no perecederos son preferentes en estos casos. Pero, en el caso de desear consumir alimentos frescos, se pueden almacenar en frío de manera controlada. Solo se almacena lo considerable en el tiempo que ha establecido su inventario. Dentro de estos pueden encontrarse:

- a. Alimentos perecederos que se pueden comprar frescos, refrigerados y que también pueden congelarse como carnes, pescados y mariscos. Algunas verduras y hortalizas previamente escaldadas como berenjena, brócoli, champiñones, entre otros.
- b. Alimentos perecederos que solo se pueden conservar en refrigeración como hortalizas que no se pueden congelar como apio, lechuga, algunas frutas frescas, huevos o lácteos.

Es necesario calcular cantidades mediante un inventario hecho en casa para cantidades ajustadas a las necesidades, ya que, en tiempos prolongados, pueden echarse a perder muchos alimentos debido a su deterioro.

De acuerdo con lo que menciona la Organización Mundial de la Salud, lo cual también es citado en las Recomendaciones de Alimentación y Nutrición ante la declaración de emergencia sanitaria por COVID-19 en Colombia (Cubillos-Vásquez et al., 2020), la alimentación debe cumplir con los siguientes requisitos y características.

- a. Completa: debe aportar todos los nutrientes necesarios para el correcto funcionamiento del organismo.
- b. Equilibrada: fraccionar porciones, incluyendo alimentos de todos los grupos alimenticios.
- c. Suficiente: proveer la energía y nutrientes suficientes para cada persona.
- d. Adecuada: específicamente para cada grupo etario, cumpliendo con sus condiciones económicas, gustos, y hábitos alimenticios.
- e. Diversificada: incluir varios alimentos en el cual se cumpla una alimentación que incluya todos los grupos alimenticios.
- f. Inocua: libre de contaminantes y sustancias tóxicas que alteran la salud del consumidor.

La Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima (Perú) promueve, a través de sus programas nutricionales, la alimentación saludable mediante el slogan 'elige bien, come sano' a los estudiantes universitarios en su portal (UNALM, 2021).

Población infantil: La población infantil debe consumir alimentos variados y balanceados nutricionalmente. Se debe estimular el consumo de frutas y verduras en lugar de golosinas y otros alimentos ultra procesados que se encuentran en el mercado como son los cereales, frituras, galletas, caramelos, leches saborizadas, entre otros. Además, también es importante

mencionar la hidratación con agua o jugos sin saborizantes ni agregados de azúcar. Y, realizar actividad física para evitar el sedentarismo en los infantes (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

Mujeres embarazadas y lactantes: las mujeres que hayan tenido un posible contacto con el virus o presenten síntomas generales de esta enfermedad deben tener un monitoreo muy estricto entre dos a cuatro semanas y deben ser consideradas de riesgo (Méndez, Padilla y Lanza, 2020). Los mecanismos de transmisión pueden ser vertical (intraútero, intraparto y periparto) de difícil demostración y horizontal (como el resto de la población de persona a persona) (Dávila-Aliaga et al., 2020).

Por otro lado, una mujer embarazada debería consumir una alimentación de todos los grupos alimenticios en las porciones adecuadas. Además de la suplementación de hierro y ácido fólico (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

La leche materna es el alimento ideal para que el bebé pueda mantener una buena salud al momento de nacer, ya que contiene todos los nutrientes y agua necesaria. Además, según FAO en el 2013, sirve para proteger y transmitir directamente anticuerpos de la madre que permiten prevenir infecciones (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

Con respecto a la leche materna de una mamá infectada por el virus, las pruebas de la leche han mostrado resultados negativos para el COVID-19, por el cual se niega totalmente que una madre infectada pueda transmitir el virus a su bebé través de su leche. Sin embargo, actualmente la preocupación es que el virus puede transmitirse por medio de lágrimas, sudor o saliva de la madre que está contagiada al momento de amamantar a su bebé. Es por ello que se deben tener precauciones para evitar la transmisión (Academia Española Nutrición y Dietética, 2020).

Adulto mayor: la población con mayor riesgo es la de la tercera edad. En muchos casos, predomina el sedentarismo y la pérdida de apetito, por lo cual, se recomienda reducir las porciones para evitar la saturación y el rechazo de alimentos, pero aumentando el consumo de estas pequeñas porciones con mayor frecuencia. De igual forma, se recomienda buscar alimentos de consistencia suave y espesa si es que se presentan problemas de la deglución o masticación. Se prioriza el consumo de frutas para el aporte vitamínico, disminuir o eliminar el consumo de bebidas altas en azúcar y alimentos ultra procesados. Por otro lado, se debe mantener la hidratación constante, aunque no se tenga sensación de sed (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

Pacientes obesos: la obesidad es una enfermedad enfocada al tipo energético donde la ingesta de energía es mayor que la que pierde el organismo. El tipo de energía a que nos referimos es a la que proviene en la ingesta de alimentos. Y, la pérdida de energía es la que se refiere al metabolismo basal, la termogénesis y la actividad física. De los tipos de energía mencionados los únicos que pueden ser alterados o modificados son la alimentación y actividad física (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

Es importante colocar la alimentación en un contexto que se relacione con la aparición de enfermedades emergentes como la obesidad, diabetes e hipertensión, entre otras, ya que, durante todo este tiempo, los cambios de mayor trascendencia fueron la disminución importante de la ingesta de fibra dietaria y el incremento en el consumo de azúcar, sal y grasas saturadas. También se han mostrado altos niveles de insuficiencia de actividad física, lo cual contribuye a 3,2 millones de muertes cada año, como es en el caso de los adultos mayores con insuficiencia de actividad física que padecen un alto pronóstico de mortalidad, comparado con adultos de su mismo rango de edad que practican deporte o alguna actividad física moderada (Méndez, Padilla y Lanza, 2020).

La falta de actividad física y una alimentación no saludable, sumándole el consumo de tabaco y alcohol, son las causas más comunes en mortalidad temprana y normal, ya sea por el padecimiento de enfermedades no transmisibles o por deteriorar la salud progresivamente (Cubillos-Vásquez et al., 2020).

Sin embargo, existen recomendaciones por la OMS (2003) basadas en antecedentes y estudios para mejorar y prevenir problemas salud. Estas nos brindan información básica para la elección de nuestros alimentos:

- a. El consumo de grasas es esencial para un correcto funcionamiento del organismo. Sin embargo, hay que saber escogerlas y diferenciarlas. Las grasas saturadas se encuentran mayormente en la fuente animal, por lo cual se recomienda el consumo controlado y el reemplazo de la mayoría de esas grasas por una fuente vegetal como es el caso de las aceitunas, aceites vegetales o pescado en que se encuentran las grasas insaturadas.
- b. Disminuir o dejar de consumir el azúcar (sacarosa) en todos los aspectos. Desde la cucharadita de azúcar que le agregamos al té o café, hasta los productos procesados que contienen azúcar en su composición. Es importante mencionar que el azúcar no tiene ningún aporte nutricional, excepto las calorías que le suman a tu dieta, lo cual se puede reemplazar por un alimento que aporta mucho más como el caso de las frutas.
- c. La recomendación del consumo de sal es de máximo 5 g.
- d. Aumentar el consumo de fibra dietaria que se encuentra en los alimentos integrales, cereales, menestras, frutas y verduras. La OMS (2003) recomienda la ingesta de 450 g diarios entre frutas y verduras.
- e. Realizar actividad física al menos 150 minutos o 75 minutos/semana de moderada intensidad (OMS, 2003; OMS, 2010).
- f. Si se opta por consumir alimentos procesados, leer la información del etiquetado sobre el tamaño de porción, cantidad de porciones y el número de calorías por porción. De igual manera, informarnos sobre el contenido de grasa, colesterol, fibra, sodio, glúcidos, proteínas vitaminas y minerales por porción.

Actividad física: En el contexto del COVID-19 se debe permanecer por tiempos prolongados en casa, lo que de cualquier manera mantiene a las personas inactivas o con actividad física menor a la rutina que tenían anteriormente. El aislamiento tiende a llevar a un comportamiento de sedentarismo y a bajos niveles de actividad física, llevando a una mala calidad de vida. Según Cubillos-Vásquez et al. (2020), la inactividad física total en cinco días prolongados produce la pérdida de fuerza y atrofia muscular. Esto ocurre porque ante la falta de estímulos musculares disminuye su síntesis, tanto basal como tras la ingesta de alimentos. En consecuencia, se pierde masa muscular, fuerza y funcionalidad. Además, se deben mantener los tiempos de comida principal y entre comida enfocados en un plan de alimentación balanceada, ya que en el contexto actual pueden intervenir estados emocionales de depresión o ansiedad que se producen, efectivamente, por la actividad física nula o muy poca y el excesivo de consumo de alimentos. Sin embargo, no solo se debería enfocar en personas que tienen mucha tendencia a comer compulsivamente, sino también tener en cuenta que existen personas con pérdida de apetito por sus estados emocionales de depresión o desesperación al aislamiento. En general, cualquiera de los dos extremos y el desorden alimenticio trae consecuencias negativas para la salud.

4. Conclusiones y recomendaciones

Los datos evidencian que la enfermedad del COVID-19 tiene un ratio de contagio importante, por lo que el uso de las barreras físicas son parte de la defensa. Sin embargo, la alimentación nutricional de la ciudadanía peruana es deficiente debido a los bajos ingresos que no alcanzan para adquirir la canasta básica familiar. La población tiene una energética nutricional desbalanceada que conlleva a tener desnutrición, enfermedades no transmisibles y un sistema inmunitario con una alta probabilidad de no funcionar en su mejor rendimiento. Por lo tanto, existe una población propensa a presentar, o que presenta, desnutrición, obesidad, diabetes y cáncer que los haría tener un mayor riesgo a enfermarse del COVID-19 y de otras enfermedades futuras. De allí, que la tasa de morbimortalidad en el país aumentaría.

La intervención del gobierno es clave en: (1) la generación del empleo, (2) el control de precios de los alimentos, (3) la capacitación a las madres de los hogares sobre la calidad y cantidad de los nutrientes, (4) la difusión de las preparaciones de los alimentos por medio de la radio, TV y redes sociales, (5) incremento de áreas de deporte y ciclovías. Todo esto con el fin de incrementar la defensa, no sólo para la enfermedad del COVID-19, sino de otras posibles enfermedades por medio de la energética nutricional.

Referencias

- Academia Española de Nutrición y Dietética. (2020). *Recomendaciones de Alimentación y Nutrición para la población española ante la crisis sanitaria del COVID-19*. Consejo General de Colegios Oficiales de Dietistas-Nutricionistas. <https://academianutricionydietetica.org/NOTICIAS/alimentacioncoronavirus.pdf>
- Acosta, G.; Escobar, G.; Bernaola, G.; Alfaro, J.; Taype, W.; Marcos, C.; Amado, J. (2020). Caracterización de pacientes con COVID-19 grave atendidos en un hospital de referencia nacional del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(2): 253-258. <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2020.372.5437>
- Alcanzar, L. (2007). ¿Por qué no funcionan los programas alimentarios y nutricionales en el Perú? Riesgos y oportunidades para su reforma. En *Investigación, políticas y desarrollo en el Perú*. (pp. 185- 234). Editorial GRADE. <http://repositorio.minedu.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12799/8/003.%20Por%20qu%20a%20no%20funcionan%20los%20programas%20alimentarios%20y%20nutricionales%20en%20el%20Per%20Riesgos%20y%20oportunidades%20para%20su%20reforma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aquino-Canchari, C.R.; Quispe-Arrieta, R.D.C.; Huamán-Castillon, K.M. (2020). COVID-19 y su relación con poblaciones vulnerables. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 19: 1-18 <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/3341>
- Baro-Moral, S. y Fernández-López, J. (2020). Inmunonutrición, Recomendaciones de alimentación y nutrición frente al COVID-19. En *Seminarios de Iniciación a la Investigación en Ciencias Avanzadas de la Nutrición*. Llevado a cabo en la Universidad Internacional de Valencia. https://www.academia.edu/43151342/INMUNONUTRICI%C3%93N_RECOMENDACIONES_DE_ALIMENTACI%C3%93N_Y_NUTRICI%C3%93N_FRENTE_AL_COVID_19_REVISI%C3%93N_BIBLIOGR%C3%81FICA
- Caballero-Armas, W. (2013). La alimentación en el Perú 1997-2011. Fortalezas y debilidades. Universidad Alas Peruanas – Unidad de Investigación. Lima-Perú.
- Calvo, M.V.; Castro-Gómez, M.P.; García-Serrano, A.; Rodríguez-Alcalá, L.M.; Juárez-Iglesias, M.; Fontecha-Alonso, J. (2014). Grasa láctea: una fuente natural de compuestos bioactivos. *Alimentación*,

- Nutrición y Salud*, 21(3): 57-63. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/113565/1/Grasa%20l%C3%A1ctea.pdf>
- Castro, M.D.R.; Hernández, J.A.; Marcilla, S.; Córdova, J.S.; Solari, F.A.; Chire, G.C. (2016). Efecto del contenido de grasa en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante de *Theobroma cacao* L. 'CACAO. *Ciencia e investigación*, 19(1): 19-23. https://www.researchgate.net/profile/Armando-Solari-Godino/publication/308140856_EFECTO_DEL_CONTENIDO_DE_GRASA_EN_LA_CONCENTRACION_DE_POLIFENOLES_Y_CAPACIDAD_ANTIOXIDANTE_DE_Theobroma_cacao_L_CACAO/links/5df011af4585159aa473ecc8/EFECTO-DEL-CONTENIDO-DE-GRASA-EN-LA-CONCENTRACION-DE-POLIFENOLES-Y-CAPACIDAD-ANTIOXIDANTE-DE-Theobroma-cacao-L-CACAO.pdf
- Chire-Fajardo, G.C. (2019). *Mejora de las propiedades físicas y su efecto en el contenido de ácidos grasos en chocolate peruano aplicando superficie de respuesta* (tesis de doctorado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4098>
- Cheng, P.; Wong, D.A.; Tong, L.K.L.; Ip, S.M.; Lo, A.C.T.; Lau, C.S. (2004). Viral shedding patterns of coronavirus in patients with probable severe acute respiratory syndrome. *Lancet*, 363: 1699-1700. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16255-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16255-7)
- Colegio de Nutricionistas del Perú. (2020). *Recomendaciones nutricionales para pacientes hospitalizados con infección respiratoria grave (IRAG) sospechosa o confirmada por coronavirus sars-cov-2*. Consejo Nacional. <https://cnp.org.pe/wp-content/uploads/2020/04/hospitalizados.pdf>
- Cubillos-Vásquez, S.; Molina-Montealegre, N.; Guerrero-Orjuela, L.; Vargas-Zarate, M.; Pinzón-Villate, G.; Pinzón-Espitia, O. (2020). *Recomendaciones de alimentación y nutrición ante la declaración de emergencia sanitaria por COVID-19 en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://cpncampus.com/biblioteca/files/original/f87cc0616622c9d210d08d12aef2135b.pdf>
- Daccord, C.; Touilloux, B.; Von Garnier, C. (2020). Prise en charge de l'asthme et de la BPCO en situation de pandémie de COVID-19 [Asthma and COPD management during the COVID-19 pandemic]. *Revue médicale suisse*, 6,16(692): 933-938. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32374540/>
- Dávila-Aliaga, C.R.; Torres-Marcos, E.; Hinojosa-Pérez, J.R.; Espinoza-Vivas, Y. (2020). Recomendaciones para la atención de recién nacidos hijo de madre COVID-19 positivas. *Revista Peruana de Investigación Materno Perinatal*, 9(3): 57-64. <https://investigacionmaternoperinatal.inmp.gob.pe/index.php/rpinmp/57-64-recomendacion-atencion-recien-naci>
- Donovan, J.F.; Holes-Lewis, K.A.; Chavin, K.D.; Egan, B.M. (2012). Cocoa and Health. In A. Croizer; H. Ashihara y F. Tomas-Barberán (Eds.). *Cocoa and Coffee: Plant Secondary Metabolites and Health*. Blackwell Publishing.
- EFSA. (2020). *European Food Safety Authority News. Coronavirus: no evidence that food is a source or transmission route*. <https://www.efsa.europa.eu/es/news/coronavirus-no-evidence-food-source-or-transmission-route>
- Eguren, F. (2016a). En América Latina, los brasileños y los peruanos fueron de lejos los mayores consumidores de comida rápida. LRA #177. En F. Eguren (Ed.). *Seguridad Alimentaria en el Perú. Compendio de artículos publicados en la revista agraria 2010-2015*. Centro Peruano de Estudios Sociales. https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Eguren/publication/307559265_Seguridad_Alimentaria_en_el_Peru/links/57c853b908aefc4af34ec546/Seguridad-Alimentaria-en-el-Peru.pdf
- Eguren, F. (2016b). ¿Qué alimentos consumimos los peruanos? LRA #161. En F. Eguren (Ed.). *Seguridad Alimentaria en el Perú. Compendio de artículos publicados en la revista agraria 2010-2015*. Centro Peruano de Estudios Sociales. https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Eguren/publication/307559265_Seguridad_Alimentaria_en_el_Peru/links/57c853b908aefc4af34ec546/Seguridad-Alimentaria-en-el-Peru.pdf
- Fernández, M.; Zarco, P.; Vázquez, R.; Garancho, P.; López-Pardo, M. (2020). Cuidado Nutricional en el domicilio con COVID-19. *Nutrición Clínica en Medicina*. 1 (14): 26-42. <http://dx.doi.org/10.7400/NCM.2020.14.1.5087>

- Fondo de Poblaciones de las Naciones Unidas – UNFPA. (2021). *Adultos mayores en Perú*. <https://peru.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/UNFPA-Ficha-Adultos-Mayores-Peru.pdf>
- Frangeskou, M.; Lopez-Valcarcel, B.; Serra-Majem, L. (2015). Dehydration in the Elderly: A Review Focused on Economic Burden. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 19(6): 619-27. <http://dx.doi.org/10.1007/s12603-015-0491-2>
- García, M.; Bravo, A.; García, A.; Padilla, R.; Bruce, G. (2020). Alimentación en Venezuela durante COVID19 ¿Qué podemos hacer? *GICOS*, 5(1): 33-46. <http://erevistas.saber.ula.ve/gicos>
- Unidad Funcional de Soporte Metabólico Farmaconutricional Especializado. Departamento de emergencia y cuidados críticos. Hospital Nacional Dos de Mayo. (2021). *Guía de Práctica Clínica en el Manejo Médico Nutricional en Pacientes Críticos* Lima-Perú. http://nuevaweb.hdosdemayo.gob.pe/instrumentos_de_gestion/normas_emitidas/r_dir/2021/03%20Marzo/RD_069_2021_D_HNDM.pdf
- Harvard, T.H. CHAN (2020). *Seguridad de los alimentos, nutrición y bienestar durante COVID-19*. *Chan School of Public Health*. <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/2020/03/27/seguridad-de-los-alimentos-nutricion-y-bienestar-durante-covid-19/>
- Huang, C.; Wang, Y.; Li, X.; Ren, L.; Zhao, J.; Hu, Y.; Zhang, L.; Fan, G.; Xu, J.; Gu, Z.; Cheng, Z.; Yu, T.; Xia, J.; Wei, Y.; Wu, W.; Xie, X.; Yin, W.; Li, H.; Liu, M.; Xiao, Y.; Gao, H.; Guo, L.; Xie, J.; Wang, G.; Jiang, R.; Gao, Z.; Jin, Q.; Wang, J.; Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The lancet*, 395 (10223): 497-506. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- INEI. (2019). *Ingreso promedio proveniente del trabajo*. <https://www.coursehero.com/file/86063722/ing-cuad-1xlsx/>
- INEI. (2018). *Situación de la población adulta mayor*. Informe Técnico N° 2. Lima. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/01-informe-tecnico-n02_adulto_ene-feb_mar2018.pdf
- Kulcsar, K.A.; Coleman, C.M.; Beck, S.E.; Frieman, M.B. (2019). Comorbid diabetes results in immune dysregulation and enhanced disease severity following MERS-CoV infection. *JCI Insight*, 4(20). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6824443/>
- Lauer, S.A.; Grantz, K.H.; Bi, Q.; Jones, F.K.; Zheng, Q.; Meredith, H.R.; Azman, A.S.; Reich, N.G.; Lessler, J. (2020). The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application. *Annal of internal Medicine*, 172(9): 577-82. <http://dx.doi.org/10.7326/M20-0504>
- Liu, J.; Liao, X.; Qian, S.; Yuan, J.; Wang, F.; Liu, Y.; Wang, Z.; Wang, F.; Liu, L.; Zhang, Z. (2020). Community transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, Shenzhen, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 26(6): 1320-1323. <http://dx.doi.org/10.3201/eid2606.200239>
- Ludena-Urquiza, F.E.; García-Torres, S.M.; Tolonen T.; Jaakkola, M.; Pena-Niebuhr, M.G.; von Wright A.; Repo-Carrasco-Valencia, R.; Korhonen, H.; Plumed-Ferrer, C. (2016). Development of fermented quinoa-based beverage. *Food Science & Nutrition*, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.436>
- Llaro-Sánchez, M.K.; Gamarra-Villegas, B.E.; Campos-Correa, K.E. (2020). Características clínico-epidemiológicas y análisis de sobrevivencia en fallecidos por COVID-19 atendidos en establecimientos de la Red Sabogal-Callao 2020. *Horizonte Médico*, 20(2): <http://dx.doi.org/10.24265/horiz-med.2020.v20n2.03>
- Maguiña-Vargas, C. (2020). Reflexiones sobre el COVID-19, el Colegio Médico del Perú y la Salud Pública. *Acta Médica Peruana*, 37(1): 8-10. <http://dx.doi.org/10.35663/amp.2020.371.929>
- Markham, M.J. (2020). *Coronavirus y COVID-19: Qué deben saber las personas con cáncer*. <https://www.cancer.net/es/blog/2021-05/coronavirus-y-covid-19-qu%C3%A9-deben-saber-las-personas-con-c%C3%A1ncer>
- Martin-Salinas, C. & Diaz-Gómez, J. (2014). *Manual completo de nutrición y dietética*. BarcelBaires Ediciones S.A. China.

- McClave, S.A.; Taylor, B.E.; Martindale, R.G.; Warren, M.M.; Johnson, D.R.; Braunschweig, C.; McCarthy, M.S.; Davanos, E.; Rice, T.W.; Cresci, G.A.; Gervasio, J.M.; Sacks, G.S.; Roberts, P.R.; Compher, C. (2016). Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 40(2):159-211. <http://dx.doi.org/10.1177/0148607115621863>
- Mejía, F.; Medina, C.; Cornejo, E.; Morello, E.; Vásquez, S.; Alave, J.; Schwalb, A.; Málaga, G. (2020). Características clínicas y factores asociados a mortalidad en pacientes adultos hospitalizados por COVID-19 en un hospital público de Lima, Perú. <http://dx.doi.org/10.1590/SciELOPreprints.858>
- Méndez, D.; Padilla, P.; Lanza, S. (2020). Recomendaciones alimentarias y nutricionales para la buena salud durante el COVID-19. *INNOVARE Revista de Ciencia y Tecnología*, 9(1): 55-57. <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i1.9663>
- Ministerio de Salud del Perú (2020). *Análisis de la Situación del Cáncer en el Perú, 2018*. Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. https://www.dge.gob.pe/epipublic/uploads/asis/asis_2020.pdf
- MINSA (2021a). *Coronavirus en el Perú: Casos confirmados*. <https://www.gob.pe/8662-coronavirus-en-el-peru-casos-confirmados>
- MINSA (2021b). *Consultar sala situacional*. https://covid19.minsa.gob.pe/sala_situacional.asp
- MINSA (2021c). *Coronavirus: cómo funciona la vacuna contra la COVID-19*. <https://www.gob.pe/13217-coronavirus-como-funciona-la-vacuna-contra-la-covid-19>
- MINSA (2021d). *Coronavirus: alimentación para personas con COVID-19*. <https://www.gob.pe/9051-coronavirus-alimentacion-para-personas-con-covid-19>
- MINSA (2020). *Conocer qué es el coronavirus COVID-19*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/campa%C3%B1as/699-conoce-que-es-el-coronavirus-covid-19>
- Moore, A. (2020). *El COVID-19 y el Asma: qué deben saber los pacientes*. <https://www.aaaai.org/Tools-for-the-Public/Biblioteca-de-condiciones/Biblioteca-de-asma/El-COVID-19-y-el-asma-que-deben-saber-los-paciente#:~:text=La%20conclusi%C3%B3n%20para%20las%20personas,social%20y%20lavarse%20las%20manos>
- Morais-Almeida, M.; Aguiar, R.; Martin, B.; Anotegui, I.J.; Ebisawa, M.; Arruda, L.K.; Caminati, M.; Canonica, G.W.; Carr, T.; Chupp, G.; Corren, J.; Dávila, I.; Park, H.S.; Hanania, N.A.; Rosenwasser, L.; Sánchez-Borges, M.; Virchow, J.C.; Yáñez, A.; Bernstein, J.A.; Caraballo, L.; Chang, Y.S.; Chikhladze, M.; Fiocchi, A.; González-Díaz, S.N.; Tanno, L.K.; Levin, M.; Ortega-Martell, J.A.; Passalacqua, G.; Peden, D.B.; Rouadi, P.W.; Sublett, J.L.; Wong, G.W.K.; Bleecker, E.R. (2020). COVID-19, asthma, and biologic therapies: What we need to know. *World Allergy Organ Journal*, 13(5): 100126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100126>
- Muniyappa, R. & Gubbi, S. (2020). COVID-19 pandemic, coronaviruses, and diabetes mellitus. *American Journal Of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 318(5): 736-41. <http://dx.doi.org/10.1152/ajpendo.00124.2020>
- Navarro, C. (2019). *Canasta familiar: composición, características de la canasta familiar del poblador peruano a través del tiempo*. (Monografía) Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Lima. <https://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/3777?show=full>
- Noriega-Cardó C. (2016). Algas marinas para la alimentación de los peruanos. *Turismo y Patrimonio*, 10: 55-68. <http://dx.doi.org/10.24265/turpatrim.2016.n10.04>
- OMS. (2021a). *Who Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. <https://covid19.who.int/>
- OMS. (2020a). *Coronavirus disease (COVID-19)*. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses>
- OMS. (2020b). *Laboratory testing for 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in suspected human cases*. <https://www.who.int/publications/i/item/10665-331501>
- OMS. (2010). *Recomendaciones mundiales sobre la actividad física para la salud*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44441/9789243599977_spa.pdf

- OMS. (2003). *Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas*. Serie de Informes Técnicos 916. Ginebra.. https://www.who.int/nutrition/publications/obesity/WHO_TRS_916_spa.pdf
- Pajuelo Ramírez, J.; Torres Aparcana, L.; Agüero Zamora, R.; Bernui Leo, I. (2019). El sobrepeso, la obesidad y la obesidad abdominal en la población adulta del Perú. *Anales de la Facultad de Medicina*, 80(1): 21-27. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v80i1.15863>
- Pajuelo-Ramírez J. (2017). La obesidad en el Perú. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(2): 179-185. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v78i2.13214>
- Palacios-Cruz, A.; Santos E.; Velázquez-Cervantes, M.A.; León-Juárez, M. (2020). Covid-19 una emergencia de salud pública mundial. *Revista Clínica Española*, 221(1): 55-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rce.2020.03.001>
- Polidori, P.; Renieri, C.; Antonini, M.; Passamonti, P.; Pucciarelli, F. (2007). Meat fatty acid composition of Llama (Lama glama) reared in the Andean highlands. *Meat Science*, 75: 356-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.010>
- Repo-Carrasco, R. (2014). *Valor nutricional y compuestos bioactivos en los cultivos andinos. Redescubriendo los tesoros olvidados*. Fondo editorial de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. <https://www.fondoeditorialunalm.com/producto/valor-nutricional-y-compuestos-bioactivos-en-los-cultivos-andinos-re-descubriendo-los-tesoros-olvidados/>
- Repo-Carrasco, R. & Encina, C. (2008). Determination of antioxidant capacity and bioactive compounds in native peruvian fruits. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2): 108-124. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2008000200004&script=sci_abstract&tlng=en
- Repo-Carrasco, R. & Solorzano, F. (2020). *Los granos andinos. Super alimentos en la cocina*. Lima. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4411>
- Rodríguez-Morales, A.J.; Sánchez-Duque, J.A.; Hernández Botero, S.; Pérez-Díaz, C.E.; Villamil-Gómez, W.E.; Méndez, C.A.; Verbanaz, S.; Cimerman, S.; Rodríguez-Enciso, H.D.; Escalera-Antezana, J.P.; Balbin-Ramon, G.J.; Arteaga-Livias, K.; Cvetkovic-Vega, A.; Orduna, T.; Savio-Larrea, E.; Paniz-Mondolfi, A. (2020). Preparación y control de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina. *Acta Médica Peruana*, 37(1): 3-7. <http://dx.doi.org/10.35663/amp.2020.371.909>
- Rojas, C.; Calderón, M.; Taípe, M.; Bernui, I.; Ysla, M.; Riega, V. (2004). Consumo de energía y nutrientes, características socio económicas, pobreza y áreas de residencia de niños peruanos de 12 a 35 meses de edad. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 21(2): 98-106. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342004000200008
- Rubio-Rubio, J.P. (2019). El aporte de minerales a base de yuyo (*Chondracanthus chamissoi*) en la elaboración de barras energéticas con Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). (Tesis) Universidad Nacional del Callao, Callao. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4516>
- Rubio, L.; Montero, M.; Pérez, J.C.; Belló, M.; Soler, E. (2021). Abordaje nutricional en pacientes diagnosticados de neumonía por COVID-19. Hospital Arnau de Vilanova-Lliria. Valencia (España). *Revista de la Organización de Farmacéuticos | Ibero-latinoamericanos*, 3 (30). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-714X2020000300201
- Ryan, D.H.; Ravussin, E.; Heymsfield, S. (2020). COVID 19 and the Patient with Obesity. *Obesity*, 28(5): 847. <http://dx.doi.org/10.1002/oby.22808>
- Salvá-Ruiz, B.K.; Mateo-Oyague, J. (2014). *Carnes deshidratadas de la región andina y otras partes del mundo*. Fondo Editorial de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/carnes-deshidratadas.pdf>
- Salvá, B.K. (2009). Caracterización de la carne y charqui de alpaca (*Vicugna pacos*). (Tesis doctoral) Universidad de León, León. <https://buleria.unileon.es/handle/10612/826>
- Salvá, B.K.; Zumalacarreghi, J.M.; Figueira, A.C.; Osorio, M.T.; Mateo, J. (2009). Nutrient composition and technological quality of meat from alpacas reared in Peru. *Meat Science*, 82(4): 450-455. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.02.015>

- Sullcahuaman, R. (2020). Influencia de la producción en la competitividad de la carne de cuy en el mercado de Abancay, Perú. (Tesis de maestría) Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4444/sullcahuaman-yucra-rosmary.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Seclen, S.N.; Rosas, M.E.; Arias, A.J.; Huayta, E.; Medina C.A. (2015). *Prevalencia de diabetes y alteración de la glucosa en ayunas en Perú*, Informe de PERUDIAB, un estudio longitudinal nacional de población urbana. *BMJ Open Diabetes Research and Care*, 3, e000110. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjdr-2015-000110>
- Schwingshackl, L.; Hoffmann, G.; Missbach, B.; Stelmach-Mardas, M.; Boeing, H. (2017). An Umbrella Review of Nuts Intake and Risk of Cardiovascular Disease. *Current Pharmaceutical Design*, 23(7):1016-27. <http://dx.doi.org/10.2174/1381612822666161010121356>
- Tarazona-Santabalbina, F.J.; Martínez-Velilla, N.; Vidán, M.T.; García-Navarro, J.A. (2020). COVID-19, adulto mayor y edadismo: errores que nunca han de volver a ocurrir. *Revista Española de Geriatria y Gerontología*, 55(4): 191-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.regg.2020.04.001>
- UNALM. (2021). *Programa nutricional para universitarios: 'elige bien, come sano'*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.lamolina.edu.pe/Gaceta/edicion2021/notas/nota057.htm>
- USI. (2020). *Nutrición e Inmunidad. Salud en tiempos del COVID-19*. Universidad San Ignacio de Loyola. http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/10242/1/2020_De%20la%20Fuente_Nutrici%C3%B3n%20e%20inmunidad.pdf
- Valenzuela, G. (2020). Lo que COVID-19 nos está dejando. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 33(4): 7-8. <http://dx.doi.org/10.36393/spmi.v34i1.577>

Simulación de un deshidratador híbrido indirecto activo mediante el software ANSYS

(Simulation of an active indirect hybrid dehydrator using ANSYS software)

José Cabrera¹, Francisco Jurado², David Vera³

Resumen

En la presente investigación se simula el comportamiento de un deshidratador híbrido indirecto activo con las condiciones atmosféricas de la ciudad de Riobamba, debido a que existe la necesidad de deshidratar frutas y verduras que en tiempos de sobreproducción no alcanzan a llegar al mercado. Para ello, se desarrolla una metodología que permitirá tener una buena aproximación de la solución. Se parte del diseño del prototipo de deshidratador para luego someterle a un proceso de mallado. Una vez que se tiene una malla de buena calidad, se seleccionan los modelos físicos que se van a utilizar en la simulación. Posteriormente, se ingresan las propiedades físicas y condiciones de contorno que corresponden a las condiciones climáticas de la ciudad de Riobamba para su posterior simulación. Simulado el prototipo, se verifica que la curva de variables físicas que se desean calcular se ha estabilizado y las curvas de residuales estén por debajo del valor seteado, si cumple con estos dos pasos se puede determinar que la simulación es correcta. Para la validación de los resultados obtenidos en la simulación se utilizan datos de una investigación similar. Es necesario realizar la simulación para poder determinar si el deshidratador diseñado puede trabajar en el rango óptimo de temperaturas para la deshidratación.

Palabras clave

Deshidratación, solar, híbrida, CFD, simulación.

Abstract

This research simulated the behavior of an active indirect hybrid dehydrator with the atmospheric conditions of the city of Riobamba because there is a need to dehydrate fruits and vegetables that in times of overproduction do not reach the market. Develops a methodology that allows a good approximation of the solution. It starts with the design of the dehydrator prototype and then undergoes a meshing process, once a good quality mesh is obtained, the physical models that are going to be used in the simulation are selected, then the physical properties and conditions are entered. of contour that corresponds to the climatic conditions of the city of Riobamba, for its later simulation; After simulating the prototype, it is verified that the curve of physical variables to be calculated has stabilized and the residual curves are below the set value. If it complies with these two steps, it can be determined that the simulation is correct. For the validation of the results obtained in the simulation, data from a similar investigation are used. It is necessary to carry out the simulation to be able to determine if the designed dehydrator can work in the optimal range of temperatures for dehydration.

Keywords

Dehydration, solar, hybrid, CFD, simulation.

1 Universidad de Jaén. Jaén, España. [joc0001@red.ujaen.es, https://orcid.org/0000-0002-0197-5163]
2 Universidad de Jaén. Jaén, España. [fjurado@ujaen.es, https://orcid.org/0000-0001-8122-7415]
3 Universidad de Jaén. Jaén, España. [dvera@red.ujaen.es, https://orcid.org/0000-0002-2833-5051]

1. Introducción

En la provincia de Chimborazo, Ecuador, por lo general los agricultores se han dedicado a la producción de legumbres y cultivos de ciclo corto. En los últimos años esta realidad ha cambiado, ya que se ha visto la siembra de árboles frutales como una alternativa, cuyo fin es tener mayor variedad y mejorar los beneficios económicos.

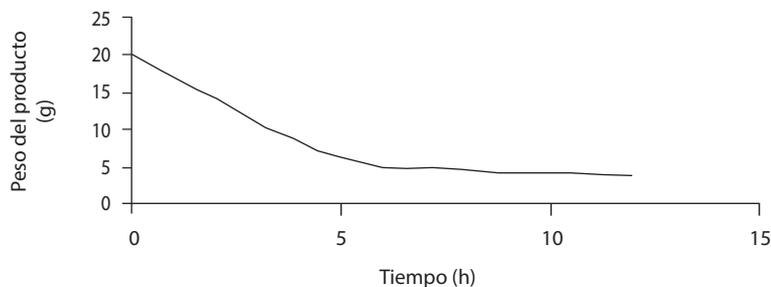
La producción de frutas presenta un inconveniente: debido a que las frutas tienen un alto contenido de humedad, estas no pueden ser almacenadas por largos periodos de tiempo sin que se echen a perder. En tiempos de sobreproducción este es un problema que se acrecienta. La opción que se tiene es eliminar la humedad de las frutas para así alargar su vida útil, además de controlar las condiciones atmosféricas del lugar en el que se almacenan. Para lograr el objetivo de eliminar humedad de estos productos existen varias técnicas, pero la más comúnmente utilizada es la deshidratación.

Deshidratación

La deshidratación es una operación en la que se elimina el agua del alimento para conservarlo microbiológicamente. Además, retarda reacciones no deseadas (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2000). El porcentaje de agua en un alimento es un indicativo de su propensión al deterioro (Fito et al., 2001).

La pérdida de agua se traduce en pérdida de peso en el producto. Como se observa en la Figura 1, con una curva característica de pérdida de peso del producto en función del tiempo.

Figura 1. Curva característica de proceso de secado de un producto



Fuente: (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2000)

La deshidratación es un proceso que se lleva a cabo con una temperatura del aire que oscila entre los 40°C y 70°C (Martínez et al., 2013; Mendoza et al., 2020). En algunos casos, para completar el proceso de deshidratación, esta temperatura debe mantenerse por 7 horas (Guevara & Salas, 2017).

En los deshidratadores solares la única energía que se utiliza es la solar, además, hace que sean amigables con el medio ambiente. Dependiendo del tipo de sistema con el que se trabaja se puede lograr un incremento de la temperatura de 10°C a 30°C (El Hage et al., 2018).

Este tipo de deshidratación tiene una desventaja porque que esta energía es fluctuante e impredecible, por lo que el proceso de deshidratación en los deshidratadores solares es inestable.

Debido a que los deshidratadores solares son inestables se busca deshidratadores que trabajen con la energía solar y otro tipo de energía que se pueda controlar y, así, hacer a este proceso estable. Para tratar de aprovechar al máximo la energía solar se trabaja con diseños especiales de deshidratadores (Carrillo et al., 2018).

Tiempo de deshidratación

El tiempo de deshidratación es un factor determinante en la calidad del producto sometido a este proceso que depende del tipo de producto, tamaño del producto a deshidratar, temperatura del ambiente donde se deshidrata, humedad relativa y velocidad del aire. Un producto con mayor porcentaje de humedad va a requerir mayor tiempo de deshidratación que un producto que tenga un bajo porcentaje de humedad. El tamaño del producto es importante porque el tamaño es directamente proporcional con el tiempo de deshidratación. La temperatura del aire influye debido a que, mientras mayor sea la temperatura del aire menor tiempo va a tomar en deshidratar. Cabe mencionar que en cada producto existe una temperatura límite superior a la que se puede llegar, pasada esta temperatura se pierden propiedades en el mismo. La humedad del aire ambiente es importante debido a que, mientras mayor es la humedad del aire mayor es el tiempo que durará el proceso. Y, finalmente, la velocidad del aire también es un factor importante debido a que, mientras mayor es la velocidad mayor será la transferencia de calor existente y, por lo tanto, el tiempo de deshidratación será menor (Almada et al., 2005).

Tipos de deshidratación

En esta investigación se trabajará con la deshidratación solar indirecta pasiva y la deshidratación híbrida indirecta activa. Estas son una combinación de los diferentes tipos de transferencia de calor.

Deshidratación solar indirecta pasiva

La deshidratación solar indirecta pasiva tiene como fuente de energía la radiación solar, misma que calienta el aire antes de su ingreso a la cámara de deshidratación. La circulación del aire dentro del deshidratador se da por diferencia de densidades.

Maiti et al. (2011) diseñaron y desarrollaron un deshidratador solar indirecto que se encuentra equipado con dos reflectores, esto con el objetivo de captar mayor radiación solar. Añadir estos reflectores aumentó la eficiencia del deshidratador sin carga entre un 18.5 %.

Varun et al. (2012) desarrollaron un deshidratador solar indirecto para tomates. El prototipo con convección natural alcanzó una temperatura promedio de 45°C y con convección forzada alcanzó una temperatura de 40°C. Los productos obtenidos son comparados con productos obtenidos con deshidratación directa, se llega a la conclusión de que con el deshidratador solar indirecto se obtiene una mejor calidad en los tomates deshidratados.

Kabeel & Abdelgaied (2016) realizaron un diseño de secado innovador que integra una rueda desecante rotatoria, un colector solar y una unidad de deshidratado. Con este diseño se logró aumentar la temperatura del aire de 65°C a 82°C, además de un aumento en la ganancia de calor útil del sistema del 153 %.

Simbaña (2016) realizó una investigación en la que se analizó y simuló el proceso de deshidratación de frutas con un prototipo que utiliza energía solar. En esta investigación se llegó a la conclusión de que las condiciones óptimas para la deshidratación se dan a una temperatura de 62°C y una velocidad del aire en la entrada de 3 m/s.

Yumbillo (2020) diseñó un prototipo de secador solar para frutilla, mismo que trabajó con una radiación solar de 500 W/m², velocidad del aire de 3 m/s y una presión atmosférica de 728 mBar, alcanzando una temperatura promedio de funcionamiento durante 8 horas de secado de 45-46°C.

De las investigaciones analizadas se puede observar que la temperatura para la deshidratación va en un rango entre 40°C y 70°C y la velocidad óptima del deshidratado está, en promedio, entre los 2 m/s a 4 m/s, por lo que estas condiciones serán utilizadas para este trabajo.

Deshidratación híbrida indirecta activa

La deshidratación híbrida indirecta activa tiene como fuentes de energía a la radiación solar con otra fuente de energía que puede ser eléctrica, quema de combustibles fósiles o algún tipo de intercambiador de calor. En este caso se va a utilizar energía eléctrica para garantizar que la temperatura del aire dentro de la cámara de deshidratación se mantenga en los rangos recomendados.

Boughali et al. (2009) construyeron un prototipo en el laboratorio de LENREZA de la Universidad de Ouargla. Se trata de un deshidratador híbrido indirecto activo para productos agrícolas que trabaja con condiciones de carga que van en el rango de 0,04 kg/m² y 0,08 kg/m². Se realizaron pruebas experimentales con y sin carga y se estudió la fracción de contribución tanto de la energía eléctrica como de la energía solar en el calentamiento del flujo másico de aire.

López et al. (2013) trabajaron con un deshidratador híbrido solar-gas con tres condiciones operativas: solar, gas e híbrido, obteniendo en estado transitorio eficiencias del 24%, 86% y 71 % respectivamente. La eficiencia se vio afectada, principalmente, por el diferencial de temperatura interna-externa, ángulo de inclinación del colector y flujo másico de aire. La ventaja principal del sistema híbrido es que puede reducir el 20 % de gas propano líquido que se consume, tomando como referencia al sistema que funciona solamente con gas.

Llumiquinga y Suquillo (2015) realizaron el diseño y construcción de un prototipo de deshidratador utilizando aire con circulación forzada y resistencias eléctricas que generan una potencia de 4 kW, alcanzando una temperatura de deshidratación de 65°C. El proceso de deshidratación propuesto lo alcanza en un tiempo de 3 horas con 30 minutos. En la construcción se utilizó aislante en las paredes para evitar pérdidas de calor y hacer más eficiente el deshidratador.

Dhanushkodi et al. (2017) realizaron un estudio para analizar el comportamiento de secado de forma experimental con un deshidratador híbrido de biomasa y solar. Trabajaron con 15 modelos matemáticos, los datos experimentales de humedad, temperatura y humedad relativa se ajustaron a diversos modelos empíricos.

Mendoza et al. (2020) realizaron una investigación en la ciudad de Riobamba acerca de un deshidratador mixto indirecto. En la misma, mencionan que se utiliza una resistencia eléctrica para poder llegar a tener las temperaturas adecuadas para la deshidratación. Ya que solamente con la energía solar no es posible, utilizan un ventilador para tratar de homogenizar la temperatura en toda la cámara de deshidratación, este ventilador entrega un flujo volumétrico de aire de 1.68 m³/s. De acuerdo con la simulación el aire en la cámara de deshidratación alcanza una temperatura de 50°C. La simulación se la realiza con el software SolidWorks.

Modelo matemático

Un modelo matemático, en definitiva, es una ecuación que expresa el comportamiento de un sistema físico, esta ecuación tiene variables dependientes e independientes. Como ejemplos de variables dependientes serían, en este caso, la temperatura dentro del deshidratador y la velocidad del aire dentro del deshidratador. Y, las variables independientes serían la temperatura ambiente, la presión atmosférica, entre otras.

Estos modelos pueden ser simples y se pueden resolver analíticamente o, como en este caso, pueden ser modelos de mayor complejidad que utilizan ecuaciones diferenciales. La simulación que se utiliza con la ayuda de CFD genera un modelo matemático con ecuaciones diferenciales que utilizan técnicas numéricas y ordenadores para resolver problemas imposibles de resolver analíticamente (Tegenaw et al., 2019).

En este caso se utilizan tres ecuaciones que son: ecuación diferencial de la cantidad de movimiento, ecuación diferencial de la continuidad y ecuación diferencial de la energía. En el caso de trabajar con simulaciones en las que no existe transferencia de calor se debe utilizar únicamente la ecuación diferencial de la cantidad de movimiento y ecuación diferencial de la continuidad. En caso de que la simulación utilice transferencia de calor el modelo trabaja con las 3 ecuaciones.

Ecuación diferencial de la cantidad de movimiento:

Un fluido en sus tres direcciones se puede modelar a partir de:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x, \quad (1)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y, \quad (2)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z, \quad (3)$$

donde g es la gravedad, p es la presión, ρ es la densidad, u es la componente de la velocidad en el eje x, v es la componente de la velocidad en el eje y, w es la componente de la velocidad en el eje z. Con las ecuaciones (1)(2)(3) se pueden tener propiedades como velocidad y presión en cualquier punto del sistema (Potter et al., 2015).

Ecuación diferencial de la continuidad

La conservación de masa trabajada con elementos infinitesimales que relaciona la velocidad y densidad (Potter et al., 2015) viene dada por

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (4)$$

Ecuación diferencial de la energía

La ley de conservación de la energía establece que la energía en un sistema aislado permanece constante. Es decir, se mantiene en el tiempo, no se crea ni se destruye, solo se transforma. En la mayor parte de los problemas multifásicos en los que existen grandes aumentos de calor se puede despreciar la energía mecánica, dando importancia únicamente a la difusión del transporte de energía térmica, esto debido a la diferencia de entalpías en cada una de las fases (Pandal Blanco, 2019).

Cuando se realiza un análisis de un sistema real se tiene también que considerar la transferencia de calor en el sistema. Utilizamos la expresión para determinar la temperatura en cualquier punto del sistema, dependiendo del material utilizado y la forma en la que se transmite la energía

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - p \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right), \quad (5)$$

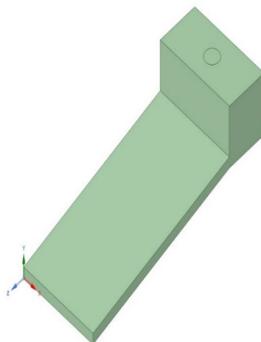
donde T es la temperatura y k es la conductividad térmica.

2. Metodología

Prototipo

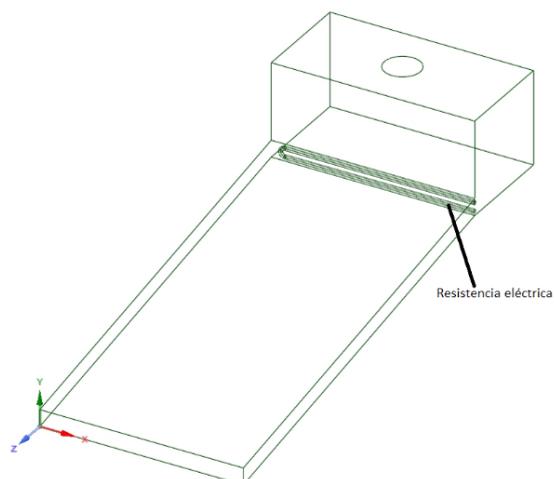
La geometría o prototipo es el primer paso que se realiza dentro de la simulación (Misha et al., 2020). En lo posible, se trata de diseñar una geometría simplificada. Debido a que, mientras más simplificada sea la geometría menor coste computacional tendrá al momento de simular. La simplificación deber realizarse tomando como premisa eliminar los detalles que no representan variaciones significativas en el problema multifísico. En esta investigación se utilizará el prototipo desarrollado por Yumbillo (2020). En la Figura 2 se puede observar el prototipo.

Figura 2. Prototipo



Al prototipo desarrollado por Yumbillo (2020) se le realizará una modificación que se basa en agregarle una resistencia eléctrica que ayudará a alcanzar las temperaturas adecuadas para la deshidratación, tal como se lo puede ver en la Figura 3.

Figura 3. Prototipo con resistencia eléctrica



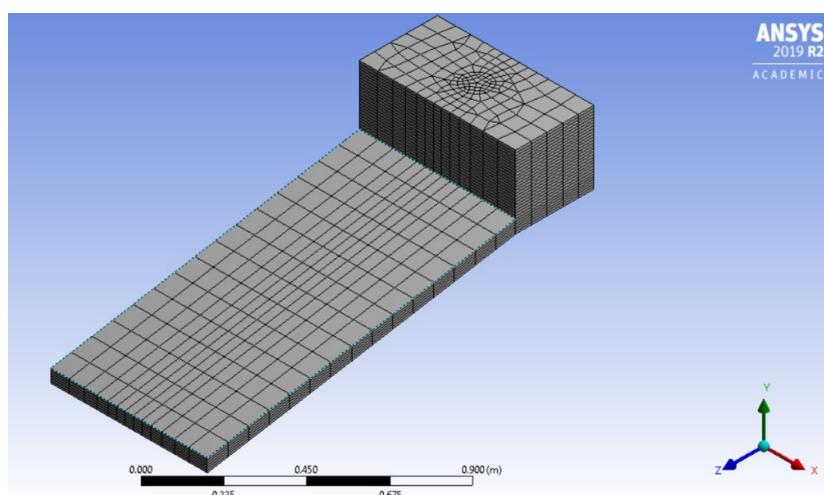
Mallado

Posiblemente, el mallado es uno de los pasos más importantes porque, dependiendo de la calidad de malla que se tenga, será la exactitud de los datos que se obtengan. Se estimada que el 50 % del tiempo que toma realizar una simulación CFD es utilizado en la construcción de la geometría y el mallado (Versteeg & Malalasekera, 2007).

Una buena calidad de malla no siempre es sinónima de que se tenga una malla uniforme, ya que, por lo general, se necesitan mallas más finas en lugares donde los detalles son menos imperceptibles.

Para el mallado se utilizó una malla tetraédrica que presenta mejores características para aplicaciones en CFD. En los planos en que se requieren mayor detalle de las variaciones de las variables físicas se aplicó un Boundary Layer de 5 capas de suave transición con una tasa de crecimiento de 1.2 y radio de transición de 0.272. En la Figura 4 se presenta el prototipo mallado.

Figura 4. Prototipo mallado



En esta investigación se utilizará la métrica Skewness que es la usualmente utilizada. Tiene una escala de 0 a 1, siendo 0 una malla perfecta y 1 una malla inaceptable para la simulación. Una buena calidad de malla da como resultado una buena una calidad de los resultados.

Modelos y propiedades físicas

En esta etapa se seleccionan los modelos o ecuaciones a utilizar para resolver el problema. En este caso se usan las ecuaciones de Navier Stokes, además de definir las propiedades físicas de los volúmenes con los que se trabaja como son densidad, viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, conductividad térmica, entre otras. En la Figura 5 se pueden observar las propiedades del aire con las que se trabaja.

Figura 5. Propiedades del aire

▼Air

Description

Gas properties evaluated at 298.15 K and 101325.0 Pa. Liquid properties evaluated at 78.903 K and 101325.0 Pa.

Molar mass	28.965 kg kmol ⁻¹	▶
------------	------------------------------	---

Density, ρ	1.1843 kg m ⁻³	▶
------------	---------------------------	---

Specific heat, c _p	1006.3 J kg ⁻¹ C ⁻¹	▶
-------------------------------	---	---

Viscosity, μ	1.8448E-05 Pa s	▶
--------------	-----------------	---

Isotropic thermal conductivity, k	0.026247 W m ⁻¹ C ⁻¹	▶
-----------------------------------	--	---

En la Figura 6 se puede observar el modelo de flujo que se utiliza en la simulación

Figura 6. Modelo de flujo

▼Flow Model

> Operating Conditions

Buoyancy

Off ▼

▼Turbulence Model

Option

On (Reynolds averaged NS) ▼

> RANS Model

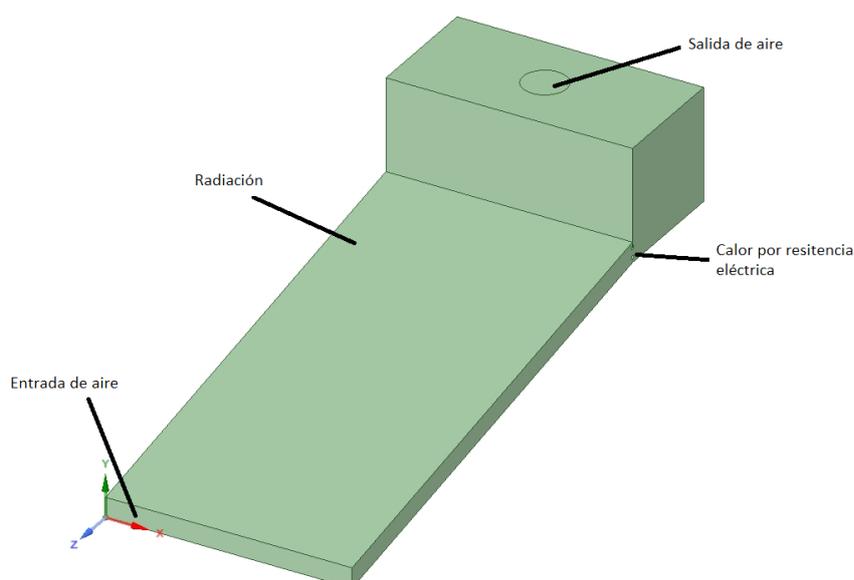
> Energy Model

Next Step ▼

Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno son importantes porque vienen a ser las condiciones de frontera con las que van a ser resueltas las ecuaciones diferenciales en la simulación. En esta simulación se utilizarán condiciones de frontera de pared y condiciones de frontera de entrada y salida de flujo. En la Figura 7 se pueden observar las condiciones de frontera con las que se van a trabajar. De acuerdo con los datos de la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, durante el año 2019 se tuvo una presión atmosférica promedio de 728.3 mBar, una velocidad del viento promedio de 3.0 m/s, humedad relativa de 62.9 %, una temperatura promedio del aire de 15.3 °C y una radiación solar de 500.6 W/m²(Tiupul & Arévalo, 2019). El flujo de aire utilizado fue de 0.045 m³/s (velocidad de ingreso de aire de 1.5 m/s), debido a que con este flujo se tiene la temperatura del aire dentro de los rangos recomendados para la deshidratación, además de que en el prototipo de Yumbillo (2020) que se utiliza para la validación de los resultados se trabaja con este flujo.

Figura 7. Condiciones de frontera en el prototipo



Simulación

En la simulación el software comienza a trabajar en un proceso iterativo hasta que los resultados de los residuales converjan, los resultados de variables físicas se estabilicen y en el balance de masa el error sea mínimo.

Post procesamiento

En esta parte del proceso se generan los reportes necesarios que posteriormente van a ser validados. En este caso se generarán reportes de temperatura de la cámara de deshidratación, mismos que pueden ser trabajados en puntos, áreas o volúmenes, dependiendo de la necesidad del estudio.

Validación

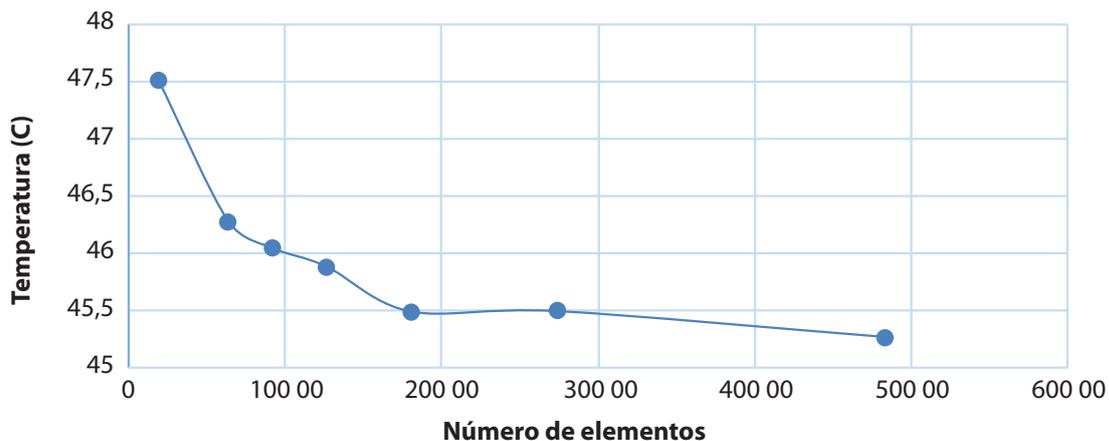
Los reportes de temperatura obtenidos en la etapa de post procesamiento son comparados con los reportes obtenidos en la investigación de Yumbillo (2020). Para poder determinar si la simulación es correcta una diferencia mayor al 5 % significaría que la simulación realizada es incorrecta, por lo que se tendría que volver a la etapa de selección de modelos e ingreso de propiedades físicas.

3. Resultados

Simulación del deshidratador solar indirecto pasivo

Un parámetro importante para la selección del tamaño de malla adecuado es realizar el análisis de convergencia de malla que se observa en la Figura 8. En la misma, se puede observar que aproximadamente a partir de los 20000 elementos la malla se estabiliza, por lo que este punto sería un tamaño adecuado de malla. Se puede ver que si se aumenta el tamaño de malla se va a tener una respuesta aproximadamente igual, pero se va a tener más costo computacional, lo que se traduce en un mayor tiempo de simulación. El trabajar con una malla de alrededor de 20000 elementos hace posible que se pueda realizar la simulación del deshidratador solar indirecto pasivo en el programa ANSYS.

Figura 8. Análisis de convergencia deshidratador solar indirecto pasivo

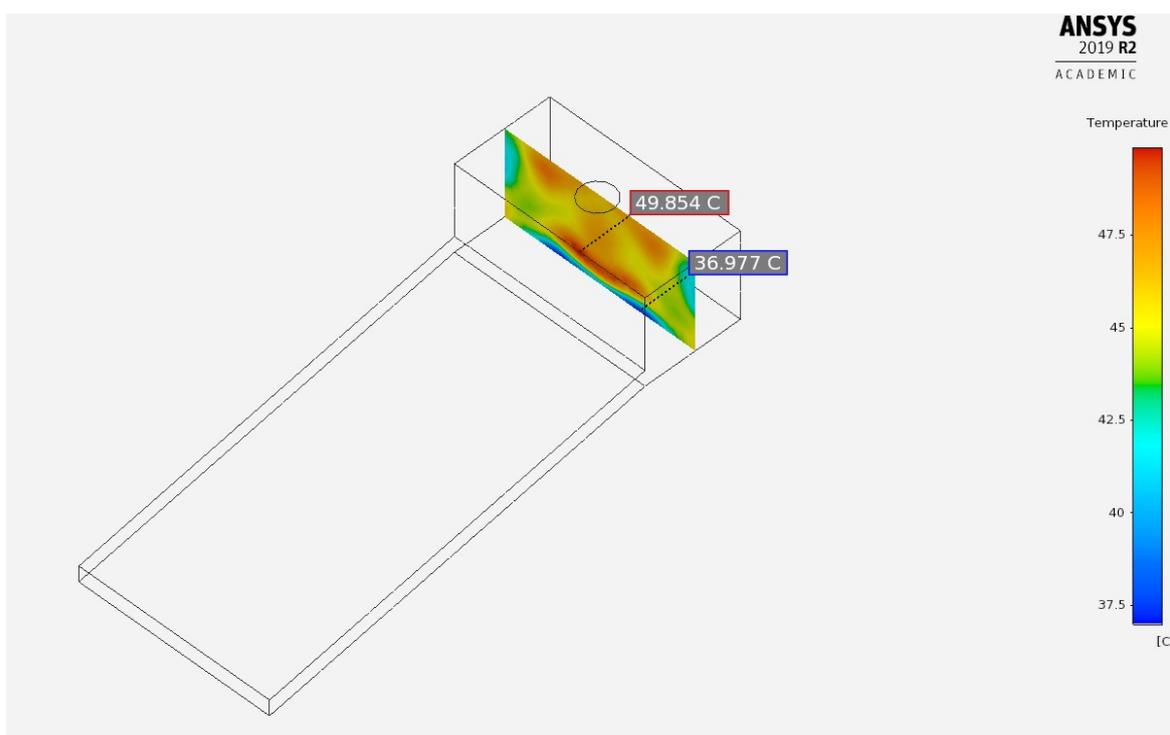


En el proceso de simulación una parte importante es conocer la calidad de malla, ya que ello garantiza una buena simulación. Para ello, en esta investigación se utiliza la métrica Skewness, en la misma se obtuvo un valor mínimo de 0.001807, un valor promedio de 0.23767 y un valor máximo de 0.80044, por lo que se considera a la malla elaborada y de buena calidad, lo que permite seguir con la siguiente etapa.

Para garantizar una simulación correcta se deben cumplir con que los residuales converjan cuando alcancen un valor de 0.0001, mismo que es recomendado según especialistas. Además, que las variables físicas de temperatura y velocidad se estabilicen. En este caso esto ocurre en la iteración número 262.

Finalmente, se puede observar en la Figura 9 los resultados de temperatura en la cámara de deshidratación del deshidratador solar indirecto pasivo, alcanzando una temperatura máxima de 49.854°C, una temperatura promedio de 45.272°C y una temperatura mínima de 36.977°C.

Figura 9. Temperatura cámara de deshidratación del deshidratador solar indirecto pasivo



Simulación del deshidratador híbrido indirecto activo

La simulación del deshidratador híbrido indirecto activo se la realizo con las mismas condiciones que el deshidratador solar indirecto pasivo. Sumándole la resistencia eléctrica que tiene como número de Referencia 3515 E para alcanzar la temperatura adecuada y una velocidad de 2 m/s en la entrada del deshidratador.

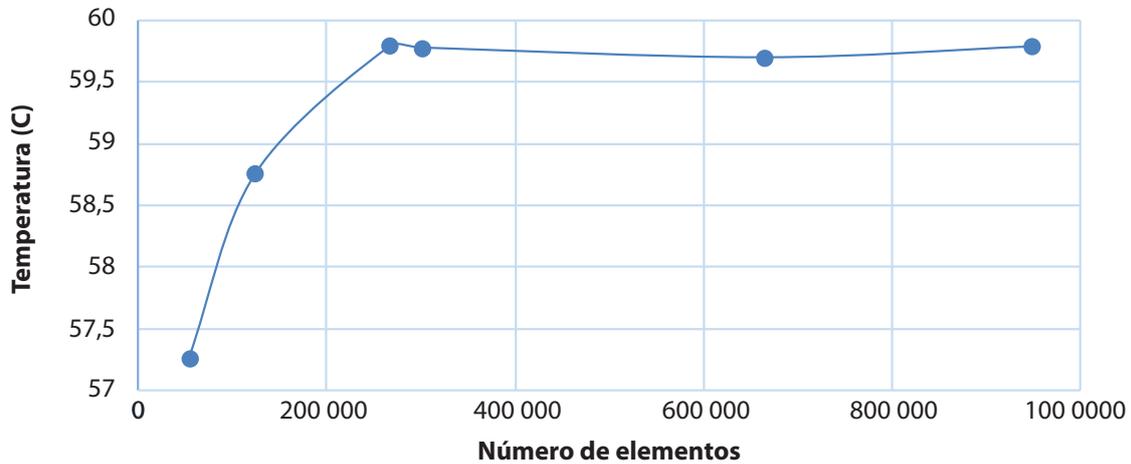
En el análisis de convergencia de la temperatura de la Figura 10 se puede observar que aproximadamente a partir de los 300000 elementos la malla se estabiliza, por lo que este punto sería un tamaño adecuado de malla. Se puede ver que si se aumenta el tamaño de malla la respuesta de la variable física se estabiliza, por lo que se toma este punto para la respuesta de la simulación. Debido a que la malla no supera el millón de elementos la simulación se la puede hacer en el software ANSYS.

En la simulación del deshidratador híbrido indirecto activo, al igual que se lo hizo con el deshidratador solar indirecto pasivo, se utiliza la métrica Skewness para controlar la calidad de malla. En este caso, se obtiene un valor mínimo de 0.00011316, un promedio de 0.23 y un valor máximo de 0.92894, por lo que se considerada a la malla elaborada de buena calidad.

Para garantizar una simulación correcta se deben cumplir con que los residuales converjan cuando alcancen un valor de 0.0001, mismo que es recomendado según especialistas.

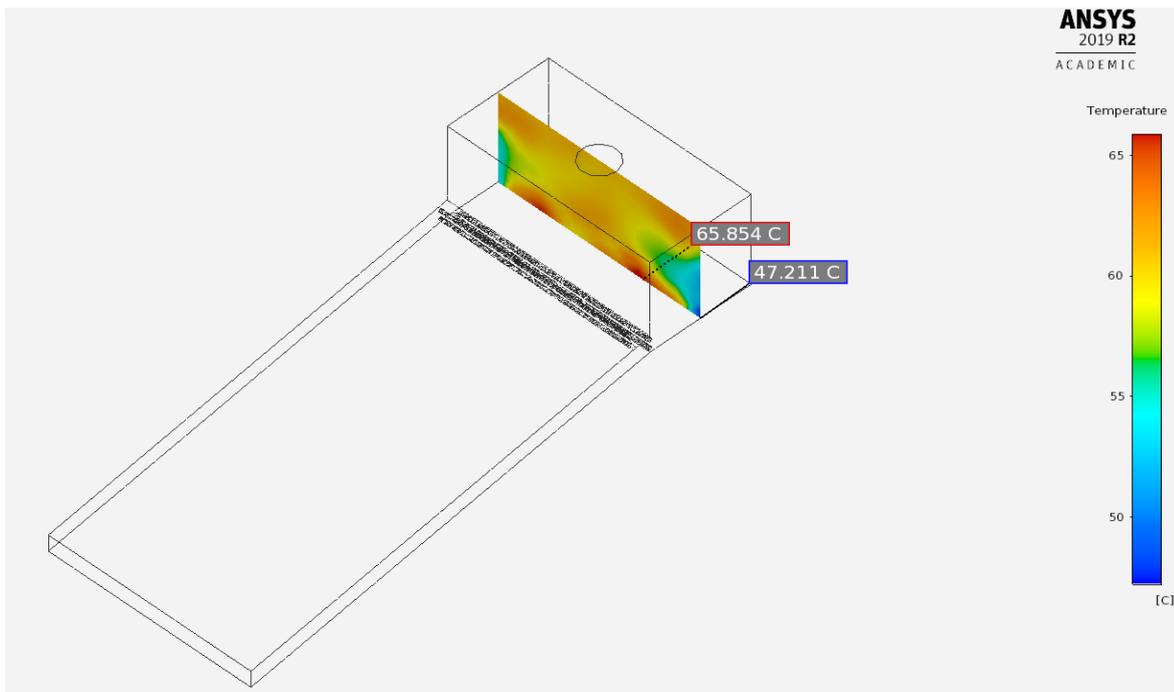
Además, que las variables físicas de temperatura y velocidad se estabilicen. En este caso, esto ocurre en la iteración número 255.

Figura 10. Análisis de convergencia deshidratador híbrido indirecto activo



Finalmente, se puede observar en la Figura 11 los resultados de temperatura en la cámara de deshidratación del deshidratador híbrido indirecto activo que alcanzan una temperatura máxima de 65.854°C, una temperatura promedio de 59.779°C y una temperatura mínima de 47.211°C. Se puede apreciar que la temperatura en la cámara de deshidratación es uniforme debido a que el deshidratador híbrido indirecto activo utilizada un ventilador. Esto ayuda a homogenizar la temperatura.

Figura 11. Temperatura cámara de deshidratación del deshidratador híbrido indirecto activo



4. Discusión

Realizando un análisis comparativo de las velocidades del aire del deshidratador solar indirecto pasivo de la Figura 12 y las velocidades del deshidratador híbrido indirecto activo de la Figura 13 se puede observar que existe mayor homogeneidad de las velocidades en el deshidratador híbrido indirecto activo, lo que permite que los productos se deshidraten de una manera más uniforme, obteniendo menos desechos y mejor calidad en la deshidratación. Esta homogeneidad en el perfil de velocidades se debe a que se colocaron estratégicamente dos resistencias que ayudan a pasar de un flujo laminar a un flujo turbulento. Lo deseable es tener un flujo turbulento, ya que en este la variación de velocidad dentro del deshidratador va ser menor, lo que permite que se alcancen las temperaturas adecuadas en el deshidratador, teniendo en la cámara de deshidratación un perfil de velocidades más uniforme como se puede observar en la Figura 12 y Figura 13. Se debe considerar que obtener una temperatura totalmente uniforme es imposible, debido al esfuerzo cortante que se genera cuando el aire circula por el interior del deshidratador, mismo que depende de variables como densidad, velocidad, diámetro y viscosidad del fluido.

Al trabajar con un ventilador en el deshidratador híbrido indirecto activo será posible controlar la velocidad del aire, lo que a su vez permite controlar la transferencia de calor por convección forzada, además de tener un flujo constante de aire, lo que hace que se tengan productos de mayor calidad. Al aumentar la velocidad del aire en el deshidratador híbrido indirecto activo se aumenta la transferencia de calor al producto, lo que reduce el tiempo de deshidratación. Considerando que un aumento en la velocidad del aire implica una reducción en la temperatura del mismo, la velocidad del aire y temperatura del aire son inversamente proporcionales.

Figura 12. Perfil de velocidades deshidratador solar indirecto pasivo

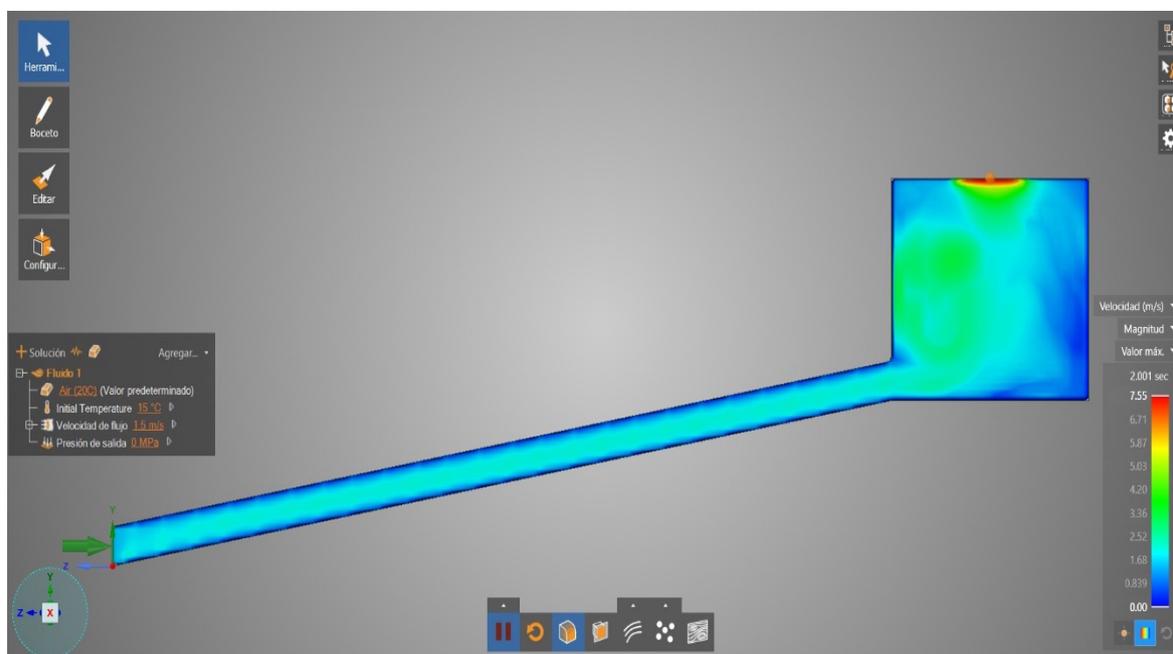
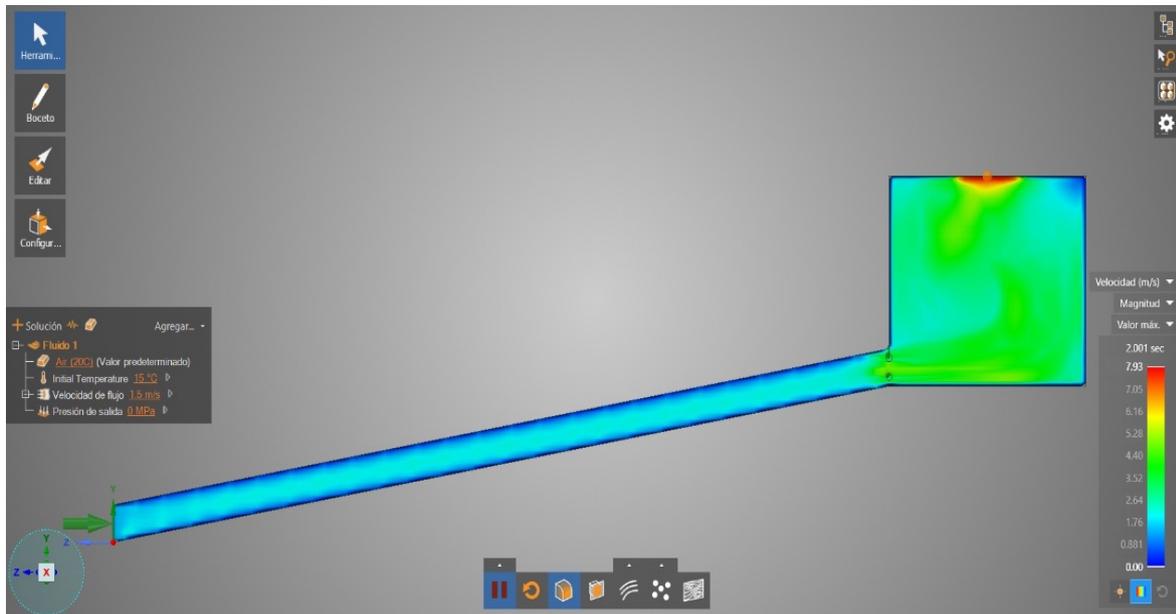


Figura 13. Perfil de velocidades deshidratador híbrido indirecto activo



En la investigación de Yumbillo 2020 se construyó el prototipo de deshidratador solar indirecto pasivo, mismo que alcanzó una temperatura promedio de 45.460°C. En la presente investigación con la simulación se alcanzó una temperatura promedio de 45.272°C, teniendo como error porcentual absoluto 0.413 % que es inferior al 5 % recomendado para poder validar los resultados de una investigación.

5. Conclusiones y recomendaciones

Se simuló el deshidratador híbrido indirecto activo en el software ANSYS con las condiciones atmosféricas de la ciudad de Riobamba. La simulación computacional y la experimentación son métodos complementarios para obtener prototipos de buenas características.

Se determinó que el tamaño de malla adecuado para la simulación del deshidratador solar indirecto pasivo, en el software ANSYS, es de 48327 elementos y la malla adecuada para la simulación del deshidratador híbrido indirecto activo, en el software ANSYS, es de 282880 elementos.

Con el error porcentual absoluto de 0.413 %, se pudo validar la metodología utilizada que sirvió para la simulación del nuevo prototipo con resistencias eléctricas para que alcance las temperaturas recomendadas para la deshidratación.

Se determinaron las temperaturas de funcionamiento del deshidratador solar indirecto pasivo, teniendo una temperatura mínima de 36.977°C, temperatura media de 45.272°C y temperatura máxima de 49.854°C. Considerando que en la investigación de Yumbillo (2020) el prototipo alcanza una temperatura media de 45.460°C se puede considerar como validada nuestra simulación, ya que existe un error de 0.41 %.

Se determinaron las temperaturas de funcionamiento del deshidratador híbrido indirecto activo, teniendo una temperatura mínima de 47.211°C, temperatura media de 59.779°C y temperatura máxima de 65.854°C. Utilizando una velocidad del aire que ingresa al deshidratador de 2 m/s se puede incrementar aún más la temperatura del deshidratador, disminuyendo la velocidad del aire y alcanzando, incluso, temperaturas superiores a los 70°C.

Se pudo observar que el deshidratador híbrido indirecto activo de la Figura 22 presenta una mejor distribución de temperaturas que el deshidratador solar indirecto pasivo de la Figura 10.

En términos de transferencia de calor, el deshidratador híbrido indirecto activo va a permitir mayor transferencia de calor hacia el producto, ya que el aire es forzado a pasar por el deshidratador, dándose así convección forzada. Además, el deshidratador híbrido indirecto activo permite tener una mejor homogeneidad de la temperatura en la cámara de deshidratación. En cambio, en el deshidratador solar indirecto pasivo se hablaría de convección natural. Esto, sumado al hecho de que aumenta considerablemente la temperatura en la cámara de deshidratación y lo hace atractivo para los pequeños productores.

Con esta simulación se puede garantizar un diseño óptimo del deshidratador, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona en la que se desea deshidratar.

Referencias

- Almada, M., Stella, M., Machaín-Singer, M., Pulfer, J. C. (2005). *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Unesco. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>
- Boughali, S.; Benmoussa, H.; Bouchekima, B.; Mennouche, D. (2009). Crop drying by indirect active hybrid solar – Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. *Solar Energy*, 83(12): 2223–2232. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.09.006>
- Carrillo, A.; Gordillo, J.; Domínguez, F.; Cejudo, J. (2018). *Simulation of a solar assisted counterflow tunnel dehydrator*. Llevado a cabo en International Conference on Advances in Solar Thermal Food Processing. <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/15109/Carrillo-Sojo-Dominguez-Cejudo-CF18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dhanushkodi, S.; Wilson, V. H.; Sudhakar, K. (2017). Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. *Resource-Efficient Technologies*, 3: 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.12.002>
- El Hage, H.; Herez, A.; Ramadan, M.; Bazzi, H.; Khaled, M. (2018). An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment. *Energy*, 157: 815-829. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.197>
- Fito, P.; Andrés, A.; Barat, J.; & Albors, A. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Universitat Politècnica de València. https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true
- Guevara, A.; Salas, J. (2017). Diseño y construcción de un deshidratador solar para fresa. *Jovenes en a Ciencia*, 03(1): 114-119.
- Ibarz, A.; Barbosa-Cánovas, G. (2000). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*: Mundi-Prensa.
- Kabeel, A. E., Abdelgaied, M. (2016). Performance of novel solar dryer. *Process Safety and Environmental Protection*, 102: 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.03.009>
- Llumiquinga, P.; Suquillo, B. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de deshidratador de frutas de capacidad de 12 Kg con circulación de aire forzado utilizando resistencias eléctricas. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- López, E., Méndez, L.; Rodríguez, J. (2013). Efficiency of a hybrid solar-gas dryer. *Solar Energy*, 93: 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.027>
- Maiti, S.; Patel, P.; Vyas, K.; Eswaran, K.; Ghosh, P. K. (2011). Performance evaluation of a small scale indirect solar dryer with static reflectors during non-summer months in the Saurashtra region

- of western India. *Solar Energy*, 85(11): 2686–2696. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.08.007>
- Martínez, J.; Vidal, R.; Grado, J.; & Gándara, J. (2013). Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica. *Cultura Científica y Tecnológica*, 50: 99–107. <http://148.210.132.19/ojs/index.php/culcyt/article/view/932/868>
- Mendoza, J.; Insuasti, R.; Barrera, O.; & Navarro, M. (2020). *Design and simulation of an Indirect Mixed*: 107-124. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6227>
- Misha, S.; Abdullah, A. L.; Tamaldin, N.; Rosli, M. A. M.; Sachit, F. A. (2020). Simulation CFD and experimental investigation of PVT water system under natural Malaysian weather conditions. *Energy Reports*, 6: 28-44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.162>
- Pandal Blanco, A. (2019). *Modelado euleriano de flujo bifásico para el calculo CFD de chorros diesel*: Editorial Reverte. <https://elibro.net/es/lc/unir/titulos/171243>
- Potter, M. C.; Wiggert, D. C.; Ramadan, B. H. (2015). *Mecánica de Fluidos*. CENGAGE Learning.
- Simbaña, R. (2016). Análisis y simulación del proceso de deshidratado de frutas utilizando un prototipo deshidratador con energía solar. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Tegenaw, P. D.; Gebrehiwot, M. G.; & Vanierschot, M. (2019). On the comparison between computational fluid dynamics (CFD) and lumped capacitance modeling for the simulation of transient heat transfer in solar dryers. *Solar Energy*, 184: 417-425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.024>
- Tiupul, P., & Arévalo, M. (2019). *Anuario climatológico año 2019*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Varun, Sunil, Sharma, A.; Sharma, N. (2012). Construction and Performance Analysis of an Indirect Solar Dryer Integrated with Solar Air Heater. *Procedia Engineering*, 38: 3260-3269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.377>
- Versteeg, H.; Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*: Pearson Prentice Hall.
- Yumbillo, B. (2020). *Diseño de un prototipo de un secador solar para frutilla (Fragaria vesca) utilizando modelos matemáticos*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Arquitecturas de sistemas de captación de energía

(Architectures of Energy Harvesting Systems)

Salazar Fabian¹, Núñez Maritza², Cuji Julio³, Gordón Carlos⁴

Resumen

El presente artículo desarrolla una la revisión literaria sobre las arquitecturas de sistemas de captación de energía, identificando parámetros como: frecuencia, tipo de antena, arquitectura (elementos), entre otros. La metodología tiene cuatro etapas: a) búsqueda de documentación en la que se obtuvieron 10 sistemas, los cuales fueron denominados con la letra "S" acompañada del número de artículo; b) lectura de los documentos científicos; c) extracción de información y arquitectura de los sistemas en se detallan las etapas de cada sistema (las cuales varían de 2 a 4), las frecuencias de trabajo (300 KHz hasta 3.43 GHz, siendo la de 2.45 GHz la más empleada en sistemas para recolección de energía de radiofrecuencia). Además de utilizar, en ciertos sistemas, circuitos multiplicadores y rectificadores en diferentes configuraciones: media onda y onda completa, para posteriormente ser almacenadas en baterías o directamente aplicadas en dispositivos; d) documentación de la información extraída. Finalmente, completada la revisión literaria, se observó que en la mayoría de los artículos los sistemas tienen 3 etapas: antena, acoplamiento y rectificación, que el sistema transforma la energía recibida (corriente alterna) en corriente continua y que su funcionamiento varía en intervalos de frecuencia de 1.8 a 2.4 GHz, dependiendo de la configuración de cada sistema. Así también, el producto obtenido es una APP de consulta con un menú de selección de las diferentes arquitecturas investigadas, lo cual es un aporte muy beneficioso para los investigadores que deseen trabajar en esta área.

Palabras clave

Recolección de energía, arquitecturas, energía de radiofrecuencia, antena, acoplamiento.

Abstract

This article develops the literary review of the architectures of energy harvesting systems, identifying parameters such as: frequency, type of antenna, architecture (elements), among others. The methodology has four stages: a) Search for documentation, 10 systems were obtained, which were designated with the letter "S" accompanied by the article number; b) Reading of scientific documents; c) Extraction of information and architecture of the systems, where the stages of each system are detailed (which vary from 2 to 4), the working frequencies (300 KHz to 3.43 GHz, 2.45 GHz being the most used in systems for collecting radio frequency energy). In addition to using in certain systems, multiplier and rectifier circuits in different configurations: half wave, full wave; to later be stored in batteries or directly applied to devices; d) Documentation of the information extracted. Finally, after completing the literary review, it was observed that, in most articles, the systems have 3 stages: antenna, coupling, and rectification that transforms the received energy (alternating current) into direct current, their operation varies in frequency intervals of 1.8 to 2.4 GHz depending on the configuration of each system. Likewise, the product obtained is a consultation APP, with a selection menu of the different architectures investigated, which is a very beneficial contribution for researchers who wish to work in this area.

Keywords

Energy Harvesting, Architecture, Energy Radiofrequency, Antenna, Coupling.

1 Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. [fr.salazar@uta.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-9514-6576]
2 Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. [mnunez4777@uta.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-4972-0573]
3 Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. [julioecuji@uta.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-0843-735X]
4 Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. [cd.gordon@uta.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-8031-2658]

1. Introducción

Actualmente, el término IoT es muy utilizado para describir la nueva generación de interconectividad entre diferentes dispositivos, por lo cual, los sistemas de captación de energía son fundamentales en IoT (Leonardo González, 2020; Dong-Hwan Park, 2014; Alok Kumar Gupta, 2019; S. Chaudhary, 2019). Su principal objetivo es eliminar el cable de alimentación, suprimir o reducir la dependencia en las baterías y mantener la vida útil de los sistemas autónomos de IoT (Amit Saxena, 2019). Además, es fácil de utilizar y de bajos costes (Larrocha, 2020; Satyendra K. Vishwakarma, 2019). Ante estos requerimientos son necesarios los sistemas de recolección de energía.

Los sistemas de recolección de energía ambiental tienen diferentes arquitecturas, presentados por (Rewaa Maher, 2016; X. Bai, 2019; Hamza Tafekirt, 2020; Shanpu Shen, 2017; Hucheng Sun Y.-x. G., 2012; Robert Scheeler, 2014; Hucheng Sun Y.-x. G., 2013; Chaoyun Song, 2015; Ugur Olgun, 2010; Mahima Arrawatia, 2015; Mamta Kurvey, 2018; Ahmad A. Salih, 2016; Kyriaki Niotaki, 2013). Constan de 3 etapas básicas: antena, acoplamiento y rectificador. La antena capta las ondas de radiofrecuencia en el ambiente (Osama M. A. Dardeer, 2019) o de una fuente específica (solar, vibraciones y movimientos) (N. A. Moghaddam, 2017). El acoplamiento asegura la transferencia de potencia entre antena y circuito rectificador (Hong, 2010) al igualar valores de impedancias de ambas etapas. Y, la rectificación convierte corriente alterna de la antena en corriente directa a su salida (Kanaya, 2014; Sun, 2020).

Otros sistemas (Richard Torrealba Meléndez, 2016) con arquitectura: antena, acoplador de impedancias, doblador y dispositivo (A.Rajan, 2014) compuestos por antena, red de adaptación, multiplicador de voltaje y almacenamiento (M Nalini J. V., 2017) están formados por: antena, convertidor RF-DC, convertidor análogo a digital, regulador de voltaje y almacenamiento (N. A. Zainuddin, 2013). Con arquitectura: antena, acoplador, rectificador, circuito de carga y batería (Anjan Kumar Kundu, 2018). Con arquitectura: antena, circuito combinador, rectificador y carga (Hadeel Aboueidah, 2017). Con arquitectura: antena, combinador, rectificador, elemento de almacenamiento, regulador de voltaje, carga (J. Martinez, 2020). E integrado por: antena, combinador de energía, convertidor RF-DC y acoplamiento incorporan una etapa adicional con el fin de obtener voltajes de salida óptimos para las necesidades del sistema. Por ello, el sistema presenta una arquitectura de 4 etapas: antena, acoplamiento, circuito multiplicador y almacenamiento. El circuito multiplicador es un tipo especial de rectificador, el cual convierte y amplifica la señal de entrada AC en una salida DC a través de la unión de rectificadores individuales en serie (Le-Giang Tran, 2017; Flandre, 2011). Normalmente, son utilizados cuando el voltaje rectificado es insuficiente para alimentar una determinada aplicación (Shailesh Singh Chouhan, 2016; Musaab Mohammed AL-Azawy, 2019). Finalmente, en la etapa de almacenamiento es en la que se acumula toda la energía recolectada por el sistema (Mohamed A. Abouzied, 2017). Usualmente, se utilizan baterías recargables y condensadores (M Nalini J. V., 2017; Yoshikawa, 2019). Otro sistema tiene una arquitectura de unificación con dos circuitos recolectores de diferentes energías (radiofrecuencia y corriente corona) (Guerrero, 2016) compuesto por: antena, circuito de recolección de corriente corona, circuito de recolección de RF, control y almacenamiento. Todos los sistemas en sus configuraciones tanto para circuitos rectificadores (Alex Mouapi, 2018; Asmaa Sedeek, 2018) como multiplicadores utilizan diodos Schottky (Halonen, 2014; H. Morales, 2012), los cuales son los más utilizados en convertidores de RF a DC (Prusayon Nintanavongsa, 2012). Sin embargo, se puede utilizar tecnología CMOS, ya que ha demostrado tener un alto porcentaje de eficiencia (P.-A. Haddad, 2014).

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión del estado actual de todos los sistemas de captación de energía, identificando diferentes parámetros como: frecuencia, tipo de antena, entre otros, así como la arquitectura y elementos que constituyen cada sistema.

2. Metodología

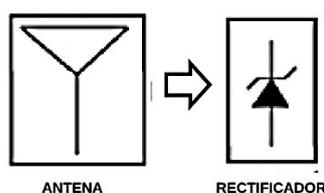
Se seleccionaron los artículos considerando los criterios de mejores resultados y desarrollados en la última década, los cuales fueron ordenados cronológicamente y se detallan a continuación:

- S1: Multiband Ambient RF Energy Harvesting for Autonomous IoT Devices.
- S2: Radio Frequency Energy Harvesting System Making Use of 180° Hybrid Couplers and Multiple Antennas to Improve the DC Output Voltage.
- S3: Sistema de cosechamiento de energía con radio frecuencia.
- S4: A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting.
- S5: A Dual-Frequency Ultralow-Power Efficient 0.5-g Rectenna.
- S6: Microstrip Antenna Designs for RF Energy Harvesting.
- S7: Sistema de recolección de energía (*Energy Harvesting*) que emplea la corriente corona y señales de alta frecuencia.
- S8: A Compact Dual-Band Rectenna Using Slot-Loaded Dual Band Folded Dipole Antenna.
- S9: A Dual-Band Rectenna Using Broadband Yagi Antenna Array for Ambient RF Power Harvesting.
- S10: Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting.

Se analizó cada sistema y los datos obtenidos para cada uno son:

S1: La arquitectura de este sistema está compuesto por dos etapas. Estas son: antena y rectificador, los cuales forman una rectenna multibanda para la recolección de energía en las frecuencias de 840 MHz, 1.86, 2,1 y 2,45 GHz. Las etapas del sistema se visualizan en la figura 1.

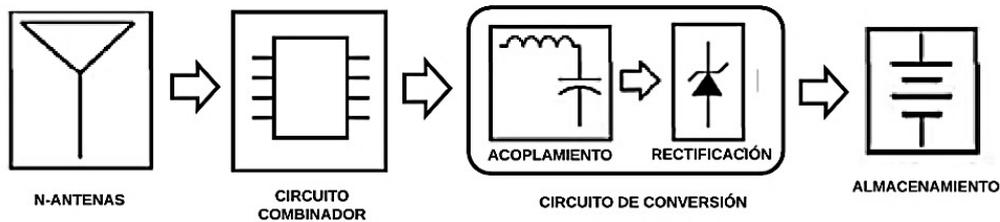
Figura 1. Diagrama de bloques del S1 y S10



La antena es de pajarita con rendijas, el mismo que se une a un circuito rectificado de onda completa construido con rectificadores de bucle de anillo de alta eficiencia para, finalmente, ser administrada y almacenada. El sistema puede ser utilizado en aplicaciones prácticas de sensores inalámbricos (Hong Son Vu, 2020).

S2: Este sistema está compuesto por varias antenas y un acoplador híbrido de 180° formando una arquitectura de 4 etapas generales que son: antenas, circuito combinador, circuito de conversión y almacenamiento. El diagrama completo se visualiza en la figura 2.

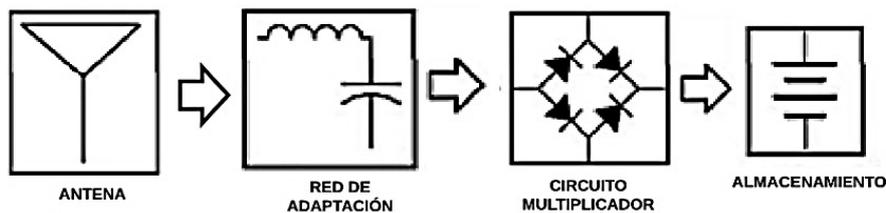
Figura 2. Diagrama de bloques del S2



El sistema trabaja a 1.84GHz y recolecta energía de radiofrecuencia. La etapa de combinación y conversión tiene, en su estructura interna, un circuito multiplicador o doblador con una configuración de diodos Schottky de bajo voltaje y un rectificador de onda completa. La aplicación del sistema es en alimentación de circuitos electrónicos de bajo consumo de potencia. (J. Martínez, 2020)

S3: La arquitectura de este sistema consta de 4 etapas y es capaz de captar energía de radiofrecuencia y trabaja a una frecuencia de 915 MHz. Las etapas de este sistema se visualizan en la figura 3.

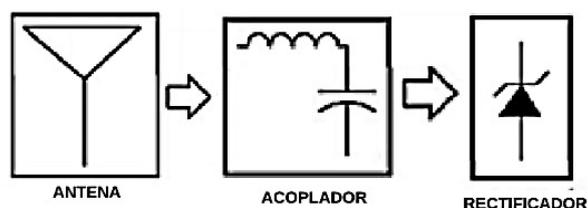
Figura 3. Diagrama de bloques del S3



Las etapas del sistema son: antena, acoplador de impedancias, doblador de voltaje constituido por el circuito multiplicador y el dispositivo o almacenamiento de energía para su aplicación en circuitos de bajo consumo de potencias y recarga de baterías. La energía es recolectada con una antena monopolo espiral. Después, pasa a un rectificador de onda completa y es multiplicada por el circuito Villard (Richard Torrealba Meléndez, 2016).

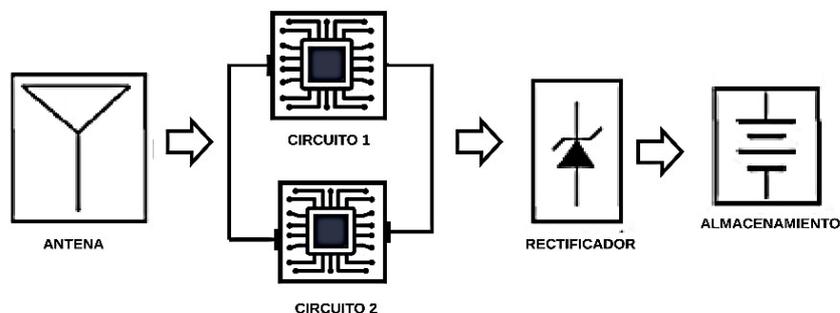
S4: El sistema está diseñado para la recolección de energía inalámbrica ambiental, combinando el diseño de una antena y un rectificador acoplados. La frecuencia de trabajo en las bandas es 1.8 a 2.5 GHz. El diseño se visualiza en la figura 4.

Figura 4. Diagrama de bloques del S4, S5 y S8



El diseño de la rectena es realizado con el rectificador visualizado en la figura 5 y mostrado a continuación.

Figura 5. Diagrama de bloques del diseño del rectificador y antena para S4



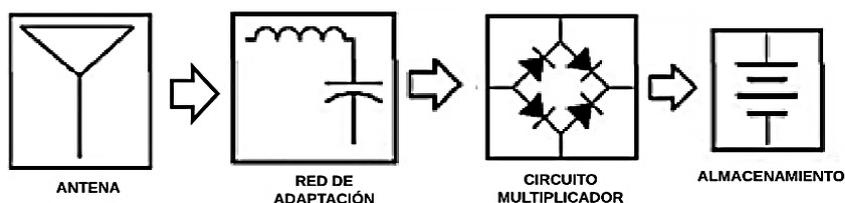
Este sistema está formado por 3 etapas que son: antena (*planar dual-polarized*), acoplamiento y rectificador (onda completa). La aplicación del sistema es recolección de energía inalámbrica para una gama de sensores inalámbricos y aplicaciones de red. (Chaoyun Song, 2015).

S5: Este tipo de rectena diseñada tiene un peso de 15g y trabaja en las frecuencias de 915 MHz y 2.45 GHz con potencia mínima de 1uW. El sistema consta de 3 etapas como se observa en la figura 4.

Las etapas constan de un arreglo de antenas Yagi-Uda para recolección de energía de radiofrecuencia. El acoplamiento es realizado al rectificador de onda completa, obteniendo energía para aplicaciones de bajo consumo de energía. (Robert Scheeler, 2014)

S6: Este tipo de sistema está conformado por 4 etapas que son utilizadas para diferentes tipos de captación de energía. El diagrama de bloques se visualiza en la figura 6.

Figura 6. Diagrama de bloques del S6



Las etapas del sistema son: antena, red de adaptación, multiplicador de voltaje y almacenamiento. La estructura interna de la etapa 1 y 2 está compuesta de elementos como: inductores, capacitores, filtros y rectificación. La frecuencia de trabajo es 3.43 GHz y recolecta energía de radiofrecuencia, utilizando una Microstrip (antena de parche polarizada linealmente). Posteriormente, la energía es procesada por un rectificador de onda completa y un circuito multiplicador incorporado en la antena. Después, es almacenada en baterías de respaldo. (A.Rajan, 2014)

S7: Este sistema está compuesto por dos tipos de recolección de energía: 1) empleando una corriente corona y 2) señales de radiofrecuencia, obteniendo el diagrama de bloques visualizado en la figura 7 y 8.

Figura 7. Esquema de conversión de RF a DC

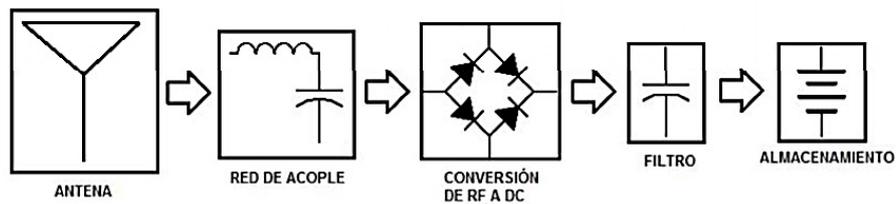
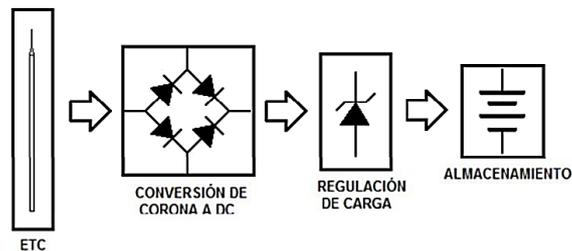


Figura 8. Esquema de conversión de corona a DC



El circuito completo se obtiene de la unión de diagramas de bloques (figura 7 y 8). Adicionalmente, incorpora un diagrama de control que consta de un molino de campo y una tarjeta de adquisición dispuesta de interruptores para ambos circuitos.

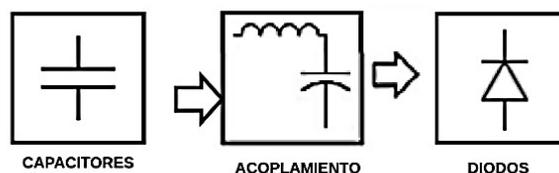
La frecuencia de trabajo del sistema es de 300KHz a 3 GHz. El diagrama de bloques está dividido en dos partes debido a que va a recolectar dos tipos de energía, utilizando diferentes tipos de antenas que son: monopolo para energía de radiofrecuencia y electrodo tipo corona para campo eléctrico. El primer esquema tiene antena y circuito de recolección de corriente corona. Y, el segundo tiene ETC, circuito de recolección de RF, control y almacenamiento.

La estructura interna de ambos circuitos está compuesta por elementos similares para su funcionamiento y una etapa de control. El circuito multiplicador de voltaje tiene configuración Villard y el rectificador de onda completa. La energía recolectada y procesada es almacenada en baterías de litio para su posterior aplicación en celdas foto-catalíticas para procesos de hidrólisis de bajo consumo (Guerrero, 2013).

S8: El sistema es una rectena para recolección de energía de radiofrecuencia encontrada en el ambiente. Trabaja en doble banda de 915 MHz y 2.45 GHz. La rectena utiliza antenas dipolo plegadas de carga por ranura. El diagrama de bloques de 3 etapas del sistema se observa en la figura 4.

La etapa del rectificador se observa en la figura 9, obteniendo un voltaje de corriente continua a la salida del sistema.

Figura 9. Diagrama de bloques del diseño del rectificador para S8

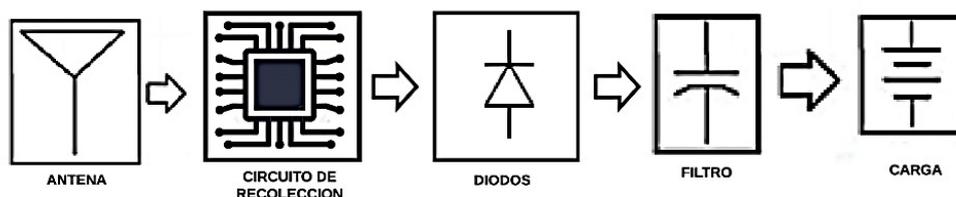


El S8 está conformado por 3 etapas que son: antena, acoplamiento y rectificador. El tipo de rectificador utilizado es de onda completa. Está formado por: capacitores, diodos y el acoplamiento a la antena. Este sistema puede ser utilizado en sensores de baja potencia y almacenamiento de energía (Kyriaki Niotaki, 2013).

S9: El sistema utiliza un arreglo de antenas Cuasi-Yagi para bandas de frecuencia de 1.8 a 2.2 GHz. Está diseñado para recolectar energía de radiofrecuencia ambiental constituido de 3 etapas. Tal como fue mostrado en la figura 4.

En la figura 10 se observa la etapa de rectificación de 4 bloques para el rectificador.

Figura 10. Diagrama de bloques del diseño del rectificador para S9



Las etapas de funcionamiento son: antena, acoplamiento y rectificador de doble banda. La estructura interna del rectificador consta de: circuitos elementales, diodos, filtros y resistencias. Su aplicación es en redes de sensores inalámbricos que dependen de sistemas autónomos (Hucheng Sun Y.-x. G., 2013).

S10: Este diseño es una rectena que trabaja a una frecuencia de 2.45 GHz y está compuesto de 2 etapas que son: diseño de antena y rectificador mostrado en la Figura 1. El diseño del rectificador es en base al sistema de medición de la rectena realizada en el que se utilizaron dispositivos de medición (voltímetro y analizador de espectro) y un generador de señal.

La frecuencia de 2.45GHz es mayormente utilizada para redes inalámbricas. Las ventajas de la utilización de estas bandas son: la tolerancia al atravesar obstáculos y, según Peña (2015) menciona, es compatible con la tecnología wifi.

El tipo de antena utilizada es CPS-Microsip y un rectificador de media onda y tiene la función de recolectar energía de radiofrecuencia. El sistema se aplica como energía de suministro para muchos dispositivos eléctricos como auriculares, dispositivos médicos portátiles, sensores, entre otros (Hucheng Sun Y.-x. G., 2012).

Finalizada la revisión literaria se obtienen los parámetros de cada sistema. Un factor importante en cada sistema es su frecuencia de trabajo. Con este parámetro deberán operar todos los elementos que constituyen el sistema. Además, depende de la arquitectura utilizada que puede ser un sistema de 2 etapas hasta un sistema de 4 etapas, algunos de los sistemas no utilizan circuitos multiplicadores. Otro elemento para todos los sistemas es la etapa de recolección o antena que varía en forma y modo de recolección en cada sistema.

3. Resultados y discusión

Se realizó la comparativa entre sistemas y se identificaron parámetros y características como: frecuencia, arquitectura de bloques y su estructura interna, tipo de energía a recolectar, tipo de antena, circuito multiplicador, almacenamiento, rectificador y su aplicación. Como se puede observar en la Tabla 1 y 2.

Tabla 1. Comparativa de arquitecturas de modelos de sistemas de captación de energía

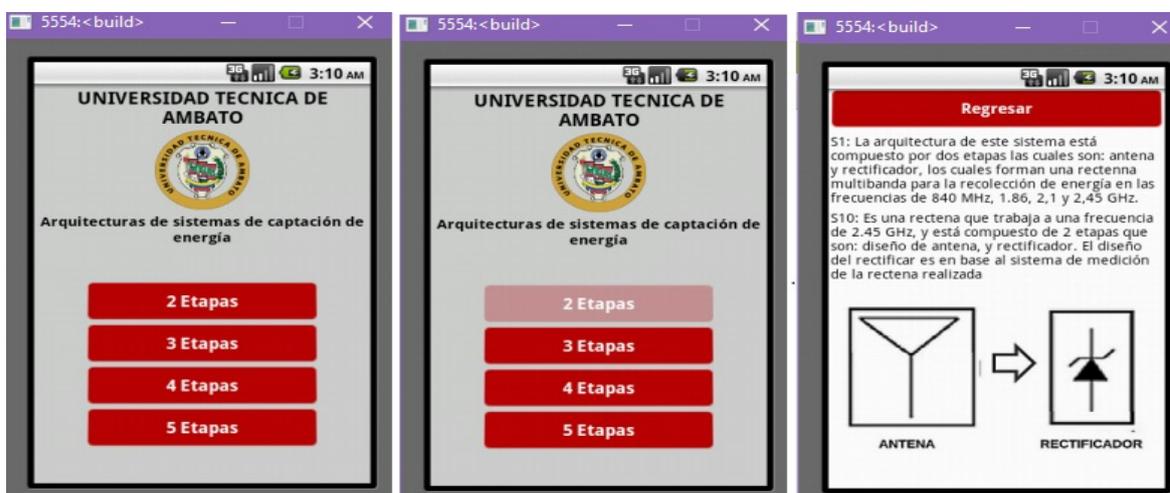
	S1	S2	S3	S4	S5
Frecuencia	840 MHz, 1,86, 2,1 y 2,45 GHz	1.84 GHz	915 MHz	1.8 a 2.5 GHz	915 MHz y 2.45 GHz
Tipo de antena	Antena multibanda	Arreglo de antenas Dipolo	Monopolo espiral	A planar dual-polarized	Arreglo de antenas Yagi-uda
Circuito multiplicador	N/A	Configuración con dos diodos Schottky de bajo voltaje	Configuración Villard	N/A	N/A
Almacenamiento	N/A	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Rectificador	Onda completa	Onda completa	Onda completa	Onda completa	Onda completa
Aplicación	Aplicaciones prácticas de sensores inalámbricos	Circuitos electrónicos de bajo consumo de potencia	Circuitos de bajo consumo de potencia y recargar baterías	Gama de sensores inalámbricos y aplicaciones de red	Aplicaciones de bajo consumo de energía

Tabla 2. Comparativa de arquitecturas de modelos de sistemas de captación de energía

	S6	S7	S8	S9	S10
Frecuencia	3,43 GHz	300 kHz a 36GHz	915 MHz a 2.45 GHz	1.8 a 2.2 GHz	2,45 GHz
Tipo de antena	Microstrip (antena de parche polarizada linealmente)	Circuito 1 – electrodo tipo corona Circuito 2 – monopolo	Antena dipolo plegada de doble banda	Arreglo de antenas cuasi-Yagi	CPS-Microstrip
Circuito multiplicador/ doblador	Incorporado en la antena	Configuración Villard	N/A	N/A	N/A
Almacenamiento	Batería de respaldo	Batería de litio	N/A	Ninguno	Ninguno
Rectificador	Onda completa	Onda completa	Onda completa	Doble banda	Media onda
Aplicación	Generador de respaldo en sistemas de energía	Celda foto-catalítica para procesos de hidrólisis de baso consumo	Sensores de baja potencia, almacenamiento de energía	Redes de sensores inalámbricos que dependen de sistemas autónomos	Energía de suministro para dispositivos eléctricos

El producto obtenido es una APP de consulta con un menú de selección de las diferentes arquitecturas clasificadas por número de etapas 2, 3, 4 y 5. En la cual, al seleccionar una opción, se despliega una ventana de los sistemas con su respectiva descripción y diagrama de bloques. Tal como se visualiza en la Figura 11.

Figura 11. Aplicación de consulta de sistemas de captación de energía



4. Conclusiones y recomendaciones

De la revisión de los diferentes sistemas se obtuvo la arquitectura más común y utilizada que consta de 3 etapas que son: antena, acoplamiento y rectificación. Esta arquitectura tiene como ventaja, en comparación a los demás, que su arquitectura es reducida y menos costosa. Las frecuencias de operación comprenden desde 915 MHz hasta 3.43 GHz, siendo las frecuencias más utilizadas las que están en el rango de 2.45GHz. Cada sistema utiliza diferentes configuraciones y tipos de antenas debido a las necesidades y requerimientos que pretenden cubrir cada uno, predominando los arreglos de antenas para controlar de mejor manera los parámetros para la captación de energía. En los circuitos multiplicadores existen diferentes configuraciones, notándose que en S2 los dos diodos de Schottky de bajo voltaje son utilizados para obtener mayor eficiencia o transmisión de la energía. La arquitectura de S6 y S7 tiene un sistema de almacenamiento con batería de respaldo y de litio, lo que permite almacenar energía para su posterior utilización. Este detalle define a estos sistemas para aplicaciones de mayor duración. En gran parte de los sistemas se utiliza la rectificación de onda completa porque la frecuencia es reducida a la mitad, permitiendo una mayor velocidad de transmisión de energía. De la revisión de los diferentes sistemas, las aplicaciones se enfocan en sistemas de bajo consumo de potencia que es útil en sistemas de transmisión inalámbrica como principios de sensores en los puntos primarios. Además, el producto obtenido es una APP de consulta con un menú de selección de las diferentes arquitecturas investigadas, lo cual es un aporte muy beneficioso para quienes deseen trabajar en esta área.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización de esta investigación y en la ejecución del proyecto 'Sistema de Captación de Energía Electromagnética para Abastecimiento de Energía en Terminales de Internet de las Cosas (IoT) en entornos de Quinta Generación (5G)', código del proyecto: SFFISEI 04.

Referencias

- Aboueidah, H., *et al.* (2017). "Characterization of RF energy harvesting at 2.4 GHz". *24th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*: 446-449. <http://doi.org/10.1109/IECS.2017.8292118>
- Abouzied, M.A., Ravichandran, K.; Sánchez-Sinencio, E. (2017). A Fully Integrated Reconfigurable Self-Startup RF Energy-Harvesting System With Storage Capability. *IEEE Journal of Solid-State Circuits* 52(3): 704-719. <http://doi.org/10.1109/JSSC.2016.2633985>
- Al-Azawy, M.M.; Sari, F. (2019). Analysis of Dickson Voltage Multiplier for RF Energy Harvesting. *1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*: 10-14. <http://doi.org/10.1109/GPECOM.2019.8778492>
- Arrawatia, M.; Baghini, M.S.; Kumar, G. (2015). Differential Microstrip Antenna for RF Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 63(4): 158-1588. <http://doi.org/10.1109/TAP.2015.2399939>
- Bai, X.; Ali, T.; Xu, L. (2019). A Dual-frequency Slotted CPW Antenna for 2.45/5.8 GHz RF Energy Harvesting Based on PVDF. *International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium. China (ACES)*: 1-2. <http://doi.org/10.23919/ACES48530.2019.9060561>
- Cansiz, M.; Altinel, D.; Kurt, G.K. (2019). Efficiency in RF energy harvesting systems: A comprehensive review. *Energy* 174: 292-309. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.100>
- Chaudhary, S.; Johari, R.; Bhatia, R.; Gupta, K.; Bhatnagar, A. (2019). CRAIoT: Concept, Review and Application(s) of IoT. *4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2019.8777467>
- Chouhan, S.S.; Halonen, K. (2014). Voltage multiplier circuit for UHF RF to DC conversion for RFID applications. *NORCHIP*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/NORCHIP.2014.700471>
- Chouhan, S.S.; Nurmi, M.; Halonen, K. (2016). Efficiency enhanced voltage multiplier circuit for RF energy harvesting. *Microelectronics Journal* 48: 95-102. <http://doi.org/doi:10.1016/j.mejo.2015.11.012>
- Dardeer, O.M.A.; Elsadek, H.A.; Abdallah, E.A.; Elhennawy, H.M. (2019). 4x4 Circularly Polarized Antenna Array for Ambient RF Energy Harvesting. *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*: 1175-1176. <http://doi.org/10.1109/APUSNCUR-SINRSM.2019.8888857>
- Eid, A.; Constantine, J.; Tawk, Y.; Ramadan, H.; Abdalah, M.; Elhaji, R.; Awad, R.; Kasbah, B. (2017). An efficient RF energy harvesting system. *11th EUCAP*: 896-899. <http://doi.org/10.23919/EuCAP.2017.7928573>
- Elsheakh, D.N. (2019). Broadband Dual Linear Polarized (DLP) Antenna Array for Energy Harvesting System. *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*: 1353-1354. <http://doi.org/10.1109/APUSNCUR-SINRSM.2019.8888786>
- Garg, N.; Garg, R. (2017). Energy harvesting in IoT devices: A survey. *International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*: 127-131. <http://doi.org/10.1109/ISS1.2017.8389371>
- Gomez D.L. (2020). Caracterización experimental de una pmu (Power Management Unit) para aplicaciones de *Energy Harvesting* (EH) (Tesis de grado) Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/329335>
- González, L.; Osiris, S.; Laguía, D.; Gesto, E.; Hallar, K. (2020). Internet del futuro- estudio de tecnologías IoT. *ICT-UNPA* 12(3): 105-137. <http://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n3.744>
- Gosset, G.; Flandre, D. (2011). Fully-Automated and Portable Design Methodology for Optimal Sizing of Energy-Efficient CMOS Voltage Rectifiers. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems* 1(2): 141-149. <http://doi.org/10.1109/JETCAS.2011.2158357>
- Gudan, K.; Chemishkian, S.; Hull, J.J.; Thomas, S.J.; Ensworth, J.; Reynolds, M.S. (2014). A 2.4GHz ambient RF energy harvesting system with -20dBm minimum input power and NiMH battery storage. *IEEE RFID-TA*: 7-12. <http://doi.org/10.1109/RFID-TA.2014.6934191>

- Guerrero, C. A. (2016). Sistema de recolección de energía (*Energy Harvesting*) que emplea la corriente corona y señales de alta frecuencia (tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59817>
- Gupta, A.K.; Johari, R. (2019). IOT based Electrical Device Surveillance and Control System. *4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*:1-5. <http://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2019.8777342>
- Haddad, P.; Gosset, G.; Raskin, J.; Flandre, D. (2014). Efficient ultra low power rectification at 13.56 MHz for a 10 μ A load current. *SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference (S3S)*: 1-2. <http://doi.org/10.1109/S3S.2014.7028220>
- Hamza, T.; Adel, B.; Reda, B.M. (2020). A Low-Cost Elliptical Triple-Band Antenna for RF Energy Harvesting Applications. *5th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)*: 1-3. <http://doi.org/10.1109/REDEC49234.2020.9163859>
- HarshaVardhan, B.; Jagadeesh, R.; Prasad, C.; Natarajamani, S. (2019). Design of Rectifier at ISM Band for RF Energy Harvesting of Low Powers. *International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*: 0282-0285. <http://doi.org/10.1109/ICCSP.2019.8697979>
- Jabbar, H.; Song, Y.S.; Jeong, T.T. (2010). RF energy harvesting system and circuits for charging of mobile devices. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 56(1): 247-253. <http://doi.org/10.1109/TCE.2010.5439152>
- Kanaya, H. (2014) Multi-band miniaturized slot antenna with multi-band impedance matching circuit. *Proceedings of 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*: 551-554. <http://doi.org/10.1109/APCAP.2014.6992552>
- Khan, M.S. y Deng, H. (2016). Design and implementation of a highly efficient UHF energy harvesting antenna. *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURS)*: 611-612. <http://doi.org/10.1109/APS.2016.7696014>
- Kundu, A.K.; Kumar-Varshney, S. (2018). Design of a Rectenna for Ambient Energy Harvesting. *IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*: 1-3. <http://doi.org/10.1109/IMaRC.2018.8877211>
- Kurvey, M.; Kunte, A. (2018). Design and optimization of stepped rectangular antenna for RF energy harvesting. *International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT)*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/ICCICT.2018.8325885>
- Larrocha, B. P. (2018). *Double Smart Energy Harvesting System for self-powered Industrial IoT* (Tesis doctoral). Universidad del País Vasco. <https://addi.ehu.es/handle/10810/32071>
- Lauder, D.; Sun, Y. (2020). Design Considerations of Antennas and Adaptive Impedance Matching Networks for RF Energy Harvesting. *European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD)*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/ECCTD49232.2020.9218310>
- Lee, D.; Kim, T.; Kim, S.; Byun, K.; Kwon, K. (2018). A CMOS Rectifier with 72.3% RF-to-DC Conversion Efficiency Employing Tunable Impedance Matching Network for Ambient RF Energy Harvesting. *International SoC Design Conference (ISOCC)*: 259-260. <http://doi.org/10.1109/ISOCC.2018.8649983>
- Mahendra, A.; Adhiyoga, Y.G.; Broto, W.; Saputra, A.; Pratomo, V.A. (2019). Numerical Design of Quad-Band Antenna for UWB RF Signal Energy Harvesting on IoT Application. *IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technologies (CSUDET)*: 281-283. <http://doi.org/10.1109/CSUDET47057.2019.9214583>
- Maher, R.; Tammam, E.; Galal, A.I.; Hamed, H.F. (2016). Design of a broadband planar antenna for RF energy harvesting. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*: 1808-1810. <http://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7754999>
- Martínez, J.; Medina, A.S.; Bonilla, C.A.; Villegas, J.M.; y Aldaz, J.C. (2020). Radio Frequency Energy Harvesting System Making Use of 180° Hybrid Couplers and Multiple Antennas to Improve the DC Output Voltage. *IEEE Latin America Transactions* 18(3): 604-612. <http://doi.org/10.1109/TLA.2020.9082733>

- Mindan, B.; Hong, L. (2010). The Analysis of Impedance Matching Problem in RF Circuit Design. *International Forum on Information Technology and Applications*: 350-353. <http://doi.org/10.1109/IFITA.2010.55>
- Moghaddam, N.A.; Maleki, A.; Shirichian, M.; Panah, N.S. (2017). RF energy harvesting system and circuits for charging of wireless devices using spectrum sensing. *24th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*: 431-436. <http://doi.org/10.1109/ICECS.2017.8292044>
- Morales, H.; Dunleavy, L.; Skidmore, S. (2012). Ultra-broadband characterization of Schottky diodes. *79th ARFTG Microwave Measurement Conference*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/ARFTG79.2012.6291198>
- Mouapi, A.; Hakem, N.; Kandil, N. (2018). High Efficiency Voltage Doubler Rectifier Design for Harvesting ambient RF Energy. *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*: 2515-2516. <http://doi.org/10.1109/APUSNCUR-SINRSM.2018.8609029>
- Nalini, M.; Kumar, J.V.N.; Kumar, R.M.; Vignesh, M. (2017). Energy harvesting and management from ambient RF radiation. *International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT)*: <http://doi.org/10.1109/IGEHT.2017.8094073>
- Niotaki, K.; Kim, S.; Jeong, S.; Collado, A.; Georgiadis, A.; Tentzeris, M.M. (2013). A Compact Dual-Band Rectenna Using Slot-Loaded Dual Band Folded Dipole Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 12: 1634-1637. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2294200>
- Nintanavongsa, P.; Muncuk, U.; Lewis D.R.; Chowdhury, K.R. (2012). Design Optimization and Implementation for RF Energy Harvesting Circuits. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems* 2(1): 24-33. <http://doi.org/10.1109/JETCAS.2012.2187106>
- Park, D.; Bang, H.; Pyo, C.S.; Kang, S. (2014). Semantic open IoT service platform technology. *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*: 85-88. <http://doi.org/10.1109/WF-IoT.2014.6803125>
- Peña, R. P. (2015). *Planteamiento de conexión alternativa a red móvil para acceso de conectividad a datos basado en el estándar 802.11* (Tesis de maestría) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12497>
- Piñuela, M.; Mitcheson, P.D.; Lucyszyn, S. (2013). Ambient RF Energy Harvesting in Urban and Semi-Urban Environments. *IEEE-TMTT* 61(7): 2715-2726. <http://doi.org/10.1109/TMTT.2013.2262687>
- Polaiah, G.; Krishnamoorthy, K.; Kulkarni, M. (2019). A Compact Dual-Band Rectenna for RF Energy Harvesting. *IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP)*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/InCAP47789.2019.9134462>
- Ramesh, G.P.; Rajan, A. (2014). Microstrip antenna designs for RF energy harvesting. *International Conference on Communication and Signal Processing*: 1653-1657. <http://doi.org/10.1109/ICCSP.2014.6950129>
- Salih, A.A.; Sharawi, M.S. (2015). A miniaturized dual-band meander line antenna for RF energy harvesting applications. *IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/AEECT.2015.7360530>
- Saxena, A.; Shinghal, K.; Misra, R.; Agarwal, A. (2019). Automated Enhanced Learning System using IOT. *4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*: <http://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2019.8777711>
- Scheeler, R.; Korhummel, S.; Popovic, Z. (2014). A Dual-Frequency Ultralow-Power Efficient 0.5-g Rectenna. *IEEE Microwave Magazine* 15,(1): 109-114. <http://doi.org/10.1109/MMM.2013.2288836>
- Sedeek, A.; Tammam, E.; Hasaneen, E.S. (2018). High Efficiency 2.45 GHz Low Power Hybrid Junction Rectifier for RF Energy Harvesting. *International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications and Computations (JAC-ECC)*:147-150. <http://doi.org/10.1109/JEC-ECC.2018.8679546>

- Shen, S.; Chiu, C.; Murch, R.D. (2017). A Dual-Port Triple-Band L-Probe Microstrip Patch Rectenna for Ambient RF Energy Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 16: 3071-3074. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2761397>
- Song, C.; Huang, Y.; Zhou, J.; Zhang, J.; Yuan, S.; Carter, P. (2015). A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 63(8): 3486-3495. <http://doi.org/10.1109/TAP.2015.2431719>
- Sun, H.; Guo, Y.; He, M.; Zhong, Z. (2012). Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 11: 929-932. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2212232>
- Sun, H.; Guo, Y.; He, M.; Zhong, Z. (2013). A Dual-Band Rectenna Using Broadband Yagi Antenna Array for Ambient RF Power Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 2: 918-921. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2272873>
- Tony, A; Hiryanto, L. (2019). A review on energy harvesting and storage for rechargeable wireless sensor networks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 508(1): 651-654. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012120>
- Torrealba, R.; Santiesteban, V.C.; Ambrosio, R.; Gomez, L.; Flores, E. (2016). Sistema de cosechamiento de energía con radio frecuencia. *SOMI XXXI*: 1-6
- Tran, L-G.; Cha, H-K.; Park, W-T. (2017). RF power harvesting: a review on designing methodologies and applications. *Micro and Nano Systems Letters*, 5(14): 1-16. <http://doi.org/10.1186/s40486-017-0051-0>
- Vishwakarma, S.K.; Upadhyaya, P.; Kumari, B.; Mishra, A.K. (2019). Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT. *4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*: 1-4. <http://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2019.8777607>
- Vu, H. S., et al., (2020). Multiband Ambient RF Energy Harvesting for Autonomous IoT Devices. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* (30): 1189-1192. <http://doi.org/10.1109/LMWC.2020.3029869>
- Wen, J.; Xie, D.; Liu, X.; Guo, H.; Liu, C.; Yang, X. (2016). Antena en forma de collar de banda ancha para recolección de energía de RF. *Simposio internacional de Asia y el Pacífico sobre compatibilidad electromagnética (APEMC)*: 253-255. <http://doi.org/10.1109 / APEMC.2016.7523025>
- Yoshikawa, T. (2019). The Efficiency Estimation Method for Harvesting Energy Charged into Capacitor. *IEEE Third International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*: 1-5. <http://doi.org/10.1109/ICDCM45535.2019.9232851>
- Zainuddin, N.A., et al. (2013). Design of wideband antenna for RF energy harvesting system. *3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*: 162-166. <http://doi.org/10.1109/ICICI-BME.2013.6698485>.

Escenarios de vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías: un mapeo sistemático

(Linkage scenarios of relational databases and ontologies: a systematic mapping)

Yoan Antonio López Rodríguez¹, Yusniel Hidalgo Delgado², Nemury Silega Martínez³

Resumen

Las bases de datos relacionales constituyen una de las fuentes de datos más utilizadas. Sin embargo, como fuente de almacenamiento presenta un grupo de limitaciones. En las bases de datos relacionales se dificulta almacenar conocimiento semántico. Para solventar las carencias en la representación de conocimiento de las bases de datos relacionales, una tendencia ha sido el uso de las ontologías. Las ontologías poseen una mayor riqueza semántica y son más cercanas al vocabulario del usuario final que los esquemas de las bases de datos relacionales. El objetivo de la presente investigación consiste en realizar un mapeo sistemático acerca de los escenarios en que se vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías para brindar una mejor integración, consulta y visualización de los datos almacenados. El mapeo se llevó a cabo aplicando una propuesta metodológica establecida en la literatura. Como resultado de la investigación, se detectó que el mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y la utilización de las ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas fueron los escenarios de mayor presencia. Igualmente, se identificaron tendencias y desafíos en cada uno de los escenarios que pueden merecer mayores esfuerzos de investigación en el futuro.

Palabras clave

Bases de datos relacionales, mapeo sistemático, ontologías.

Abstract

Relational databases are one of the most used data sources. However, as a storage source, they present a group of shortcomings. It is complex to store semantic knowledge in relational databases. To solve the deficiencies in knowledge representation of relational databases, one trend has been to use ontologies. Ontologies possess a richer semantic and are closer to the end user vocabulary than relational database schemas. The objective of the present research was to carry out a systematic mapping about the scenarios where relational databases and ontologies are linked to provide a better integration, query, and visualization of stored data. The mapping was carried out by applying a methodological proposal established in the literature. As outcomes of the research, it was detected that the mapping of relational databases to ontologies and the ontologies usage for the integration of heterogeneous data sources were the most common scenarios. Likewise, trends and challenges were identified in each scenario, which might deserve further research efforts in the future.

Keywords

Relational databases, ontologies, systematic mapping.

1 Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba. [yalopez@uci.cu, <https://orcid.org/0000-0001-5615-375X>]
2 Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba. [yhdelgado@uci.cu, <https://orcid.org/0000-0001-5763-0669>]
3 Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba. [nsilega@uci.cu, <https://orcid.org/0000-0002-8436-5650>]

1. Introducción

Las bases de datos relacionales son una de las fuentes de datos más utilizadas. Su gran aceptación se debe entre, otras razones, a la robustez, flexibilidad, alto rendimiento, escalabilidad, seguridad y protección con que almacenan los datos (Sujatha y Raju, 2016). Sin embargo, como fuente de almacenamiento, también presenta un grupo de limitaciones. En las bases de datos relacionales se dificulta almacenar conocimiento semántico (Liu y Gao, 2018). Para operar sobre los datos se requiere aprender un lenguaje de consulta estructurado y, por tanto, el usuario común que solo conoce el lenguaje natural no puede acceder directamente a la información requerida (Sujatha y Raju, 2016). El formato de almacenamiento no es adecuado para ser procesado directamente por herramientas analíticas. En ambientes donde coexisten varias bases de datos se dificulta su integración y, con ello, el intercambio de los datos (May, 2017). La Web Semántica, extensión de la web actual, necesita que la información y el conocimiento se publiquen de manera comprensible y procesable por las máquinas. Motivo por el cual, actualmente, muchas organizaciones están en la obligación de transformar sus grandes volúmenes de datos hacia otros formatos (Urrutia et al. 2017).

Para solventar las carencias semánticas de las bases de datos relacionales, una tendencia ha sido el uso de las ontologías. Múltiples trabajos publicados destacan la complementariedad entre las bases de datos relacionales y las ontologías para resolver problemas de integración, consulta y visualización de datos (Liu y Gao, 2018; Zdravkovi et al.; Abbes y Gargouri, 2017; Agapito et al., 2015). Un área de investigación que ha recibido el esfuerzo de la comunidad científica ha sido la transformación de bases de datos relacionales a ontologías. Asimismo, las ontologías se han usado para integrar fuentes de datos heterogéneas, logrando que las bases de datos subyacentes resulten transparentes para los usuarios y las consultas puedan emitirse como si estuvieran sobre una sola base de datos (Liu y Gao, 2018; Wang et al., 2017).

Las ontologías ofrecen una conceptualización explícita y comprensible para los elementos del dominio (Abbes y Gargouri, 2017). Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida (Studer, Benjamins y Fensel, 1998). Conceptualización se refiere a una forma de comprender y describir un dominio de conocimiento compartido que es consensuado por el conjunto de interesados expertos en ese dominio y explícita porque está descrita en un lenguaje formal (Urrutia et al., 2017). En la representación abstracta de un dominio en una ontología se identifican los conceptos relevantes (clases), atributos (propiedades), relaciones (roles, asociaciones) y las restricciones (axiomas) (Soylu et al., 2016).

Las ontologías son más ricas y cercanas al vocabulario del usuario final que los esquemas de las bases de datos relacionales. Una ontología conecta conceptos del dominio, mientras que un esquema de base de datos relacional utiliza un método de aplanamiento y dispersión no natural basado en la unión entre las tablas que la componen (Soylu et al., 2016). Ante el hecho de que la mayor parte de los datos reside en bases de datos relacionales y que en la actualidad estos datos se requieren con mayor carga semántica, la vinculación de las bases de datos relaciones y las ontologías es un área de investigación en crecimiento.

Por todo lo anterior, y considerando que la mayoría de los trabajos sobre este campo que se presentan en la literatura se enfocan en un escenario concreto del uso de las ontologías como complemento de las bases de datos relacionales, un estudio con enfoque holístico sobre esta área del conocimiento pudiera considerarse de gran utilidad para el uso de las lecciones aprendidas por la comunidad científica. Por tanto, como objetivo de la presente investigación

se plantea realizar un mapeo sistemático sobre los escenarios en que se vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías para brindar una mejor integración, consulta y visualización de los datos almacenados. Un mapeo sistemático ofrece una visión general del tema estudiado, así como la identificación de tendencias y brechas que son aprovechadas por los investigadores para orientar sus estudios (Petersen, Vakkalanka y Kuzniarz, 2015).

El resto del trabajo se ha organizado de la siguiente forma: seguidamente, se explica la metodología utilizada para la realización del mapeo. Luego, se hace un análisis de los resultados de la clasificación obtenida en cuanto a: 1) los escenarios de vinculación, 2) las fuentes en que fueron publicados los trabajos y 3) el propósito de cada uno de los escenarios. Por último, se ofrecen las conclusiones del trabajo.

2. Metodología

Para cumplir con el objetivo del presente trabajo se realizó un mapeo sistemático aplicando la propuesta metodológica establecida por Petersen (Petersen, Vakkalanka y Kuzniarz, 2015) que consistió en los siguientes pasos: 1) determinación de la necesidad y el alcance del mapeo que incluye la definición de las preguntas de investigación, 2) identificación de los trabajos, 3) extracción y clasificación de los datos y 4) análisis y visualización de los resultados.

Determinación de la necesidad y el alcance del mapeo

El propósito del estudio consistió en identificar los escenarios de la vinculación entre las bases de datos relacionales y las ontologías para la integración, consulta y visualización de los datos almacenados. Para orientar el mapeo sistemático se definieron las siguientes preguntas de investigación:

PI 1 ¿Cuáles son los estudios que se han realizado en que se vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías? Esta pregunta permite establecer un inventario sobre los trabajos realizados en que se utiliza un enfoque que complementa los modelos relacionales con las ontologías.

PI 2 ¿Cuáles son los escenarios abordados sobre la vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías en cada uno de los trabajos? Esta pregunta permite identificar los escenarios que se presentan en cada uno de los trabajos, así como las tendencias y desafíos que presentan cada uno de esos escenarios.

PI 3 ¿Dónde fue publicado cada uno de los trabajos?

PI 4 ¿Cuál es el propósito de cada uno de los trabajos?

Al responder las preguntas PI 2, PI 3 y PI 4 se pueden clasificar los trabajos según el escenario que abordan, la fuente de publicación y el propósito.

Identificación de los trabajos

La búsqueda de los estudios primarios se realizó en las siguientes bases de datos bibliográficas: IEEEExplore, ACM Digital Library, SpringerLink y ScienceDirect. En cada una de ellas se aplicó la cadena de búsqueda: (*ontology AND database*) OR (*ontologies AND database*). Se realizaron las búsquedas sobre el campo 'resumen' y se seleccionaron los 10 artículos más relevantes en los últimos seis años de cada una de las fuentes para un total de 40 documentos.

Del total de documentos se seleccionaron aquellos que cumplieron con los criterios de inclusión: artículos de revistas científicas en que se vinculan las bases de datos relacionales con las ontologías. Para depurar el listado de documentos se aplicaron los criterios de exclusión que se listan a continuación:

- Duplicados
- Publicados en revistas no arbitradas.
- Enfocados en el almacenamiento de ontologías difusas.
- Basados únicamente en la construcción de ontologías.
- Enfocados en la vinculación de ontologías con bases de datos no relacionales.
- Enfocados en la creación automática de ontologías a partir de textos u otras fuentes de datos no relacionales.

Luego de aplicados los criterios de inclusión y exclusión, de los 40 artículos, fueron seleccionados 16. En la Tabla 1 se relaciona la cantidad de artículos por cada una de las fuentes consultadas.

Tabla 1. Cantidad de artículos seleccionados por cada una de las fuentes consultadas

Base de datos	Encontrados	Seleccionados	Porcentaje
ACM Digital Library	10	5	50 %
IEEEExplore	10	3	30 %
ScienceDirect	10	5	50 %
SpringerLink	10	3	30 %
Total	40	16	40 %

Extracción y clasificación de los datos

La clasificación de los artículos se realizó tomando como referente las preguntas de investigación establecidas que permitieron llegar a las siguientes categorías: 1) escenarios en que se vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías, 2) fuentes donde fueron publicados los artículos y 3) propósitos de las investigaciones.

Los resultados de las preguntas de la investigación se encuentran detallados en la Tabla 2, la cual constituye un inventario de los trabajos más relevantes en los últimos seis años sobre la vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías. En la primera columna aparece el título del artículo, le sigue la fuente en la segunda columna y el año de publicación en la tercera columna. En la cuarta columna se representan los tipos de escenarios, los cuales se han representado con los posibles valores: mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa (E1), ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas (E2), acceso a datos basado en ontologías (OBDA) (E3), consultas en lenguaje natural basado en ontologías (E4), aprendizaje ontológico a partir de bases de datos relacionales (E5) y aporte semántico mediante ontologías (E6). Los tipos de escenarios surgieron de la lectura de los artículos, lo cual según Petersen et al. (2015) ocurre comúnmente en este tipo de investigaciones. En este caso, un artículo puede abordar más de un escenario. En la quinta columna se representa el propósito del trabajo que puede tomar uno de los valores establecidos por Tonella et al. (2007): propuesta

conceptual (PC), prueba de concepto (PRC), cuantificación (C), comparación (CO), comparación condicional (CC) y revisión (R).

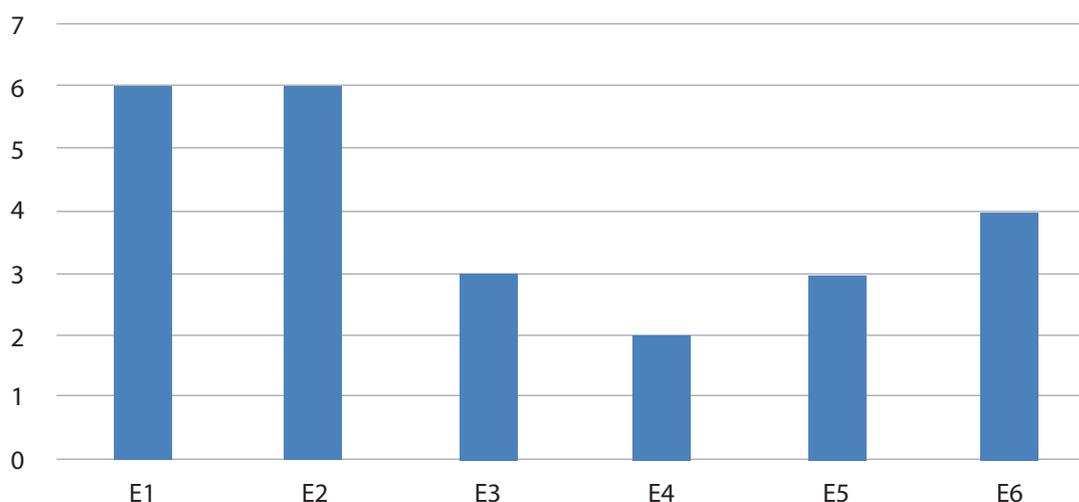
Tabla 2. Listado de los artículos seleccionados

Título del artículo	Fuente	Año	Escenarios	Propósito
RDB2RDF: Completed Transformation from Relational Database into RDF Ontology (Thi et al., 2014).	ACM Digital Library	2014	E1, E5	C
Mapping Relational Databases to Ontology Representation: A Review (Haw y May, 2017).	ACM Digital Library	2017	E1, E2	R
Using Linked Data in the Data Integration for Maternal and Infant Death Risk of the SUS in the GISSA Project (Freitas et al, 2017).	ACM Digital Library	2017	E2	C
Database Ontology-Supported Query for Ubiquitous Environments (Maran, Medeiros y Machado, 2017).	ACM Digital Library	2017	E2	PRC
An Approach for Learning Ontology from Relational Database (Liu y Gao, 2018).	ACM Digital Library	2018	E5	C
Automatic Mapping Magnetic Resonance Images into Multimedia Database Using SIFT (Reynoso et al., 2015).	IEEEExplore	2015	E6	PRC
An Ontology to Assess Data Quality Domains, A Case Study Applied to a Health Care Entity (Urrutia, et al., 2017).	IEEEExplore	2017	E2, E6	PRC
Pay-As-You-Go Methodology for Ontology-Based Data Access (Capsenta y Miranker, 2017)	IEEEExplore	2017	E3, E1	PC
Ontology Based Natural Language Interface for Relational Databases (Sujatha y Raju, 2016)	ScienceDirect	2016	E4	C
Database analysis for ontology learning (Gorskis, Aleksejeva y Polaka, 2016).	ScienceDirect	2016	E3, E5	PC
Ontology-based Data Semantic Management and Application in IoT- and 2 Cloud-Enabled Smart Homes (Tao, Ota y Dong, 2016).	ScienceDirect	2016	E1, E2	C
Automatic approach to enrich databases using ontology: Application in medical domain (Nakhla y Noura, 2017).	ScienceDirect	2017	E6	C
A Learning-based Ontology Alignment Approach Using Inductive Logic Programming (Karimi y Kamandi, 2019).	ScienceDirect	2019	E1	C
Explication and semantic querying of enterprise information systems (Zdravkovi et al., 2013).	SpringerLink	2014	E1, E2	PC
Development of Korean spine database and ontology for realizing e-Spine (Seo et al., 2014).	SpringerLink	2014	E6	PC
Ontology-based end-user visual query formulation: Why, what, who, how, and which? (Soylu et al., 2016).	SpringerLink	2016	E4, E3	PC

3. Resultados y discusión

A continuación, en correspondencia con las preguntas de la investigación se realiza el análisis y visualización de los resultados. Petersen et al. (2015) sugieren usar gráficos para mostrar los resultados de las clasificaciones en un mapeo sistemático. La principal clasificación que se realizó en el presente trabajo tuvo que ver con los tipos de escenarios de vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías, clasificación que se realizó con el objetivo de estructurar el área del conocimiento y encontrar tendencias que sirvieran como punto de partida para investigaciones posteriores. En el gráfico de columnas agrupadas de la Figura 1 se representa la cantidad de artículos que abordan cada uno de los escenarios. Tal como se muestra, el mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa (E1), así como la utilización de las ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas (E2) fueron los escenarios con mayor presencia en el área de investigación de la vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías, con un 38 % cada uno. El escenario de las consultas en lenguaje natural basado en ontologías (E4) fue el escenario con menor presencia en los artículos de la revisión con un 13 %. Un motivo de lo anterior pudiera ser que el escenario E4, usualmente, se combina con el escenario E3 en las investigaciones y aquí se ha analizado de manera independiente.

Figura 1. Cantidad de artículos por escenario



En el gráfico circular de la Figura 2 se aprecia que el 62 % de los artículos seleccionados para el mapeo fueron publicados en las bases de datos ScienceDirect y ACM Digital Library. En cuanto al tipo de propósito de los artículos revisados se clasificaron siete como cuantificación (C) para un 44 %, cinco como propuesta conceptual (PC) para 31 %, tres como prueba de concepto (PRC) para un 19 % y uno como revisión (R) para un 6 % (ver gráfico de barras agrupadas de la Figura 3). La clasificación de las investigaciones en cuanto al tipo de propósito confirmó la existencia de una investigación robusta sobre el tema en cuestión. Además, se pudo constatar que dentro de los últimos seis años, el 2017 fue un año prominente en cuanto a la cantidad de publicaciones relevantes en el tema (ver gráfico de líneas de la Figura 4).

Aprovechando las clasificaciones realizadas en el mapeo sistemático y con el propósito de encontrar tendencias y desafíos, seguidamente se realiza un análisis en cada uno de los escenarios, fundamentado en los resultados estadísticos obtenidos.

Figura 2. Cantidad de artículos por fuente

■ ACM Digital Library ■ IEEEExplore
■ ScienceDirect ■ SpringerLink

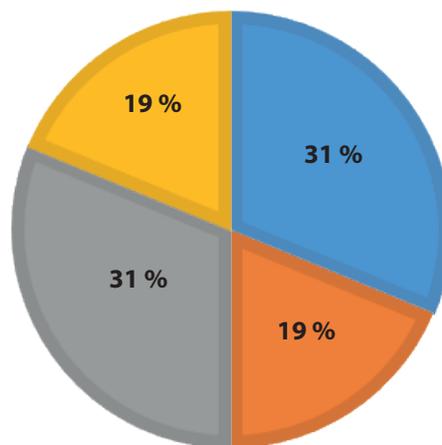


Figura 3. Cantidad de artículos por tipo de propósito

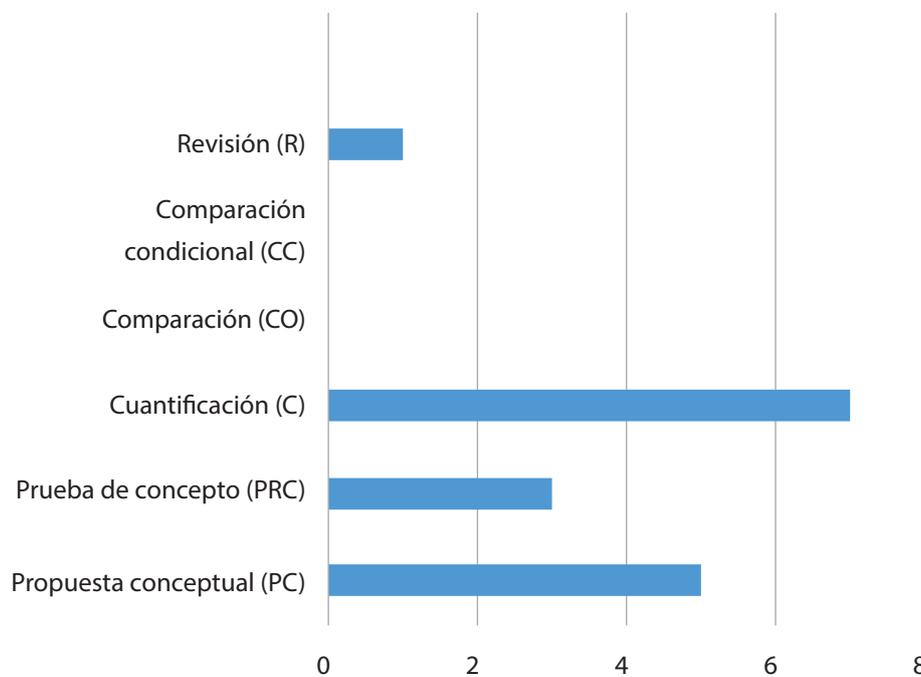
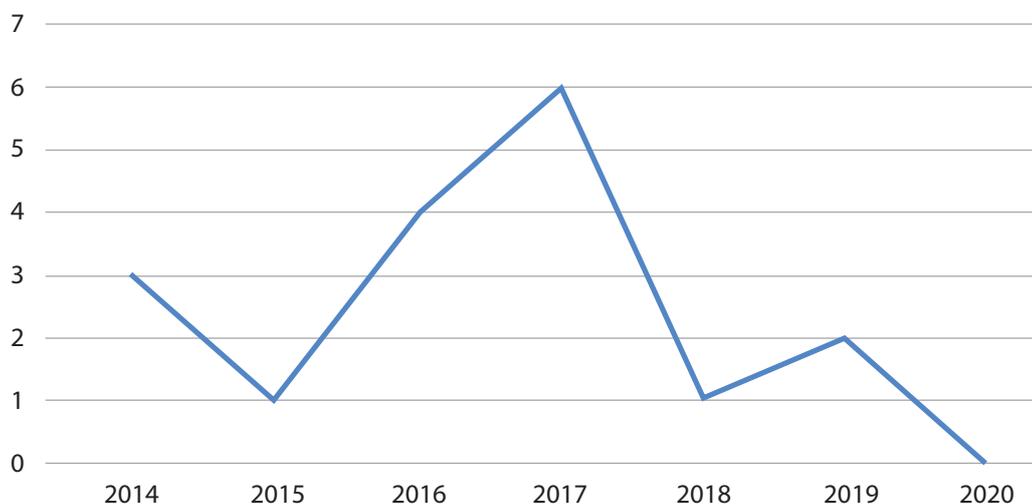


Figura 4. Cantidad de artículos por año



Escenarios de vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías

Los seis escenarios presentados en este trabajo provienen de la apreciación de los autores. Los escenarios no son disjuntos, pueden estar contenidos unos dentro de otros, como es el caso del escenario E1, imprescindible para la correlación entre los dos modelos de datos que se abordan. A continuación, se analizan las tendencias encontradas en cada uno de los escenarios.

Mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa (E1)

El mapeo surgió por la necesidad de transformar las bases de datos relacionales a ontologías y así proporcionarles semántica formal a los datos explícitamente (May, 2017). La Web Semántica ha sido uno de los grandes impulsores de la transformación de bases de datos relacionales a ontologías y, con ello, de los algoritmos de mapeo. El mapeo de una base de datos hacia una ontología es un proceso en el que la semántica implícita de un esquema de base de datos se correlaciona con la estructura de conocimiento explícita y formal de la ontología (Zdravkovi et al., 2013). Aunque se han desarrollado múltiples algoritmos de mapeo el problema principal continúa siendo su automatización. La mayoría de los enfoques que aún se ofrecen son mapeos semiautomáticos (May, 2017).

Uno de los temas que merece especial atención dentro del mapeo es la estrategia a utilizar para el poblado de los datos de la base de datos relacional en la ontología. Dos enfoques se presentan en la literatura: población impulsada por consultas y exportación masiva o volcado masivo (Zdravkovi et al., 2013). En el primer enfoque, se realizan consultas que permiten poblar la ontología con instancias en el momento en que se realiza la consulta semántica sobre la ontología. El segundo enfoque, mantiene la correspondencia completa entre los datos de las tablas de la base de datos y los individuos de la ontología. Este segundo enfoque origina mayores problemas de rendimiento en los procesos de razonamiento debido al gran tamaño de la ontología (Zdravkovi et al., 2013). Para el poblado de las ontologías se han desarrollado marcos

de trabajo tales como: Jena (Ameen et al., 2014), OWL API (Horridge y Bechhofer, 2011) y M2O (Pop et al., 2015).

El mapeo en el sentido inverso también ha sido trabajado con el propósito, principalmente, de utilizar las bases de datos relacionales como medio de almacenamiento de las ontologías. Una base de datos relacional proporciona capacidades de almacenamiento, consultas eficientes y una buena gestión de transacciones, por lo que ha sido un foco de atención durante años utilizar las bases de datos relacionales como forma de almacenamiento para las instancias de las ontologías. Existen tres tipos de métodos de almacenamiento: horizontal, vertical y de descomposición. Tao et al. (2016) propusieron un nuevo método de almacenamiento de tipo descomposición, argumentando que la tendencia actual es desarrollar ese tipo de métodos.

Entre los lenguajes y herramientas utilizados para establecer la alineación (*mapping*) entre la base de datos relacional y las ontologías se encuentran D2RQ, Virtuoso RDF Graphs, Ultrawrap, Spyder, ontop, el estándar R2RML y RDF2OWL (Čerāns y Būmans, 2015). Hazber et al. (2019) presentaron una tabla comparativa de enfoques y herramientas de alineación entre bases de datos relacionales y ontologías. Entre los enfoques existentes, RDF2OWL y su correspondiente herramienta, han demostrado ser útiles para ontologías grandes. Sin embargo, para chequear la completitud y la validez de la alineación se recomienda utilizar otras herramientas tales como D2RQ (Bizer y Seaborne, 2004). El lenguaje RDB2OWL se basa en representar las correspondencias entre los elementos de la base de datos relacional y la ontología a través de anotaciones en los ficheros OWL. A continuación, en las Figuras 5 y 6 se ilustra un ejemplo de alineación entre una base de datos relacional y una ontología. A través de la anotación *rdb2owl:DBExpr* en el fichero OWL se hace corresponder la clase *Teacher* de la ontología a la tabla *XTeacher* de la base de datos.

Figura 5. Tabla XTeacher

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
🔑	Teacher_ID	numeric(10, 0)	<input type="checkbox"/>
	Level_Code	varchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
	IDCode	varchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
	Name	varchar(40)	<input checked="" type="checkbox"/>
	Nat_Code	varchar(2)	<input checked="" type="checkbox"/>
	Salary	decimal(18, 2)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 6. Anotación RDB2OWL en el fichero OWL

```
<!-- http://lumii.lv/ontologies/UnivExample.owl#Teacher -->

<owl:Class rdf:about="http://lumii.lv/ontologies/UnivExample.owl#Teacher">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://lumii.lv/ontologies/UnivExample.owl#Person" />
  <rdb2owl:DBExpr>XTeacher</rdb2owl:DBExpr>
</owl:Class>
```

En la revisión del presente trabajo se pudo constatar que el 38 % de los artículos analizados abordan el mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa. En ese grupo de artículos clasificados por el tipo de propósito se tienen: tres cuantificaciones (C), dos propuestas conceptuales (PC) y una revisión (R). Clasificados por el tipo de fuente en que fueron publicados se tienen: dos en ACM Digital Library, uno en IEEEExplore, dos en ScienceDirect y uno en SpringerLink (ver Tabla 3).

Tabla 3. Artículos del escenario E1

	ACM Digital Library	IEEEExplore	ScienceDirect	SpringerLink
E1 (2014)	1 (C)			1 (PC)
E1 (2016)			1 (C)	
E1 (2017)	1 (R)	1 (PC)		
E1 (2019)			1 (C)	
Total	2	1	2	1

Ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas (E2)

Hacia los últimos 10 años una enorme cantidad de información crece y se produce continuamente a un ritmo muy acelerado. La mayoría de esas fuentes de datos son heterogéneas, lo que dificulta la integración y el intercambio de los datos (May, 2017).

La integración de datos consiste en integrar datos que comparten semánticas comunes, pero fueron originados desde fuentes no relacionadas. Para lograr la integración es preciso resolver los problemas de heterogeneidad. La integración de datos implica, principalmente, dos tareas principales. La primera tarea es la integración a nivel de esquema, la cual resuelve las diferencias de homogeneización en los esquemas y la nomenclatura utilizada para representar los datos. La segunda tarea es la integración a nivel de datos, la cual resuelve los diferentes registros a integrar que se refieren a la misma entidad del mundo real. Las ontologías permiten resolver las dos tareas (Liu y Gao, 2018). El mapeo de bases de datos relacionales a ontologías (E1) se considera un caso de integración de datos (Liu y Gao, 2018).

Las ontologías se utilizan ampliamente en la integración de datos, ya que permiten representar el conocimiento como una descripción formal de un dominio de interés (Liu y Gao, 2018). Dentro de la Web Semántica se definen los conceptos y las relaciones que hacen posible la interoperabilidad global (Urrutia et al., 2017).

La Web Semántica puede considerarse como un sistema abierto y distribuido. Como tal, el problema de la heterogeneidad ha sido crítico para ser abordado. Se ha tenido en cuenta la interoperabilidad entre las diversas metodologías de mapeos para soportar diferentes fuentes de datos (May, 2017).

En la revisión del presente trabajo se pudo constatar la importancia de las ontologías para lograr la integración entre bases de datos relacionales heterogéneas. El 38 % de los artículos analizados abordan ese tema. En ese grupo de artículos clasificados por el tipo de propósito se tienen: dos cuantificaciones (C), una propuesta conceptual (PC), una revisión (R) y dos pruebas de conceptos (PRC). Clasificados por el tipo de fuente en que fueron publicados se tienen: tres en ACM Digital Library, uno en IEEEExplore, uno en ScienceDirect y uno en SpringerLink (ver Tabla 4).

Tabla 4. Artículos del escenario E2

	ACM Digital Library	IEEEExplore	ScienceDirect	SpringerLink
E2 (2014)				1(PC)
E2 (2016)			1(C)	
E2 (2017)	1(R), 1(C), 1(PRC)	1(PRC)		
Total	3	1	1	1

Acceso a datos basado en ontologías (OBDA) (E3)

Los sistemas OBDA se encuentran en la categoría de sistemas de información impulsados por ontologías (Soylu et al., 2016). El paradigma de Acceso a Datos Basado en Ontologías (OBDA) proporciona una comunicación cómoda entre los usuarios del negocio y los desarrolladores. Las ontologías proporcionan una abstracción lógica del negocio independiente de cómo y dónde se almacenan los datos físicamente. Consiste en tres componentes: una ontología objetivo, un fichero de mapeo y las consultas. Las consultas son definidas en términos de la abstracción lógica de la ontología en lugar de la estructura física de la base de datos (Capsenta y Miranker, 2017).

Los sistemas OBDA tienen dos enfoques para su implementación: materialización y virtualización. La materialización consiste en crear un almacén de tripletas en formato RDF a partir de las bases de datos de origen. Las consultas se realizan con el lenguaje SPARQL sobre el almacén de tripletas RDF (Sequeda y Miranker, 2013). En el enfoque de virtualización, las consultas en SPARQL se reescriben en consultas SQL y los datos permanecen en su lugar con su estructura original (Gorskis et al., 2016). Los datos apropiados son virtualizados en formato RDF mediante una capa adicional de ontologías. En caso de existir más de una fuente de datos se realizan consultas federadas (Capsenta y Miranker, 2017; Soyly et al., 2016). Específicamente, la federación se considera otro beneficio del paradigma OBDA que consiste en integrar fuentes de datos distribuidas con esquemas diferentes. El uso de las tecnologías y estándares de la Web Semántica hace posible aplicar e integrar el enfoque OBDA en un contexto más amplio como el de los datos públicos disponibles en la Web (por ejemplo los datos enlazados) (Soyly et al., 2016). Con el enfoque OBDA, un sistema tradicional de bases de datos se transforma en una base de conocimiento con una arquitectura de múltiples capas coherente con el principio de independencia de los datos (Capsenta y Miranker, 2017).

Los desafíos actuales que presenta OBDA coinciden con dos áreas de investigación abiertas en este ámbito: ingeniería de ontologías e ingeniería de mapeo (Capsenta y Miranker, 2017). Incluso, ambos en el enfoque OBDA tienen mayor relevancia debido al gran tamaño que tienen las bases de datos relacionales. Dentro de la ingeniería ontológica, uno de los desafíos está relacionado con las capacidades de razonamiento distribuido en ontologías modulares con importaciones dinámicas (Soyly et al., 2016).

En la revisión del presente trabajo se pudo constatar que este campo es un área de investigación abierta. El 19 % de los artículos analizados abordan explícitamente el paradigma de Acceso a Datos Basado en Ontologías (OBDA). En ese grupo de artículos clasificados por el tipo de propósito se tienen tres propuestas conceptuales (PC). Clasificados por el tipo de fuente en que fueron publicados se tienen: uno en IEEEExplore, uno en ScienceDirect y uno en SpringerLink (ver Tabla 5).

Tabla 5. Artículos del escenario E3

	IEEEExplore	ScienceDirect	SpringerLink
E3 (2016)		1(PC)	1(PC)
E3 (2017)	1(PC)		
Total	1	1	1

Consultas en lenguaje natural basado en ontologías (E4)

Las consultas en lenguaje natural constituyen una de las vías más sugerentes para ampliar el acceso a los datos. Google es un ejemplo fehaciente de ello. Sin embargo, para consultar una base de datos relacional es preciso conocer un lenguaje estructurado. Los esfuerzos actuales que se realizan en ese sentido se basan en utilizar las ontologías para permitir la realización de consultas en lenguaje natural y, con ello, ampliar el acceso a los datos.

En la formulación de interfaces en lenguaje natural se utilizan las ontologías como un medio natural de acceso a las fuentes de datos tradicionales (Soylu et al., 2016). En los sistemas para el procesamiento de consultas en lenguaje natural sobre bases de datos relacionales, las ontologías se construyen específicas para cada base de datos y su aporte principal está en el análisis semántico. Las ontologías permiten reconocer las relaciones entre las palabras de la cadena de búsqueda y la base de datos (Sujatha y Raju, 2016).

A su vez las ontologías son responsables de convertir las palabras ingresadas por el usuario en expresiones del lenguaje formal. Normalmente, este tipo de sistemas operan con *corpus* de palabras. Todos los idiomas tienen dos categorías de palabras: las de contenido y las de función. Las palabras de contenido son: verbos, sustantivos, adjetivos y adverbios. Mientras que las palabras de función son: preposiciones, conjunciones, pronombres e interjecciones. Cada idioma tiene repositorios de palabras de contenido y de función (Sujatha y Raju, 2016). Además, las ontologías deben procesar las frases que requieren un procesamiento matemático, por ejemplo: menor que, igual a, entre otras (Sujatha y Raju, 2016).

La creación de interfaces en lenguaje natural basada en ontologías sobre bases de datos relacionales con altos niveles de recuperación y precisión continúa siendo un problema de investigación. Se necesitan sistemas que puedan abordar la robustez y la escalabilidad de las aplicaciones, así como la internalización en diferentes idiomas (Soylu et al., 2016). Este tipo de sistema está obligado a mitigar la cobertura incompleta de los lenguajes, así como otros múltiples desafíos (Sujatha y Raju, 2016).

En la revisión del presente trabajo se pudo constatar que este campo es un área de investigación abierta. El 13 % de los artículos analizados abordan el tema de las consultas en lenguaje natural basado en ontologías. Uno de los motivos por los cuales el porcentaje no es alto es que este tema, usualmente, se combina en las publicaciones con el paradigma de Acceso a Datos Basado en Ontologías (OBDA) y en esta investigación se ha querido analizar por separado. En ese grupo de artículos clasificados por el tipo de propósito se tienen: una propuesta conceptual (PC) y una cuantificación (C). Clasificados por el tipo de fuente en que fueron publicados se tienen: uno en ScienceDirect y uno en SpringerLink (ver la Tabla 6).

Tabla 6. Artículos del escenario E4

	ScienceDirect	SpringerLink
E4 (2016)	1(C)	1(PC)
Total	1	1

Aprendizaje ontológico a partir de bases de datos relacionales (E5)

El objetivo principal de los métodos de aprendizaje de ontología es derivar automáticamente una ontología de los datos existentes. La creación automática de ontologías putativas a partir de bases de datos relacionales está implícita en los esfuerzos de mapeo (escenario E1) y en la mayoría de los sistemas de acceso a datos basados en ontologías (escenario E3) (Gorskis et al., 2016).

Los estudios más recientes sobre la generación de ontologías a partir de bases de datos relacionales se han orientado a reducir al mínimo posible la intervención del usuario. En uno de los enfoques analizados en la revisión se logró que la transformación pueda ser reversible, manteniendo las relaciones de claves externas y primarias de las tablas. En ese enfoque se usa el vocabulario RDFS en lugar de RDF, lo que le proporciona un mayor nivel de expresividad a la ontología generada. La transformación en el enfoque se logra sin la intervención del usuario (Thi et al., 2014).

Cuando se utiliza como entrada del proceso de generación de ontologías únicamente a la base de datos relacional, dos elementos que en ella no estén relacionados nunca podrán relacionarse en la ontología. En ese sentido, un elemento importante ha sido utilizar otras ontologías o tesauros externos que puedan aportarle semántica a la base de datos relacional que se desea transformar. En uno de los artículos analizados se utilizó el tesauro WordNet (Miller, 1995) para obtener otras relaciones (Thi et al., 2014).

En la revisión del presente trabajo se pudo constatar que, en la mayoría de las investigaciones en que se obtienen ontologías a partir de bases de datos relacionales, están presentes esfuerzos para minimizar al máximo posible la intervención del usuario y, con ello, lograr el aprendizaje ontológico. El 19 % de los artículos analizados abordan ese tema. En ese grupo de artículos clasificados por el tipo de propósito se tienen: una propuesta conceptual (PC) y dos cuantificaciones (C). Clasificados por el tipo de fuente en que fueron publicados se tienen: dos en ACM Digital Library y uno en ScienceDirect (ver la Tabla 7).

Tabla 7. Artículos del escenario E5

	ACM Digital Library	ScienceDirect
E5 (2014)	1(C)	
E5 (2016)		1(PC)
E5 (2018)	1(C)	
Total	2	1

Aporte semántico mediante ontologías (E6)

En este escenario se agrupan los trabajos en los cuales el aporte de las ontologías lo recibe directamente la base de datos relacional. Uno de los escenarios en que se vinculan las ontologías

para aportarle semántica a las bases de datos relacionales es en el proceso de enriquecimiento de una base de datos relacional. En una organización, usualmente, se tiene una base de datos por cada uno de los sistemas de información. Por ejemplo, en un hospital donde hay dos sistemas informáticos, uno para la atención a los pacientes y otro para la gestión contable, se tienen dos bases de datos respectivas que a la vez tienen ciertas similitudes. Utilizando el enriquecimiento se pueden integrar ambas en una única base de datos objetivo o se pueden actualizar una a partir de la otra. El proceso de enriquecimiento es guiado por ontologías (Nakhla y Nouira, 2017).

Nakhla y Nouira (2017) propusieron un enfoque novedoso de enriquecimiento de bases de datos que permite, a diferencia de los enfoques que le precedieron, realizar un enriquecimiento completo de la base de datos de forma automática. Para ello, utilizaron un conjunto de reglas incorporadas a una ontología que le permitieron comparar los registros y la estructura de la base de datos.

Las ontologías también permiten hacer evaluaciones de calidad de las bases de datos relacionales. La limpieza de datos se define como el proceso de detectar y corregir errores en bases de datos, implementando una ontología para clasificar los tipos de errores sintácticos y semánticos. El proceso de limpieza de los datos tiene gran significación en entornos de integración de datos. Urrutia y Chávez (2017) definieron un proceso flexible de eliminación de anomalías en los datos. En ese proceso se utilizaron las métricas de calidad: existencia, unicidad y consistencia incorporadas en una ontología, se insertaron los datos en la ontología y mediante un proceso de inferencia se realizó una evaluación automática de la base de datos (Urrutia et al., 2017).

En sentido general, las ontologías son muy útiles para la representación del conocimiento. Reynoso y Cuevas utilizaron ontologías para representar conocimiento sobre resonancias magnéticas de diferentes partes del cuerpo humano. Las imágenes del inventario de resonancias se encontraban almacenadas en una base de datos. El uso de las ontologías automatizó la clasificación de las imágenes y facilitó su integración, consulta y visualización (Reynoso et al., 2015). Asimismo, López, Hidalgo y Silega (2016), presentaron un método para la integración de ontologías y sistemas relacionales que utiliza las ontologías para enriquecer semánticamente una base de datos relacional de créditos bancarios. El método consta de siete actividades que comprenden: el desarrollo en paralelo del modelo relacional y el modelo ontológico, el poblado del modelo ontológico a partir de los datos almacenados en la base de datos relacional, la inferencia de conocimiento en el modelo ontológico y su inserción en el modelo relacional. El método constituye un ejemplo de la complementariedad que se obtiene de la integración de las bases de datos relacionales y las ontologías.

En la revisión del presente trabajo se pudo constatar que las ontologías son una técnica poderosa para la representación del conocimiento. El 25 % de los artículos analizados abordan el tema de utilizar las ontologías para aportarle semántica a las bases de datos relacionales. En ese grupo de artículos clasificados por el tipo de propósito se tienen: una propuesta conceptual (PC), una cuantificación (C) y dos pruebas de conceptos (PRC). Clasificados por el tipo de fuente en la que fueron publicados se tienen: dos en IEEExplore, uno en ScienceDirect y uno en SpringerLink (ver la Tabla 8).

Tabla 8. Artículos del escenario E6

	IEEEExplore	ScienceDirect	SpringerLink
E6 (2014)			1(PC)
E6 (2015)	1(PRC)		
E6 (2017)	1(PRC)	1(C)	
Total	2	1	1

4. Conclusiones y recomendaciones

En el mapeo sistemático realizado en la presente investigación se identificaron artículos que vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías. Esos artículos fueron clasificados en cuanto a: 1) el escenario de vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías abordado, 2) el tipo de propósito de la investigación y 3) la fuente en la que fue publicado. Las respuestas de las preguntas de la investigación son presentadas seguidamente.

PI 1: ¿Cuáles son los estudios que se han realizado en que se vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías? De los 40 artículos encontrados se seleccionaron 16 que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión definidos. La mayor parte de los artículos desechados se enfocaron únicamente a las ontologías o las relacionaban con bases de datos no relacionales.

PI 2: ¿Cuáles son los escenarios abordados sobre la vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías en cada uno de los trabajos? A partir de la lectura de los artículos seleccionados se definieron seis escenarios en que se vinculan las bases de datos relacionales y las ontologías con el objetivo de brindar una mejor integración, consulta y visualización de los datos almacenados. Los escenarios identificados fueron: mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa (E1), ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas (E2), acceso a datos basado en ontologías (OBDA) (E3), consultas en lenguaje natural basado en ontologías (E4), aprendizaje ontológico a partir de bases de datos relacionales (E5) y aporte semántico mediante ontologías (E6). En la clasificación realizada, el mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa (E1), así como la utilización de las ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas (E2) fueron los escenarios con mayor presencia para un 38 % cada uno, mientras que el escenario de las consultas en lenguaje natural basada en ontología (E4) fue el escenario con menor presencia para un 13 %. Por cada uno de los escenarios se delimitaron tendencias (T) y desafíos (D) que a continuación se mencionan.

Mapeo de bases de datos relacionales a ontologías y viceversa (E1)

- El 38 % de los artículos revisados abordaron este escenario, lo que evidencia la vigencia del tema.
- (D) aunque se han desarrollado múltiples algoritmos de mapeo, la mayoría de los enfoques ofrecen mapeos semiautomáticos y el problema principal continúa siendo su automatización.
- (T) dentro de los dos tipos de poblado de ontologías analizados se considera el poblado impulsado por consultas como el más factible.
- (T) dentro de los tres métodos analizados para el almacenamiento de ontologías en bases de datos relacionales: vertical, horizontal y de descomposición, la tendencia actual está enfocada en el método de descomposición.

Ontologías para la integración de fuentes de datos heterogéneas (E2)

- El 38 % de los artículos revisados abordaron este escenario, lo que evidencia la vigencia del tema.
- (T) las ontologías permiten resolver las dos tareas que abarca la integración de las bases de datos relacionales: integración a nivel de esquema y a nivel de datos.

Acceso a datos basado en ontologías (OBDA) (E3)

- El 19 % de los artículos revisados abordaron este escenario, lo que evidencia la vigencia del tema.
- (D) los desafíos actuales que presenta OBDA coinciden con dos áreas de investigación abiertas en este ámbito: ingeniería de ontologías e ingeniería de mapeo, aquí con mayor relevancia debido al gran tamaño que tienen las bases de datos relacionales.

Consultas en lenguaje natural basado en ontologías (E4)

- El 13 % de los artículos revisados abordaron este escenario, lo que evidencia la vigencia del tema.
- (D) se necesitan sistemas robustos y escalables, así como la internalización en diferentes idiomas.
- (D) este tipo de sistemas está obligado a mitigar la cobertura incompleta de los lenguajes.

Aprendizaje ontológico a partir de bases de datos relacionales (E5)

- El 19 % de los artículos revisados abordaron este escenario, lo que evidencia la vigencia del tema.
- (T) los estudios más recientes sobre la generación de ontologías a partir de bases de datos relacionales se han orientado a reducir al mínimo posible la intervención del usuario.
- (T) un elemento importante ha sido utilizar otras ontologías o tesauros externos para obtener relaciones que complementen las explícitas de la base de datos relacional.

Aporte semántico mediante ontologías (E6)

- El 25 % de los artículos revisados abordaron este escenario, lo que evidencia la vigencia del tema.
- (T) en el empleo de las ontologías como complemento semántico de las bases de datos relacionales se constataron diferentes usos en la revisión, dentro de ellos: el enriquecimiento, la evaluación de la calidad y la clasificación de los datos.

PI 3 ¿Dónde fue publicado cada uno de los estudios? En ACM Digital Library y en ScienceDirect fueron publicados el 31 % de los artículos seleccionados en cada una de ellas, mientras que en IEEEExplore y en SpringerLink fueron publicados el resto para un 19 % en cada una.

PI 4 ¿Cuál es el propósito de cada estudio? De los artículos revisados se clasificaron siete como cuantificación (C) para un 44 %, cinco como propuesta conceptual (PC) para un 31 %, tres como prueba de concepto (PRC) para un 19 % y uno como revisión (R) para un 6 %.

Luego de respondidas las preguntas de la investigación se puede concluir que, la vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías parten de la existencia de una gran cantidad de sistemas legados con bases de datos relacionales y la necesidad de manipular semánticamente esos datos con apoyo de las ontologías. En el trabajo, se presentaron ejemplos que evidencian el esfuerzo dedicado por la comunidad científica para eliminar las brechas entre esos dos modelos de datos con el objetivo de aprovechar cada vez más su complementariedad.

Referencias

- Abbes, H.; Gargouri, F. (2017). MongoDB-Based Modular Ontology Building for Big Data Integration. *Journal on Data Semantics*, 7: 1-27. <https://doi.org/10.1007/s13740-017-0081-z>
- Ameen, A. et al. (2014). Reasoning in Semantic Web Using Jena. *Computer Engineering and Intelligent Systems*, 5(4): 39-48. <https://core.ac.uk/download/pdf/234644794.pdf>
- Bizer, C.; Seaborne, A. (2004). D2RQ-treating non-RDF databases as virtual RDF graphs. In Proceedings of the 3rd international semantic web conference (ISWC2004) (Vol. 2004). Springer. <https://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.126.2314>
- Capsenta, J. F. S.; Miranker, D. P. (2017). A Pay-As-You-Go Methodology for Ontology-Based Data Access. *IEEE Internet Computing*, 21(2): 92-96. <https://doi.org/10.1109/MIC.2017.46>
- Čerāns, K.; Būmans, G. (2015). RDB2OWL: a language and tool for database to ontology mapping. In Proceedings of the CAISE 2015 Forum at the 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE 2015), Kista, Sweden (81-88). <http://ceur-ws.org/Vol-1367/paper-11.pdf>
- Freitas, R., et al. (2017). Using linked data in the data integration for maternal and infant death risk of the SUS in the GISSA Project. In Proceedings of the 23rd Brazillian Symposium on Multimedia and the Web (193-196). <https://doi.org/10.1145/3126858.3131606>
- Gorskis, H.; Aleksejeva, L.; Polaka, I. (2016). Database Analysis for Ontology Learning. *Procedia Computer Science*, 102: 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.377>
- Haw, S. C.; May, J. W. (2017). Mapping Relational Databases to Ontology Representation: A Review. In Proceedings of the International Conference on Digital Technology in Education, 54-58. <https://doi.org/10.1145/3134847.3134852>
- Hazber, M. A., et al. (2019). A survey: Transformation for integrating relational database with semantic Web. In Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences (66-73). <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3312662.3312692>
- Horrige, M.; Bechhofer, S. (2011). The OWL API: A Java API for OWL Ontologies. *Semantic Web*, 2(1): 11-21. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.678.6080&rep=rep1&type=pdf>
- Karimi, H.; Kamandi, A. (2019). PT US CR. Expert Systems With Applications, 125: 412-424. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.02.014>
- Liu, X.; Gao, F. (2018). An Approach for Learning Ontology from Relational Database. Proceedings of the 2018 International Conference on Algorithms, Computing and Artificial Intelligence. <https://doi.org/10.1145/3302425.3302495>
- López Rodríguez, Y. A.; Hidalgo Delgado, Y.; Silega Martínez, N. (2016). Método para la integración de ontologías en un sistema para la evaluación de créditos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(4): 97-111. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992016000400007
- Maran, V.; Medeiros, G.; Machado, A. (2017). Database Ontology-Supported Query for Ubiquitous Environments. In Proceedings of the 23rd Brazillian Symposium on Multimedia and the Web, 185-188. <https://doi.org/10.1145/3126858.3131575>
- Miller, G. A. (1995). WordNet: A Lexical Database for English. *Communications of the ACM*, 38(11): 39-41. <https://doi.org/10.1145/219717.219748>

- Nakhla, Z.; Nouria, K. (2017). Automatic approach to enrich databases using ontology: Application in medical domain. *Procedia Computer Science*, 112: 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.221>
- Petersen, K.; Vakkalanka, S.; Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering : An update. *Information and software technology*, 64: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Pop, C., et al. (2015). M2O: A Library for Using Ontologies in Software Engineering. *Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*: 69-75. <https://doi.org/10.1109/ICCP.2015.7312608>
- Reynoso, J. L., et al. (2015). Automatic Mapping Magnetic Resonance Images into Multimedia Database Using SIFT. *IEEE Latin America Transactions*, 13(8): 2709-2714. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7332153>
- Seo, D., et al. (2014). Development of Korean spine database and ontology for realizing e-Spine. Cluster computing. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10586-013-0344-x>
- Sequeda, J. F.; Miranker, D. P. (2013). Ultrawrap: SPARQL execution on relational data. *Journal of Web Semantics*, 22: 19-39. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2013.08.002>
- Soylu, A., et al. (2016). Ontology-based end-user visual query formulation: Why, what, who, how, and which? *Universal Access in the Information Society*, 16: 435-467 <https://doi.org/10.1007/s10209-016-0465-0>
- Studer, R.; Benjamins, V. R.; Fensel, D. (1998). Knowledge Engineering : Principles and Methods. *Data and Knowledge engineering*, 25(1): 161-197. [https://doi.org/10.1016/S0169-023X\(97\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6)
- Sujatha, B.; Raju, S. V. (2016). Ontology Based Natural Language Interface for Relational Databases. *Procedia Computer Science*, 92: 487-492. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.372>
- Tao, M.; Ota, K.; Dong, M. (2016). Ontology-based Data Semantic Management and Application in IoT- and Cloud-Enabled Smart Homes. *Future Generation Computer Systems*, 76: 528-539 <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.012>
- Thi, P., et al. (2014). RDB2RDF : Completed Transformation from Relational Database into RDF Ontology. In Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 88. <https://doi.org/10.1145/2557977.2558083>
- Tonella, P., et al. (2007). Empirical studies in reverse engineering : state of the art and future trends. *Empirical Software Engineering*, 12(5): 551-571. <https://doi.org/10.1007/s10664-007-9037-5>
- Urrutia, A., et al. (2017). An Ontology to Assess Data Quality Domains. A Case Study Applied to a Health Care Entity. *IEEE Latin America Transactions*, 15(8): 1506-1512. <https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7994799>
- Zdravkovi, M., et al. (2013). Explication and semantic querying of enterprise information systems. *Knowledge and information systems*, 40(3): 697-724. <https://doi.org/10.1007/s10115-013-0650-x>

Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión

(Advanced Oxidation as an Alternative Treatment for Wastewater. A Review)

Miguel Ángel López Ramírez¹, Olaya Pirene Castellanos Onorio², Fabiola Lango Reynoso³, María del Refugio Castañeda Chávez⁴, Jesús Montoya Mendoza⁵, Cinthya Alejandra Sosa Villalobos⁶, Benigno Ortiz Muñiz⁷.

Resumen

Cada año se vierten millones de metros cúbicos de aguas residuales a los cuerpos de agua, las cuales son tratadas de forma inadecuada, siendo estos procedimientos ineficientes para alcanzar lo requerido por la ley o para uso dentro de los procesos industriales. En estos casos, y debido a la escasez del hídrico, se está recurriendo al uso de los procesos de oxidación avanzada como tratamiento alternativo. Estos procesos se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, involucrando la generación y uso de especies transitorias de gran poder oxidante, principalmente el radical hidroxilo, el cual puede ser generado por medios fotoquímicos o por otras formas de energía y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Esta revisión tiene como objetivo realizar un análisis de la influencia de los tratamientos en el proceso de descontaminación.

Palabras clave

Aguas residuales, tratamiento alternativo, procesos de oxidación avanzada.

Abstract

Every year millions of cubic meters of wastewater are discharged into water bodies, which are treated in an inadequate way, these procedures being inefficient to achieve what is required by law or for use within industrial processes. In these cases, and due to the scarcity of water, the use of advanced oxidation processes is being used as an alternative treatment, which are based on physicochemical processes capable of producing profound changes in the chemical structure of pollutants, involving the generation and the use of transitory species with great oxidizing power, mainly the hydroxyl radical, which can be generated by photochemical means or by other forms of energy, and is highly effective in the oxidation of organic matter. This review aims to perform an analysis of the influence of treatments on the decontamination process.

Keywords

Wastewater, alternative treatment, advanced oxidation processes.

- 1 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. México. [malopez@tecmartinez.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5841-0668>]
- 2 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz. México. [olaya.co@veracruz.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-3510-2640>]
- 3 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Río. México. [fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0001-8359-434X>]
- 4 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Río. México. [mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9209-0431>]
- 5 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Río. México. [jesusmontoya@bdelrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7598-7300>]
- 6 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Río. México. [cinthyasosa@bdelrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-2855-9311>]
- 7 Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz. México. [benigno.om@veracruz.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5211-9175>]

1. Introducción

De la cantidad total de agua existente en la Tierra tan solo el 1,0 % es potable. Un mal tratamiento de esta ha causado problemas sanitarios y enfermedades asociadas a comunidades enteras, ya que 80 % de las enfermedades que azotan a los países en vía de desarrollo son ocasionadas por un abastecimiento de agua deficiente (Sarria et al., 2005). El acceso al agua potable es un derecho imprescindible, ya que satisface las necesidades básicas referidas a la salud y las condiciones de vida de las poblaciones humanas, expresado por el derecho de gozar de altas coberturas en los servicios de agua y saneamiento. Sin embargo, a nivel mundial aún se identifican deficiencias en la calidad de la prestación de los servicios, organización, ausencia de planificación e insuficiente inversión que puedan garantizar, a medio y largo plazo, el sostenimiento de las coberturas en los servicios de agua y saneamiento en numerosos países.

A pesar de la limitación para obtenerla en una calidad aceptable, el agua es el elemento central de todos los procesos vitales, sociales y económicos que forman parte de un ciclo cerrado. Este ciclo se encuentra en crisis, debido a que el incremento y desarrollo de la sociedad de consumo exige un aumento constante de las actividades industriales y agroindustriales (Sarria et al., 2005)

Este creciente problema exige un riguroso control de la contaminación y una legislación cada vez más exigente. Como respuesta a ello, y dada la incapacidad de los métodos convencionales para remover efectivamente muchos de los contaminantes existentes, en los últimos años se ha presentado una intensa búsqueda de nuevas y eficientes tecnologías de tratamiento de aguas (Ollis y Al-Ekabi, 1983). Y, debido a la progresiva demanda de la sociedad para la descontaminación de aguas contaminadas de diversos orígenes, se han materializado regulaciones cada vez más estrictas.

En la práctica, la aplicación de los métodos de tratamiento debe tener en cuenta, fundamentalmente, la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas de las aguas o efluentes a tratar (Water Treatment Handbook, 1991). En general, las aguas contaminadas por la actividad humana pueden ser procesadas eficientemente por plantas de tratamiento biológico, por adsorción con carbón activado u otros adsorbentes o por tratamientos químicos convencionales (oxidación térmica, cloración, ozonización, permanganato de potasio, entre otros.). Sin embargo, en algunos casos estos procedimientos resultan inadecuados para alcanzar el grado de pureza requerido por ley o por el uso ulterior del efluente tratado. En estos casos, y debido a la escasez del hídrico, en los países industrializados se está recurriendo al uso de las llamadas tecnologías o procesos de oxidación avanzada (TOA, POA), los cuales son muy poco aplicados y, peor aún, menos difundidos en los países de economías emergentes como los de América Latina. La mayoría de POA pueden aplicarse a la remediación y detoxificación de aguas especiales, generalmente en pequeña o mediana escala. Los métodos pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales, pudiendo ser aplicados también a contaminantes de aire y suelos e incluso permiten la desinfección por inactivación de bacterias y virus.

A continuación se describirán los fundamentos básicos de POA.

2. Procesos de oxidación avanzada

2.1. Fundamentos de la oxidación química

Históricamente, la contaminación antropogénica de las aguas se ha tratado con métodos convencionales como los procesos biológicos, floculación-precipitación, cloración o adsorción en carbón activo, por citar algunas tecnologías de uso común. Sin embargo, en ciertas ocasiones este tipo de tecnologías no son eficientes, bien sea por la alta toxicidad del efluente a tratar, porque con las tecnologías disponibles no es posible alcanzar los requerimientos de vertido requeridos o, simplemente, por la diversa cantidad de contaminantes que esta contiene, siendo cada vez más común la presencia de compuestos persistentes en las aguas de consumo, aguas superficiales o en los efluentes de las depuradoras (Ikehata, 2008). Esta es una prueba irrefutable de la necesidad de procesos más intensivos en la destrucción de sustancias contaminantes.

En las últimas décadas, las tecnologías de oxidación avanzada se han consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias tóxicas, incluyendo las orgánicas, inorgánicas, metales o patógenos. En general, en el tratamiento de aguas las tecnologías de oxidación avanzada se utilizan cuando los efluentes contaminados tienen una alta estabilidad química o una baja biodegradabilidad (Poyatos et al., 2010). Es cada vez más común el uso de la oxidación avanzada en los tratamientos terciarios y, especialmente, en las plantas depuradoras de ciertas industrias. Estas tecnologías se han utilizado en la remediación de suelos contaminados, aguas subterráneas o superficiales y sustancias gaseosas (USEPA, 1998; Gogate y Pandit, 2004).

Actualmente, los estudios se enfocan en la búsqueda de valores óptimos para los diferentes parámetros que afectan el proceso de oxidación: pH, temperatura, diseño del reactor, naturaleza y concentración del contaminante y agentes oxidantes que puedan mejorar la reacción. Además, se estudia con detalle la cinética de reacción, que generalmente es de primer orden, con respecto a la concentración de radicales hidroxilos ($^{\circ}\text{OH}$) y a la concentración de las especies a ser oxidadas. Generalmente, las velocidades de reacción están en el rango de 10^8 - 10^{11} $\text{L mol}^{-1} \text{s}^{-1}$ y la concentración de radicales $^{\circ}\text{OH}$ está entre 10 - 12 mg L^{-1} , variable que juega un papel muy importante en la real aplicación del proceso (Arslan-Alaton, 2003).

Los radicales $^{\circ}\text{OH}$ se generan *in situ* por la aplicación directa o por la combinación de agentes oxidantes como el ozono, el peróxido de hidrógeno, la radiación ultravioleta o las sales férrico/ferrosas, entre otras. Entre la gran variedad de tecnologías disponibles las más comunes son: la combinación UV y peróxido ($\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$) (Li et al., 2011), el reactivo Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) (Gogate, 2010) y dos de sus variantes como el foto-Fenton (Saatci et al., 2010) y el hierro cero-valente (Fe^0) (Kallel, 2009), que es una combinación de las anteriores, o la fotocatalisis (UV/TiO_2) (Ovhal, 2010). La continua innovación de estas tecnologías está propiciando nuevos desarrollos con la aplicación de microondas (Zhao, 2011), nuevos catalizadores, ultrasonidos (Khatri, 2011; Mahamuni, 2010), entre otros. Una de las posibles formas de clasificación de este tipo de tecnologías la ofrece Poyatos (2010) que distingue, principalmente, las tecnologías homogéneas y heterogéneas. Tal como se muestra en la figura 1.

Existen otras tecnologías que pueden incluirse entre POA como el tratamiento con barreras permeables reactivas de Fe metálico (Deng et al., 1999) y la oxidación con K_2FeO_4 (Fe^{3+}). Sin embargo, en esta revisión nos referiremos solo a aquellas tecnologías que involucran principalmente al radical $^{\circ}\text{OH}$.

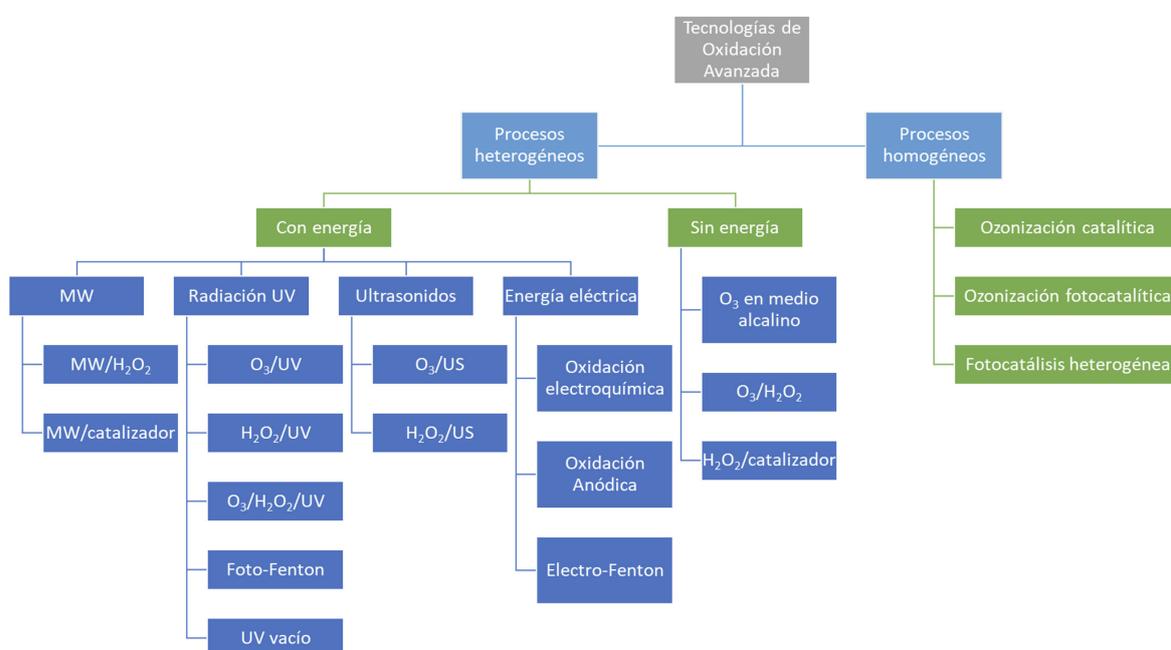
En la tabla 1 se muestran las principales tecnologías de oxidación avanzada, algunas de las cuales son evaluadas a escala nivel laboratorio y planta piloto.

Tabla 1. Principales tecnologías de procesos de oxidación avanzada

Tecnología de oxidación avanzada	Proceso
Ozonificación/Peróxido de hidrógeno	Oxidación en agua sub/supercrítica, Fotólisis ultravioleta-vacío (UV-V)
Procesos Fenton	Ultravioleta/peróxido de hidrógeno
Oxidación electroquímica	Ultravioleta/ozono

Fuente: Forero et al., 2005.

Figura 1. Clasificación de las tecnologías de oxidación avanzada a presiones y temperaturas ambientales



Fuente: Sanz et al., 2013.

2.2. Ozonización/Peróxido de hidrógeno

El ozono es un gas incoloro, de olor fuerte, con alto poder oxidante ($E_0=2.08V$). Es la forma triatómica del oxígeno y en fase acuosa se descompone rápidamente a oxígeno y especies radicales (Teixeira, 2002). El primer trabajo utilizando ozono como desinfectante fue hecho por De Mertens en 1886. Sin embargo, solamente hasta 1973, durante el primer Simposio Internacional en Ozono realizado en Washington, se usó la terminología 'Tecnologías de oxidación avanzadas' (Rodríguez et al., 2008). El ozono ha sido estudiado varios años atrás, principalmente en tratamiento de agua para abastecimiento. Sin embargo, dada su reconocida capacidad de oxidar compuestos de difícil tratabilidad, su utilización en diferentes efluentes industriales está siendo cada vez más citada en la literatura. Por ejemplo, en varios trabajos se reporta su aplicación en

el tratamiento de los efluentes industriales de la industria de papel y celulosa (Mounteer, 2005). Azbar et al. (2004) trabajaron en la degradación de algunos compuestos presentes en efluentes de la industria textil. Además, también se ha utilizado para remoción de algunos pesticidas y compuestos fenólicos presentes en trazas (Lopez-Lopez, 2007).

La aplicación de ozono favorece la remoción del color con eficiencias de remoción entre 95 % y 97 %, tratando efluentes de la industria de pulpa y papel (Pokhrel y Viraraghavan, 2004). Sin embargo, en lo que se refiere a la reducción de demanda química de oxígeno (DQO) o carbono orgánico total (COT) las eficiencias no exceden usualmente 50 % a 40 %, respectivamente (Agustina et al., 2005).

En la tabla de 2 se muestran las eficiencias en diversos tratamientos por ozonificación o adición de peróxido de hidrógeno.

Tabla 2. Eficiencias de reducción en proceso de oxidación por ozono/peróxido de hidrógeno.

Autor	Agua residual	Condiciones	Eficiencia
Gutiérrez et al., 2002	Agua de formación de crudo	Dosis de ozono: 30 mg L ⁻¹ Tiempo de reacción: no específica	Remoción del 49 % en DQO
Cokay-Catalkaya y Kargi, 2007	Industria de pulpa	Dosis de Ozono: 4.7 – 11.9 g h ⁻¹ Tiempo de reacción: 30 minutos pH: 3 – 11	Reducción de COT hasta un 29 %
Kreetachat et al., 2007	Derivados de la lignina	Dosis de ozono: 1.0 a 4.0 L min ⁻¹ Tiempo de reacción: no específica	Remoción de color del 90 %
Caviedes-Rubio, 2015	Agua con colorante azul	Dosis de H ₂ O ₂ : 0 a 816 mg pH: Neutro Tiempo de reacción: hasta 3 horas	Reducción del 91 % de la DQO
Cokay-Catalkaya y KArgi, 2007	Industria del papel	Dosis de H ₂ O ₂ : 170 a 3400 mg L ⁻¹ pH: 11 Presión: 254 mm de Hg	Reducción del 11 % respecto al COT
Adams y Kuzhikanil, 2000	Agua residual con Barquat y Bardac	Dosis de H ₂ O ₂ : 1000 mg L ⁻¹ . pH: 8 Presión: 254 mm de Hg	Reducción de DQO entre 20 y 30 %

2.3. Proceso Fenton

El proceso de oxidación Fenton se conoce por su alta efectividad en la descontaminación de aguas provenientes de la industria petroquímica, textil, farmacéutica, papelera, entre otras. (Babuponnusami y Muthukumar, 2014). Al emplear los procesos Fenton se puede obtener una degradación parcial o total de contaminantes inorgánicos y orgánicos persistentes, dando lugar a una disminución de la toxicidad del efluente (Durán Moreno et al., 2011).

El proceso Fenton fue descrito por primera vez en 1894 por Henry J. Fenton cuando descubrió que el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) podía activarse con iones ferrosos para oxidar ácido tartárico (Pignatello et al., 2006). Este proceso consiste en la adición de sales de hierro en presencia de H₂O₂, en medio ácido, para la formación de radicales °OH. A la combinación de H₂O₂ y sales de hierro se denomina reactivo Fenton (Ghosh et al., 2010).

A continuación, se muestra la disociación de las sales férricas y H_2O_2 en la ecuación 1 y la 2.



Además de formarse radicales ${}^{\circ}OH$ se generan radicales perhidroxilo (HO_2°), los cuales inician una reacción de oxidación en cadena para eliminar la materia oxidable. Sin embargo, los radicales HO_2° presentan menor poder de oxidación que los ${}^{\circ}OH$ (Domenech et al., 2004).

Diferentes autores coinciden en que el rendimiento del proceso de oxidación Fenton depende de la concentración del agente oxidante y catalítico, temperatura, pH y tiempo de reacción (Ghosh et al., 2010). Asimismo, la eficiencia está relacionada con la naturaleza del contaminante a degradar y con la presencia de otros compuestos orgánicos e inorgánicos (Kavitha y Palanivelu, 2004). En la tabla 3 se compila un breve resumen de las condiciones de reacción y porcentajes de degradación.

Tabla 3. Eficiencias de reducción en el proceso de oxidación Fenton

Autor	Agua residual	Condiciones	Eficiencia
Ibarra-Tazquez et al., 2018	Producción café soluble	pH: 3.73 Fe^{2+} : 500 mg L ⁻¹ H_2O_2 : 6000 mg L ⁻¹	80,5 % de remoción medida como DQO
Salas, C. 2010	Industria textil	pH: 3.73 Fe^{2+} : 200 mg L ⁻¹ H_2O_2 : 3612 mg L ⁻¹	97 % de remoción medida como DQO
San Sebastian et al., 2001	Industria farmacéutica	pH: 4 $H_2O_2/Fe^{2+} = 10$ (molar)	56,4 % de remoción medida como DQO
Pérez et al., 2002	Industria del papel	pH: 2.8 $H_2O_2/Fe^{2+} = 41$ (molar)	82 % de remoción medida como DQO
Barbusinski y Filipek, 2001	Industria pesticidas	pH: 3.0 – 3.5 $H_2O_2/Fe^{2+} = 21.2$ (w/w)	58,7-87,1 % de remoción medida como DQO
Lopez et al., 2019	Lixiviados	pH: 2.0 Fe^{2+} : 75 mg L ⁻¹ H_2O_2 : 250 mg L ⁻¹	96 % de remoción de DBO

Como se puede observar en la tabla 3, el reactivo Fenton como POA ofrece una alta eficiencia en la remoción de contaminantes de diversas fuentes. Pero, requiere de un ajuste de pH antes y después del tratamiento, debido a que funciona en medio ácido. Así como de un tratamiento posterior para eliminar el hierro residual en el efluente, debido a que genera lodos tóxicos durante el proceso.

2.4. Oxidación electroquímica

La electrodialisis como POA electroquímico combina las membranas y el campo eléctrico, consiste en remover componentes iónicos de soluciones acuosas empleando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante (Guastalli, et al, 2004). Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta 0.0001 μm mediante hojas o

laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua (Taylor y Wiesner, 2002).

En cambio, la electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación-floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional, induciendo la corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas (Morante, 2002; Caviedes-Rubio, 2015).

Mercado, González y Valencia, en el año 2013 realizaron un estudio en el que evaluaron la electro-coagulación a nivel laboratorio. Este estudio tomó como parámetros la distancia entre electrodos (1.0 1.5 cm), densidades de corrientes bajas (3.6, 5.0 y 7.0 A) y un tiempo de operación entre 10 y 15 minutos. Esta técnica electroquímica produce flóculos de hidróxido metálicos debido a la electro-disolución de los ánodos de hierro. Se generan cationes metálicos en los ánodos debido a su oxidación electroquímica, además de oxígeno (Heidmann y Calmano, 2008). La separación de los contaminantes se produce por dos vías: flotación y precipitación (Meas et al., 2010)

En la tabla 4 se mencionan las principales aplicaciones de la electroquímica en la remoción de metales pesados, ya que la principal aplicación de este tratamiento es la separación por medio de la afinidad eléctrica de los iones metálicos disueltos en aguas residuales.

Tabla 4. Eficiencias de reducción en el proceso de oxidación electroquímica

Autor	Contaminante metálico	Condiciones	Eficiencia
Mahuud y Hoadley., 2012	Cu ²⁺	Temperatura: 25 °C pH: 7 Tiempo: 2 h Electrodiálisis de intercambio iónico híbrido	Eficiencia máxima del 43 %
Sadyrbaeva, 2014	Co ²⁺	Temperatura: 25 °C pH: 6 Tiempo: 3 h Electrodiálisis de intercambio combinada con una membrana líquida de 20-30 μm	>75 %
Cifuentes et al., 2011	Mo	Separación de especies por electrodiálisis	Entre 45,2-66,6 %
Jack et al., 2013	Cu ²⁺	Temperatura: ambiente pH: 4-8 Tiempo: 30 minutos electroquímica	95 %
Khosa et al., 2013	Ni ²⁺ , Pb ²⁺ y Cd ²⁺	Temperatura: ambiente pH: 1-7 Tiempo: 10 minutos electroquímica usando electrodos de hierro adicionada con Potasio Clorhídrico	99 %, 98,3 % y 96,8 %
Al-Shannag et al., 2015	Cu ²⁺ , Cr ³⁺ Ni ²⁺ y Zn ²⁺	Temperatura: 26 °C pH: 9.5 Tiempo: 45 minutos electro-reactor con electrodos de acero de carbono de configuración monopolar	>97 %

El proceso de electrodiálisis es uno de los más caros debido a las membranas finas que se ocupan en este. Además de ser un proceso que necesita constante supervisión, debido a que las membranas, cuando se encuentran saturadas, pueden inhibir la reacción. Mientras que los procesos de electrocoagulación son recientes, y debido al poco estudio que se le ha dado, se encuentran en desarrollo nuevos materiales de cátodos y ánodos o posibles agentes catalizadores que ayuden a la formación de iones, los cuales den mejor resultado en el proceso de descontaminación.

2.5. Ventajas y desventajas

Los procesos de oxidación avanzada presentan ventajas y desventajas. A continuación, se mencionan las más importantes:

Los procesos de oxidación avanzada son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico. Además, sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración en partes por billón (ppb).

Los POA eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro y no forman subproductos de reacción o se forman en baja concentración.

Una importante desventaja de los POA es que sus costos operacionales son relativamente altos, comparados con los de los tratamientos biológicos convencionales. Sin embargo, su utilización como etapa de pretratamiento para el aumento de la biodegradabilidad de las aguas residuales que contienen compuestos recalcitrantes puede ser potencialmente justificada si los productos intermediarios resultantes son fácilmente degradados por microorganismos, aportando una mejor calidad de agua y disminuyendo la contaminación de este hídrico sin importar la fuente puntal de donde provenga.

3. Conclusiones y recomendaciones

Como se puede observar en el texto, existe una gran diversidad de tratamientos de oxidación avanzada, los cuales tienen presentes los radicales $^{\circ}\text{OH}$. Estos radicales son altamente efectivos para la oxidación de materia orgánica, en especial aquella que no es biodegradable. A pesar de que los tratamientos más típicos que los producen son ozono/peróxido de Hidrógeno, el proceso de oxidación Fenton se encarga de formar los mismos radicales con la presencia de hierro como catalizador y peróxido. Además ayuda en el proceso de precipitación, ya que a comparación de los otros 2 tratamientos al poseer durante su proceso una sal de hierro, coagula la materia en diversos procesos de industrias como la alimenticia, papelera, farmacéutica, entre otros.

Caso contrario con los procesos electroquímicos si bien es cierto, estos procesos también generan el radical $^{\circ}\text{OH}$ derivado de una carga eléctrica en el medio y funcionan en la reducción de compuestos orgánicos, también se pueden ocupar para aguas residuales contaminadas con metales pesados. Esto, debido a los cátodos y ánodos que se utilizan en el proceso, tal como muestran Piña-Soberanis et al (2011) en su trabajo "Revisión de variables de diseño y condiciones de operación".

Los procesos o tecnologías de oxidación avanzada, a pesar de ser técnicas aplicables en países desarrollados, en América Latina existen industrias y empresas importantes a nivel internacional que podrían incluir estos tipos de procesos. Algunos ejemplos son: industrias mineras, de extracción de hidrocarburos, alimenticias, metalúrgica o de transformación de materias, en las cuales existen compuestos químicos difíciles de degradar y pueden causar daño al ambien-

te. Sin embargo, para procesos típicos como el tratamientos de aguas grises o domésticas no son tan aplicables, ya que los contaminantes son de fácil degradación. Si bien los tiempos de tratamiento serían menores los costos se elevarían, ya que muchos de estos procesos son por separación mecánica o biológica.

Referencias

- Adams C. D., y Kuzhikanni, J. J. (2000). Effects of H₂ O₂ / UV Preoxidation on the Aerobic Biodegradability of Quaternary Amine Surfactants. *Water Research*, 34: 668-672. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00186-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00186-4)
- Agustina, T. E.; Ang, H. M., y K.Vareek, V. (2005). A Review of Synergistic Effect of Photocatalysis and Ozonation on Wastewater Treatment, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. 6: 264-273. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2005.12.003>
- Al-Shannag, M., et al. (2015). Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance. *Chemical Engineering Journal*, 260: 749-756. <https://n9.cl/xuaam>
- Arslan-Alaton I. (2003). A review of the effects of dye-assisting chemicals on advanced oxidation of reactive dyes in wastewater. *Coloration Technology*, 119: 345-353. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2003.tb00196.x>
- Azbar, N.; Yonar, T., y Kestioglu, K. (2004). Comparison of Various Advanced Oxidation Processes and Chemical Treatment Methods for COD and Color Removal form a Polyester and Acetate Fiber Dyeing Effluent, *Chemosphere*. 55: 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.046>
- Babuponnusami, A. y Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1): 557-572. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.10.011>
- Barbusinski, K. y Filipek, K. (2001). Use of Fenton's reagent for removal of pesticides from industrial wastewater. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10: 207-212. <https://n9.cl/imi91>
- Caviedes-Rubio, D. I., et al. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1): 73-90. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Chamizo, H. (2003). Introducción a la interface salud ambiente. Curso especial de posgrado atención integral de salud. Costa Rica. CENDEISS. Recuperado de <https://n9.cl/whw7b>
- Cifuentes, L., et al. (2011). Separación de especies de molibdeno por electrodiálisis. *Chemical Engineering Communications*, 198: 805-814. <https://doi.org/10.1080/00986445.2011.534015>
- Deng, B.; Burris, D. R., y Campbell, T. J. (1999). Environmental Applications of Nanomaterials: Synthesis, Sorbents and Sensors. Imperial Collegue Press de <https://n9.cl/szvkp>
- Domenech, X., et al. (2004). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En M.A. Blesa y B. Sánchez (eds). *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*. Colección Documentos Ciemat. <https://n9.cl/rd1t6>
- Durán-Moreno, A., et al. (2011). Assessment of Fenton's reagent and ozonation as pretreatments for increasing the biodegradability of aqueous diethanolamine solutions from an oil refinery gas sweetening process. *Journal of Hazardous Materials*, 186: 1652-1659. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.043>
- Forero, J. E.; Ortiz, O. P., y Ríos, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 3(1): 97-109. www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v3n1/v3n1a08.pdf
- Ghosh, P.; Samanta, A.N., y Ray, S. (2010). COD reduction of petrochemical industry wastewater using Fenton's oxidation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 88(6): 1021-1026. <https://doi.org/10.1002/cjce.20353>

- Gogate P.R., y Pandit A.B. (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 8: 501-551 de http://repository.ias.ac.in/39608/1/49_pub.pdf
- Guastalli, A., et al. (2004). *Application of Electrodialysis on Recovering Phosphoric Acid From an Industrial Rinsewater, Trends in Electrochemistry and Corrosion the Beginning of the 21st Century*. Edicions Universitat Barcelona. <https://n9.cl/z8t91>
- Gutiérrez, E., et al. (2002). Efecto de la aplicación de ozono sobre la biodegradabilidad de aguas de formación. *Multiciencias*, (2)1: 50-54. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90420106.pdf>
- Heidmann, I., y Calmano, W. (2008). Removal of Cr (VI) from model wastewaters by electrocoagulation with Fe electrodes. *Separation and Purification Technology*, (61)1: 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.09.011>
- Ibarra-Tazquez, H.N.; Dobrosz-Gómez, I., y Gómez, M. A. (2018). Optimización multiobjetivo del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de café soluble. *In-formación Tecnológica*, 29(5): 111-122. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500111>
- Ikehata K.; El-Din M.G., y Snyder S.A. (2008). Ozonation and advanced oxidation treatment of emerging organic pollutants in water and wastewater. *Ozone: Science & Engineering*, 30: 21-26. <https://doi.org/10.1080/01919510701728970>
- Jack, F., et al. (2013). Electrocoagulation for the removal of copper from distillery waste streams. *Institute of Brewing & Distilling*. Wiley Online Library, 342: 60-64. <https://n9.cl/Owily>
- Kallel, M., et al. (2009). Elleuch B., Removal of organic load and phenolic compounds from olive mill wastewater by Fenton oxidation with zero-valent iron. *Chemical Engineering Journal*, 150: 391-395. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.017>
- Cokay, E., y Kargi, F. (2007) E. C. Color, TOC and AOX removals from Pulp Mill Effluent by Advanced Oxidation Process: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 139: 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.023>
- Kavitha, V., y Palanivelu, K. (2004). The role of ferrous ion in Fenton and photo-Fenton processes for the degradation of phenol. *Chemosphere*, 55(9): 1235-1243. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.12.022>
- Khatri, P.K.; Jain, S.L., y Sain, B. (2011). Ultrasound-Promoted Oxidation of Sulfides with Hydrogen Peroxide under Catalyst-Free Conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(2): 701-704. <https://doi.org/10.1021/ie1013426>
- Khosa, M., et al. (2013). Efficiency of Aluminum and Iron Electrodes for the Removal of Heavy Metals [(Ni (II), Pb (II), Cd (II))] by Electrocoagulation Method. *Journal of the Korean Chemical Society*, 57(3): 316-321. <https://doi.org/10.5012/jkcs.2013.57.3.316>
- Kreetachat, T., et al. (2007). Effects of Ozonation Process on Lignin-derived Compounds in Pulp and Paper Mill Effluents. *Journal Effluents of Hazardous Materials*, 142: 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.08.011>
- Legrini, O.; Oliveros, E. y Braun, A. M. (1993). Photochemical Processes for Water. *Chemical Reviews*, 93: 671-698 de <https://doi.org/10.1021/cr00018a003>
- Li, C.; Gao, N., y Li, W. (2011). Photochemical degradation of typical herbicides simazine by UV/H2O2 in aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 36(1-3): 197-202. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2410>
- López-Ramírez, M. A., et al. (2019). Treatment of Leachates of a Controlled Landfill in Veracruz by Using the Fenton Method. *Nature Environment and Pollution Technology*, 18(1): 1-8 de <https://n9.cl/kfp2r>
- Lopez-Lopez, A.; Pic, J. S., y Debellefontaine, H. (2007). Ozonation of Azo Dye in a Semi-batch reactor: A Determination of the Molecular and Radical Contributions. *Chemosphere*, 66: 2120-2126. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.025>

- Mahamuni, N.N., y Adewuyi, Y.G. (2010). Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: A review with emphasis on cost estimation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17: 990-1003. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.09.005>
- Mahmoud, A., y Hoadley, A. (2012). An evaluation of a hybrid ion exchange electro dialysis process in the recovery of heavy metals from simulated dilute industrial wastewater. *Water Research*, 46: 3364-3376. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.039>
- Meas, Y., et al. (2010). Industrial wastewaters treated by electrocoagulation. *Electrochimica Acta*, (55)27: 8165-8171. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.05.018>
- Mercado, I. D.; González, G., y Valencia, S. G. (2013). Remoción de níquel y DQO presentes en las aguas residuales de la industria automotriz mediante electrocoagulación. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 10(9): 13-21. <https://n9.cl/ohc7r>
- Morante, G. (2002). Electrocoagulación de aguas residuales. *Revista Colombiana de Física*, 34(2): 484-487
- Mounteer, A.; Mokfienski, J., y Amorim, F. (2005). Remoção de Matéria Orgânica Recalcitrante de Efluentes de Celulose Kraft de Branqueamento por Ozonólise. *O Papel*, 66: 64-70. <https://n9.cl/w3pv>
- Perez, M., et al. (2002). Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under Fenton and photo-Fenton conditions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 36: 63-74. <https://n9.cl/jnv65>
- Ollis, D., y Al-Ekabi, H. (1983). *Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*. Amsterdam: Elsevier <https://n9.cl/6efxu>
- Ovhal, S.D.; Sheetal, D., y Thakur, P. (2010). Kinetics of photocatalytic degradation of methylene blue in a TiO₂ slurry reactor. *Research Journal Of Chemistry And Environment*, 14(4): 9-13. <https://n9.cl/env5f>
- Pignatello, J.J.; Oliveros, E., y MacKay, A. (2006). Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(1): 1-84. <https://doi.org/10.1080/10643380500326564>
- Pokhrel, D., y Viraraghavan, T. (2004). Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater-A Review. *Science of the Total Environment*, 333: 37-58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.017>
- Poyatos J. M., et al. (2010). Advanced oxidation processes for wastewater treatment: state of the art'. *Water, Air and Soil Pollution*, 205: 187-204. <https://n9.cl/olf2w>
- Rodríguez, T.; Botelho, D., y Cleto, E. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 46: 24-38. <https://n9.cl/ysxv7>
- Saatci, Y. (2010). Decolorization and Mineralization of Remazol Red F3B by Fenton and Photo-Fenton Processes. *Journal of Environmental Engineering*, 136(9): 1000-1005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000226](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000226)
- Sadyrbaeva, T. (2014). Recovery of Cobalt(II) by the Hybrid Liquid Membrane- Electro dialysis-Electrolysis Process. *Electrochimica Acta*, 133: 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.04.025>
- Salas G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 13 (1): 30-38. <https://n9.cl/u0nra>
- San Sebastian, N., et al. (2003). Pre-oxidation of an extremely polluted industrial wastewater by the Fenton's reagent. *Journal of Hazardous Materials*, 101: 315-322. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(03\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00207-3)
- Sanz, J.; Lombraña, J. I., y De Luis, A. (2013). Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias. *Afinidad LXX*, 561: 25-33. <https://n9.cl/3hrea>
- Sarria, V. M., et al. (2005). Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *Revista Colombiana de Química*, 34(2): 161-173. <https://n9.cl/y16v>
- Sharma, V. K., et al. (1999). Ferrate(VI) Oxidation of Thiourea. *Environmental Science & Technology*, 33: 2645-2650. <https://doi.org/10.1021/es981083a>
- Taylor, J., y Wiesner, M. (2002). Membranas. Capítulo 11. En AWWA. *Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de suministros de Agua Comunitaria*. McGraw Hill. <https://n9.cl/g922q>

- Teixeira, C. P. (2002). *Estudio comparativo de tipos diferentes de procesos oxidativos avanzados* (tesis de doctorado). Universidad Estatal de Campinas, Brasil. <https://n9.cl/ykcg9>
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. (1998). *Handbook of Advanced Photochemical Oxidation Processes*. Washington DC de <https://n9.cl/xb7r3>
- Degrémont. (1991). *Water Treatment Handbook*. Editorial Lavoisier Publishing.
- Zhao, D.; Cheng, J., y Hoffmann, M.R. (2011). Kinetics of microwave-enhanced oxidation of phenol by hydrogen peroxide, *Front. Environmental Science and Engineering*, 5(1): 57-64. <https://doi.org/10.1007/s11783-010-0251-9>

Red neuronal convolucional para la percepción espacial del robot InMoov a través de visión estereoscópica como tecnología de asistencia

(Convolutional Neural Network for Spatial Perception of InMoov Robot Through Stereoscopic Vision as an Assistive Technology)

Juan F. Cortes Zarta¹, Yesica A. Giraldo Tique², Carlos F. Vergara Ramírez³

Resumen

En el desarrollo de los robots de asistencia un reto importante consiste en mejorar la percepción espacial de los robots para la identificación de objetos en diversos escenarios. Para ello, es preciso desarrollar herramientas de análisis y procesamiento de datos de visión estereoscópica artificial. Por esta razón, el presente artículo describe un algoritmo de redes neuronales convolucionales (CNN) implementado en una Raspberry Pi 3 ubicada en la cabeza de una réplica del robot humanoide de código abierto InMoov para estimar la posición en X, Y, Z de un objeto dentro de un entorno controlado. Este artículo explica la construcción de la parte superior del robot InMoov, la aplicación de *Transfer Learning* para detectar y segmentar un objeto dentro de un entorno controlado, el desarrollo de la arquitectura CNN y, por último, la asignación y evaluación de parámetros de entrenamiento. Como resultado, se obtuvo un error promedio estimado de 27 mm en la coordenada X, 21 mm en la coordenada Y y 4 mm en la coordenada Z. Estos datos son de gran impacto y necesarios al momento de usar esas coordenadas en un brazo robótico para que alcance el objeto y lo agarre, tema que queda pendiente para un futuro trabajo.

Palabras clave

Robótica humanoide, redes neuronales convolucionales, percepción espacial, aprendizaje de transferencia.

Abstract

In the development of assistive robots, a major challenge is to improve the spatial perception of robots for object identification in various scenarios. For this purpose, it is necessary to develop tools for analysis and processing of artificial stereo vision data. For this reason, this paper describes a convolutional neural network (CNN) algorithm implemented on a Raspberry Pi 3, placed on the head of a replica of the open-source humanoid robot InMoov, to estimate the X, Y, Z position of an object within a controlled environment. This paper explains the construction of the InMoov robot head, the application of Transfer Learning to detect and segment an object within a controlled environment, the development of the CNN architecture, and, finally, the assignment and evaluation of training parameters. As a result, an estimated average error of 27 mm in the X coordinate, 21 mm in the Y coordinate, and 4 mm in the Z coordinate was obtained; data of great impact and necessary when using these coordinates in a robotic arm to reach and grab the object, a topic that remains pending for future work.

Keywords

Humanoid robotic, convolutional neural networks, spatial perception, transfer learning.

1 Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Bogotá, Colombia. [jfcortesz@itc.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-0795-4582>]
2 Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Bogotá, Colombia. [yagiraldot@itc.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1616-1709>]
3 Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Bogotá, Colombia. [cfvergarr@itc.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-3843-1255>]

1. Introducción

El principal propósito de las tecnologías de asistencia es poder ayudar a mejorar la calidad de vida de personas que sufren alguna discapacidad, disminuyendo de esta manera la dependencia que sienten debido a su incapacidad motriz, la cual los lleva a percibir que son controlados por otras personas (Kerstens et al., 2020).

De acuerdo con estimaciones del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (2019) para el 2019 existían 1 496 213 personas con alguna discapacidad, de los cuales el 37 % sufre de alteraciones o limitaciones permanentes para usar su cuerpo, manos, brazos o piernas. Además, según los mismos estudios, el 80 % de las personas con discapacidad refirieron pertenecer a los estratos socioeconómicos uno y dos y, precisamente, su discapacidad física es una limitante adicional para tener un empleo formal y estable. Por lo tanto, no solo existe una demanda por tecnologías recientes o específicas para ayudar a personas discapacitadas, sino que el costo de tales soluciones tecnológicas debe garantizar su accesibilidad (Demby's et al., 2019).

La robótica ha estado involucrada en diferentes aspectos de la tecnología de asistencia como la movilidad personal, funciones sensoriales y de monitoreo (Hassan, Abou-Loukh y Ibraheem, 2020), asistencia dentro de entornos controlados (González et al., 2008), entre otros. Tradicionalmente, los robots se han enfocado en funciones de automatización preprogramadas y en áreas de trabajo controladas (Xu y Wang, 2021). Sin embargo, en los últimos años la robótica ha avanzado constantemente, creando de esta manera robots más robustos con la capacidad de realizar acciones o tareas con una complejidad progresivamente mayor. También se ha estado implementado algoritmos de inteligencia artificial (IA) para otorgarle a los robots autonomía y adaptabilidad, las cuales son características fundamentales para su eventual implementación como tecnología de asistencia (Li, et al., 2021).

Uno de los principales problemas de la autonomía en los robots es lograr identificar correctamente su entorno y los objetos que lo rodean, ya sea para evitar colisiones, trazar trayectorias o simplemente para detectar objetos (Jardón, et al., 2008; Huang, et al., 2020; Miseikis et al., 2018). La técnica de visión computacional por triangulación matemática ha sido bastante utilizada para solventar el problema de la autonomía. Sin embargo, esta técnica es susceptible a cambios de los parámetros intrínsecos y extrínsecos de las cámaras, por lo que no se adapta muy bien a entornos dinámicos y, a la vez, esta técnica necesita un modelo matemático a base de reglas para cumplir su objetivo que, en este caso, es la estimación de las coordenadas de un objeto (O'Mahony et al., 2020). Por otra parte, una red neuronal convolucional (CNN) es un tipo de red artificial que intenta emular el ojo humano y la interpretación de imágenes que realiza el cerebro (Ghosh, et al., 2020). Por tal motivo, esta técnica soluciona problemas relacionados a imágenes de forma natural, utilizando principios de aprendizaje de neuronas orgánicas (O'Mahony et al., 2020; Smola y Vishwanathan, 2008), por lo que su uso, aplicación y resultados tienden a ser más orientados a la interpretación nativa de las imágenes que realizan los seres humanos.

Estos campos están permitiendo a los robots adoptar la capacidad con la que los humanos y gran parte de los animales interactúan con su entorno, mejorando y potencializando la teoría tradicional del control. Tal que se replican mecanismos complejos de la biología como, por ejemplo, la visión estereoscópica, la cual es una forma biológica utilizada para identificar profundidad y relieve en una imagen (Valencia et al., 2016).

El aporte de esta investigación es la utilización de CNN para visión estereoscópica en un robot como InMoov (Langevin, 2012), el cual tiene cualidades físicas y funcionales equivalentes

al del ser humano y que puede ser utilizado para discernir la profundidad y localización de un objeto dentro de una escena. De manera que esta funcionalidad es el cimiento de fases posteriores en esta investigación que le permitirán al robot InMoov localizar y alcanzar un objeto que necesite una persona con discapacidad motriz que se encuentre dentro de un entorno doméstico.

2. Metodología

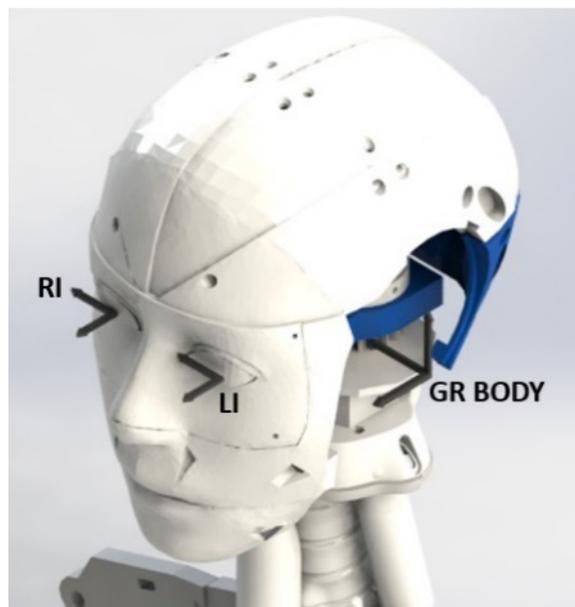
Con el objetivo de permitirle a la réplica del robot humanoide InMoov aprender la percepción espacial de un entorno doméstico controlado, se desarrolló una arquitectura de redes neuronales convolucionales (CNN) para encontrar el objeto, segmentarlo y estimar sus coordenadas cartesianas relativas (X, Y, Z) con respecto al robot, utilizando como punto de partida las metodologías planteadas por Leitner, et al. (2013) y Demby's, et al. (2019).

2.1. Robot humanoide InMoov

El algoritmo de percepción espacial se aplicó para darle esta funcionalidad a una réplica del proyecto del robot humanoide de código abierto (*open source*) InMoov. Las piezas se fabricaron a través de impresión 3D por FDM (modelado por deposición fundida) a partir de los modelos 3D que se encuentran disponibles en la página oficial del proyecto InMoov (Langevin, 2012).

En la Figura 1 se esquematizan los sistemas de referencia del robot, de los cuales dos corresponden a las cámaras del robot identificadas como LI 'Left Image' y RI 'Right Image'. Para la cabeza se determina también el sistema coordinado GR Body, el cual se usa como referencia para la posición del objeto con respecto al robot.

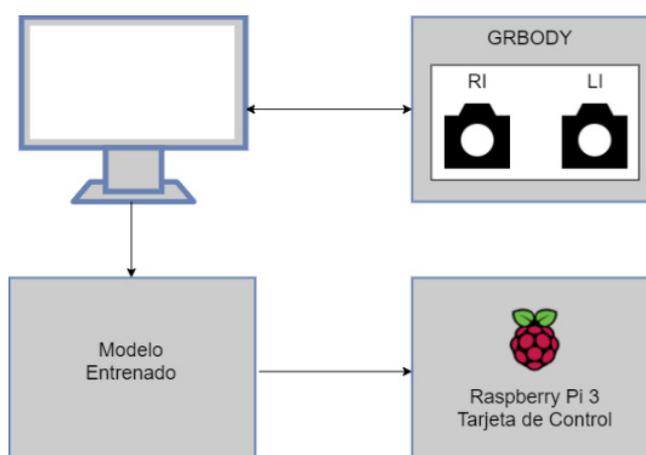
Figura 1. Sistema de referencia de la cabeza de InMoov



La captura inicial de las imágenes se realizó con las cámaras ubicadas en la cabeza del robot, las cuales se enviaron a un computador personal por medio de USB, tal como se describe en la Figura 2.

Aunque el robot tiene la capacidad de cambiar la orientación de las cámaras, así como girar su cabeza, para este artículo se decidió mantener en una posición y orientación fija tanto las cámaras como la cabeza. Esto con el fin de evaluar, primero, el desempeño de la red convolucional bajo estas condiciones para, posteriormente, analizar cuando la orientación de la imagen cambia por movimientos de la cabeza y de las cámaras. La definición de los sistemas de referencias está basada en el trabajo realizado por Valencia, et al. (2016), lo cual se explica en detalle en la siguiente sección.

Figura 2. Esquema de control de la cabeza de InMoov



2.2. Visión estereoscópica

La visión estereoscópica es una herramienta utilizada en la robótica humanoide que tiene como fin darle independencia a un sistema robótico a través de visión computacional por medio de dos cámaras desplazadas. Estas se encargan de tomar la captura de dos imágenes, generar una triangulación geométrica y, finalmente, estimar la ubicación de los objetos.

Esta técnica emplea dos cámaras ubicadas en cada uno de los ojos del robot InMoov. En la Figura 3 se muestra el esquema geométrico proyectado desde la vista superior para la captura y procesamiento de las imágenes de las cámaras. Esta figura contiene los parámetros fijos del sistema tales como: separación entre cámaras LI y RI de 62.27 mm, rangos del campo de visión de las cámaras LI y RI en el eje X los cuales son de 70° , restricciones determinadas por la distancia F al punto crítico de oclusión O de 107.167 mm, el cual está encargado de definir el área limitante para el rastreo de objetos LI-O-RI y, finalmente, los ángulos $\theta = 73.8^\circ$ y $\alpha = 36.2^\circ$, los cuales se forman por la geometría generada con la posición de las cámaras, el campo de visión y F . Por último, P es la distancia desde el punto de oclusión crítico y el objeto de interés (Valencia, et al. 2016).

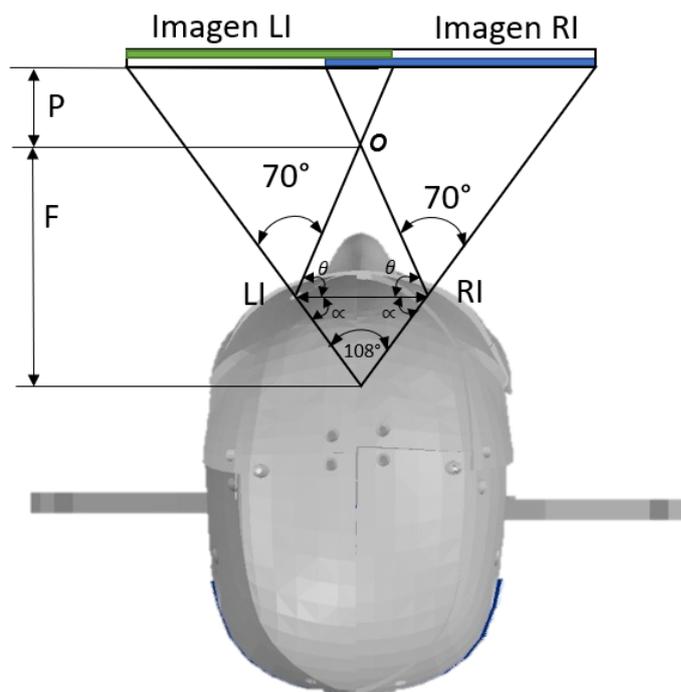
Estos datos fueron relevantes para el entorno controlado de trabajo, con el fin de deducir el área no rastreable de un objeto formado por el triángulo LI-O-RI y de esa manera definir las dimensiones del entorno de trabajo.

2.3. Redes neuronales convolucionales

La red neuronal convolucional o CNN por sus siglas en inglés (*Convolutional Neural Network*) es un tipo de red neuronal artificial que tiene la capacidad de aprender características, patrones o similitudes abstractas de objetos, escenas o cualquier información que esté en los datos de entrada (Qin, et al., 2018), los cuales, por lo general son, imágenes. Así que este tipo de red neuronal está muy relacionada con la visión por computadora (Wozniak, et al., 2018; Li et al., 2019).

Una CNN consta de un conjunto finito de capas de convolución que se encargan de extraer características de las imágenes. Tal que las primeras capas de convolución tendrán un nivel menor de abstracción, el cual irá aumentando con relación a la cantidad de capas que existan (Ghosh, et al., 2020). Por ejemplo, una CNN, para detectar un vaso, en las primeras capas aprenderá a detectar características simples como líneas, bordes, colores, entre otros y, en las últimas capas, detectará características o patrones complejos como siluetas, texturas, entre otros.

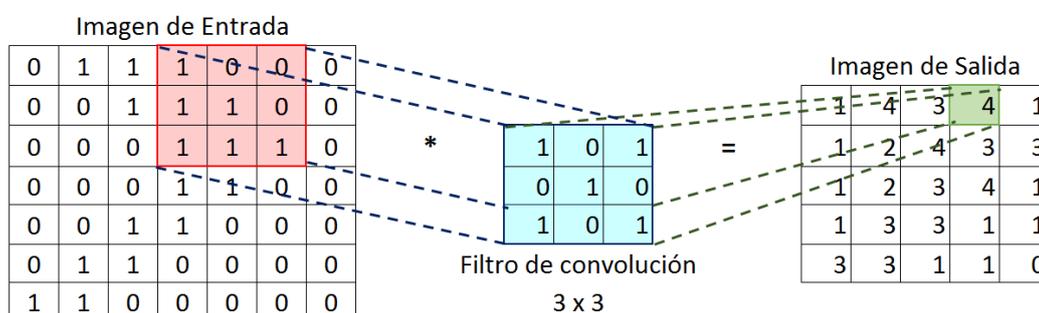
Figura 3. Sistema de referencia de los ojos



Posteriormente, para implementar la técnica por el método de visión estereoscópica es necesario realizar la captura y el acondicionamiento de las imágenes del objeto detectado.

La extracción de información por cada capa de convolución se hace a través de filtros de un tamaño inferior al tamaño de la imagen. Sin embargo, los tamaños más usados son 3x3, 5x5 y 7x7 (Chansong y Supratid, 2021). Estos filtros recorren toda la imagen de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, realizando un producto escalar con la matriz de píxeles de la imagen, con el fin generar una nueva imagen convolucionada. La Figura 4 es un ejemplo del funcionamiento del filtro de convolución 3x3 en una matriz de 7x7.

Figura 4. Ejemplo del proceso de convolución



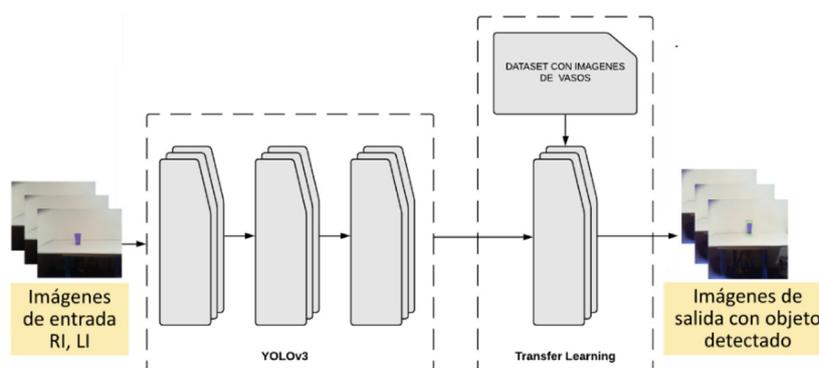
La imagen de salida luego pasará por otro filtro llamado aplanamiento o *pooling*, el cual se encarga de disminuir el tamaño espacial de la imagen con el fin de reducir la potencia computacional requerida para procesar las matrices multidimensionales.

2.4. Transfer Learning

Como estrategia para estimar la posición del objeto, se utilizó *Transfer Learning*, el cual consiste en tomar un modelo pre entrenado y adaptarlo con nuevos datos. El modelo empleado es YoloV3 (Redmon y Farhadi, 2018), el cual es una CNN que detecta y segmenta 80 clases de objetos distintos en una caja. Si bien, este modelo es suficientemente robusto se escogió como clase única a detectar 'vaso', debido a que este objeto reúne características geométricas simples para que la CNN de YoloV3 pueda aprender de manera más sencilla y, también, porque este objeto es bastante utilizado por las personas en los entornos domésticos. Así que el robot solo podrá detectar ese objeto de interés dentro la escena. Esto, se realizó de esta manera para que la CNN de percepción espacial logre identificar correctamente el objeto y sus coordenadas. De manera que, la implementación de YoloV3 es el cimiento para que el robot logre discernir el objeto de interés cuando esté rodeado por otros objetos.

Por lo tanto, en la última capa de YoloV3 se anexa un Dataset con 1 000 imágenes diferentes de vasos y etiquetados con la herramienta computacional LabelImg (Tzutalin, 2015), con el fin de entrenar esa última capa. Finalmente, se pone a correr el modelo para observar cómo detecta el objeto. La Figura 5 muestra la adaptación de YoloV3 con las imágenes extraídas del robot InMoov y, así mismo, el resultado luego de utilizar *Transfer Learning*.

Figura 5. Arquitectura de algoritmo YoloV3 adaptada por Transfer Learning



Con las imágenes capturadas por el método de *Transfer Learning* se construye el conjunto de datos para la CNN de percepción espacial, la cual se explica a continuación junto con los parámetros y condiciones iniciales que se implementaron.

2.5. Conjunto de datos

Para facilitar el entrenamiento de una CNN se plantea adquirir los datos de imágenes estereoscópicas de un entorno controlado, lo cual facilita la adaptación del conjunto de datos a la arquitectura planteada en una fase inicial y después pretender su escalabilidad a entornos con perturbaciones.

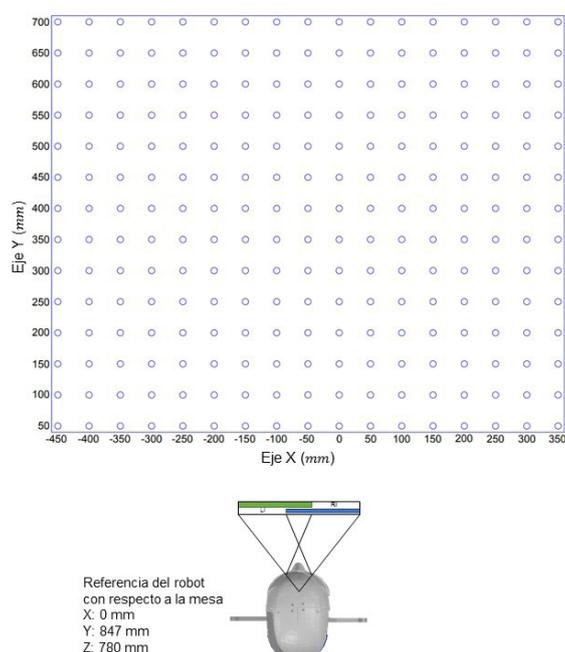
El entorno se realizó en una mesa con una cuadrícula de puntos separados cada 50 mm a una distancia frente al robot de 847mm, tal como se ve en la Figura 6. Estos puntos sobre la mesa representan la posición que tomará el objeto dentro del escenario (Demby's, et al., 2019). Aparte de esto, la luminosidad dentro del entorno es constante.

Figura 6. Entorno controlado de recopilación de datos



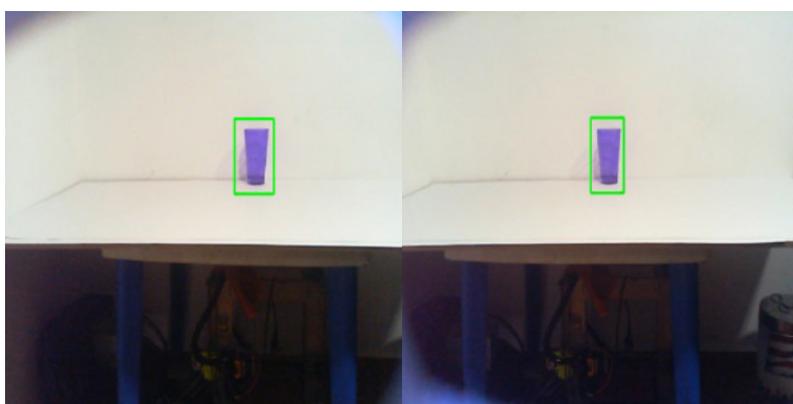
La altura Z del robot es fija y la posición del objeto sobre la mesa en el eje X y Y varía en los puntos designados de la cuadrícula, por lo que la variación en Z del escenario se realizó elevando la mesa 10 mm en 7 ocasiones cada que el objeto recorriera todos los puntos de la cuadrícula. La distribución de coordenadas sobre la mesa y la posición del robot con respecto a la misma se evidencian en la Figura 7. Para hallar la coordenada en X en el sistema de Coordenadas GR Body no es necesario hacer alguna transformación en las medidas de la cuadrícula, mientras que para los valores del eje Y se les suma una distancia de 840mm y en el eje Z se suma una distancia de 780mm. Estos valores representan la distancia del escenario con respecto a GR Body.

Figura 7. Distribución de coordenadas sobre la mesa de entrenamiento



El método para recopilar el conjunto de entrenamiento de las imágenes de ambos ojos se realizó moviendo manualmente el objeto en la escena y almacenando LI y RI con las coordenadas actuales del objeto en el sistema de referencia GR Body como, por ejemplo, $[x_y_z.png]$. Esta manera de nombrar las imágenes de entrenamiento fue extraída del conjunto de datos UTKFace (Zhang, Song y Qi, 2017) que tiene la utilidad de simplificar el procesamiento de las imágenes y, a la vez, correlacionar las etiquetas con las imágenes de una manera sencilla. Por otro lado, las imágenes se recopilaron con una dimensión de $(416 \times 416 \times 3)$ píxeles, lo cual significa la anchura, altura y cantidad de canales RGB, correspondientemente. En la Figura 8 se presenta un ejemplo de LI y RI.

Figura 8. Imagen captada por ambos ojos izquierdo y derecho respectivamente



De esta forma, se obtuvieron dos carpetas o directorios con 1 547 imágenes en cada uno. Ambas carpetas tienen en común las coordenadas del objeto en las 1 547 posiciones, pero se

diferencian en la distribución de píxeles intrínsecos de las imágenes. Esto quiere decir que hay dos imágenes de entrada (izquierda y derecha) y 3 datos de salida (X, Y, Z). Así que la arquitectura que se planteará en las próximas secciones es de tipo MIMO (*Multiple Input-Multiple Output*).

La Tabla 1 es una muestra de la cabecera del Dataframe, en él se encuentran las entradas y salidas del sistema indexado y estructurado. Por otra parte, el Dataframe se dividió al 70 % para el entrenamiento y el 30 % restante para validación y prueba del modelo. Esto, con el fin de verificar que los resultados obtenidos a través del aprendizaje no estén sobre ajustados.

Tabla 1. Dataframe del conjunto de entrenamiento

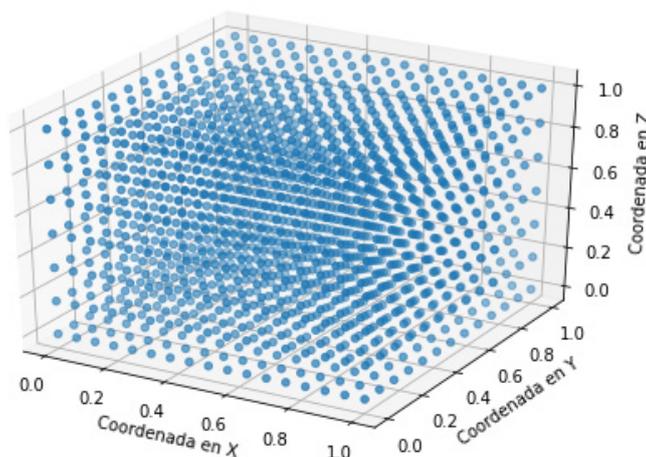
	X	Y	Z	Carpeta cámara izquierda	Carpeta cámara derecha
0	-300	1197	800	CamIzq/-300_1197_800.png	CamDer/-300_1197_800.png
1	250	997	790	CamIzq/250_997_790.png	CamDer/250_997_790.png
2	50	1047	780	CamIzq/50_1047_780.png	CamDer/50_1047_780.png
3	-150	897	830	CamIzq/-150_897_830.png	CamDer/-150_897_830.png
4	350	1147	810	CamIzq/350_1147_810.png	CamDer/350_1147_810.png

Tanto para el preprocesamiento en las imágenes como en las coordenadas de la posición del vaso se hizo una normalización al rango de 0 hasta 1, cambiando los valores de cada característica para que el valor mínimo sea 0 y luego dividiendo por el valor máximo (Geron, 2019b; Smola y Vishwanathan, 2008).

$$z = \frac{z - \min(x)}{[\max(x) - \min(x)]} \quad (1)$$

La Figura 9 es una representación tridimensional del conjunto de entrenamiento normalizado. Por otro lado, no se utilizó el aumento de datos enfocado en las imágenes (Lee y Saitoh, 2018) para no modificar su estructura interna y la organización de píxeles que contienen cada una de las imágenes, ya que al modificarlo el valor recopilado de la coordenada en dicha imagen no tendría coherencia con el valor real de la coordenada.

Figura 9. Dataset de las coordenadas de entrenamiento normalizado

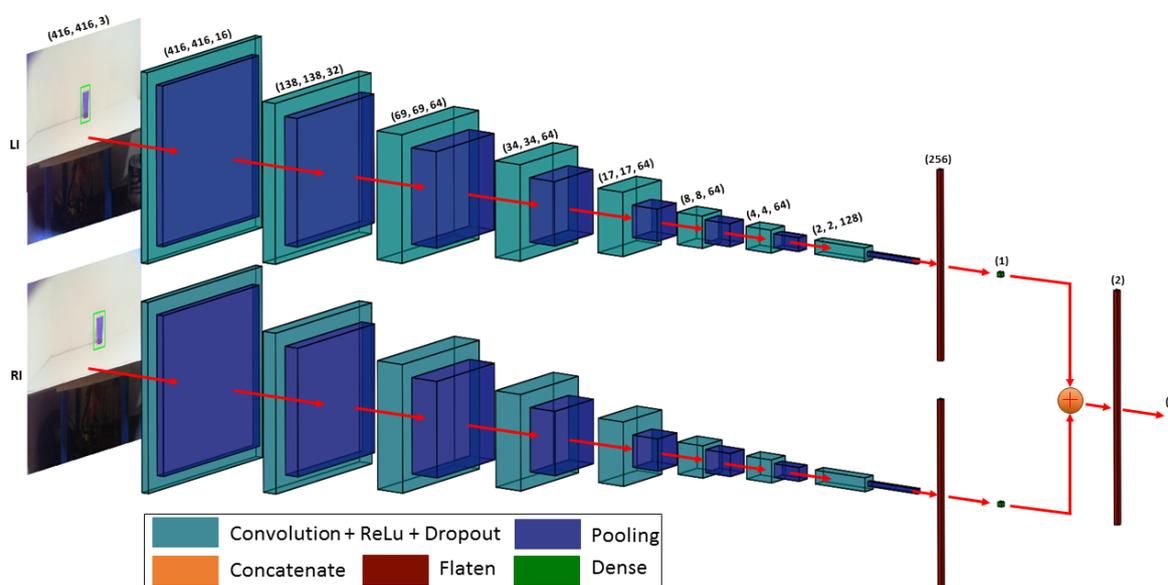


2.6. Arquitectura CNN de percepción espacial

La arquitectura CNN de percepción espacial utilizada en esta investigación se basa en UTKFace (Zhang, Song y Qi, 2017), la cual tiene como característica principal distinguir entre 3 etiquetas (edad, genero, raza). Y en la arquitectura propuesta por Radu Enuță (2019), la cual recibe dos imágenes de espectrogramas (corriente y voltaje) para predecir entre 11 etiquetas útiles. Por lo tanto, se extrajeron las particularidades de estas dos arquitecturas y se interpolaron al enfoque de esta investigación.

La Figura 10 es una representación simplificada de la arquitectura diseñada, en la cual se ilustra únicamente una sola coordenada para fines demostrativos. La arquitectura es una red neuronal convolucional supervisada, tal que consta de dos canales principales correspondientes a LI y RI, los cuales son las imágenes de entrada. Cada canal se divide en tres ramas (X, Y, Z) que son las etiquetas o datos de entrenamiento. De esta manera, la CNN aprende características, similitudes y patrones únicos de cada imagen y coordenada por separado con el fin de que, en capas posteriores, se concatene la información que ha aprendido de cada coordenada por separado con su igual de la otra imagen. Esto quiere decir que toda la arquitectura es una sola CNN, por lo que el entrenamiento de cada rama en cada canal se hace de manera paralela. De igual forma, el método que se usó para calcular el gradiente de la función de error con respecto a todos los pesos de la red fue Backpropagation (Lillicrap, et al., 2020).

Figura 10. Arquitectura propuesta de dos canales, una rama. La salida es una sola coordenada



Las convulsiones de la capa oculta usan un filtro estándar de tamaño 3x3 que recorre toda la imagen y la minimiza a lo alto y a lo largo, pero aumenta su profundidad. Mientras que el filtro que usa el *pooling* para agrupar y reducir el tamaño de la imagen es de 2x2.

Luego de cada convulsión se utiliza la técnica de regularización *Dropout* para disminuir el sobreajuste de la CNN una vez que entrene (Poernomo y Kang, 2018), omitiendo aleatoriamente por cada capa oculta el 25 % de las neuronas. Por último, cada neurona de esta capa

utiliza una función de activación tipo ReLu, la cual anula los valores negativos y deja intacto los valores positivos de cada neurona.

$$R_{(z)} = \max(0, z) \quad (2)$$

La activación que se utiliza en las capas densas es de tipo lineal con el fin de obtener un resultado numérico análogo a la salida, por lo tanto, esto indica que el modelo planteado es de regresión lineal. La métrica usada para la medición del error en el entrenamiento y validación de la CNN fue MAE (*Mean Absolute Error*). La Ecuación 3 es la métrica que halla el promedio de la diferencia absoluta entre el valor esperado y el valor predicho por el modelo. La ventaja de utilizar este tipo de métrica en comparación con MSE (*Mean Square Error*) es que mejora la precisión del modelo en términos del error promedio, siempre y cuando los datos de entrada no presenten mucho ruido (Qi, et al., 2020).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

2.7. Experimentos

Los valores de los parámetros utilizados en el entrenamiento se asignaron de manera heurística con un total de 23 ensayos al entrenar la red neuronal. La cantidad de neuronas asignadas a las capas de la CNN de percepción espacial 16_{conv1} , 32_{conv2} , 64_{conv3} , 64_{conv4} , 64_{conv5} , 64_{conv6} , 64_{conv7} , 128_{conv8} .

Mientras que la tasa de aprendizaje o LR por sus siglas en inglés (*Learning Rate*) puede tomar el rango de valores presentados en la Ecuación 5 para que converja el algoritmo del descenso del gradiente a un mínimo global en cada una de las coordenadas.

$$9.3e^{-4} > lr < 1e^{-5} \quad (4)$$

Sin embargo, el valor que arrojaron los resultados expuestos en la siguiente sección fue $lr = 9.6e^{-4}$. Por otro lado, se utilizó el descenso del gradiente por mini-lote a 32 (Khirirat, Feyzmahdavian y Johansson, 2017), lo cual significa que se tomarán esas cantidades de muestras por cada iteración de entrenamiento. Por último, todo el entrenamiento se hizo con un total de 100 épocas.

2.8. Plataforma experimental

La plataforma experimental desarrollada consta de una cabeza robótica de InMoov junto con dos cámaras internas de referencia Microsoft LifeCam HD- 3000 con una resolución máxima para la captura de fotos de 1 280 x 720 píxeles y una distancia focal de 140 mm. Estas cámaras se encuentran ubicadas en los ojos del robot tal como se describe en la Figura 1 y Figura 3.

Además, tanto la programación y el entrenamiento de la CNN de percepción espacial se realizó usando el servicio en la nube Google Colaboratory con los *frameworks* de Tensorflow y Keras para Python. El servidor remoto para el entrenamiento fue una GPU Nvidia Tesla P100 PCIe, la cual tiene 16 GB de VRAM. Mientras que el modelo entrenado se migró para correrlo, fi-

nalmente, en un Raspberry Pi 3 de 1Gb de RAM, usando Tensorflow Lite. El video de las cámaras se transfiere a la red neuronal usando OpenCV.

3. Resultados

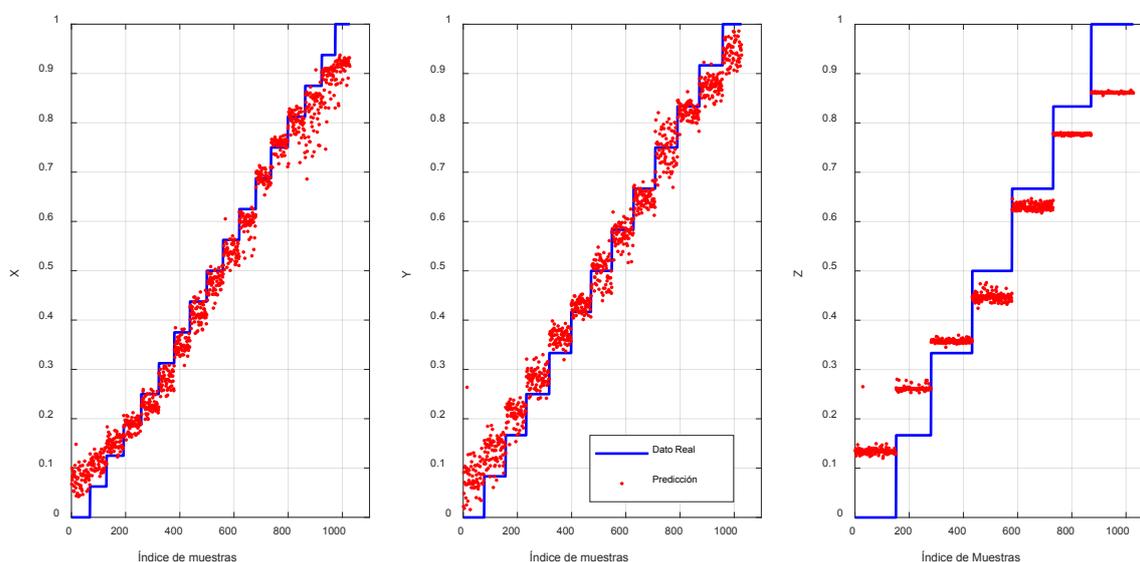
Como primer resultado del modelo propuesto se observa en la Figura 11 el comportamiento de la CNN para estimar la posición en los ejes (X, Y, Z) de acuerdo con las posiciones reales y con un total de 1 000 muestras. Además, el eje de las ordenadas de las tres gráficas está normalizado, tomando como referencia los valores del Dataset tridimensional de la Figura 9 y la Ecuación 3 para mantener la misma relación y coherencia entre los valores reales.

En general, se puede observar que la CNN realiza una buena predicción en cada una de las posiciones reales de los objetos. El error promedio de cada coordenada se puede evidenciar en la Tabla 2 que en la que se presentan los datos experimentales.

Tabla 2. Media de la predicción de la CNN

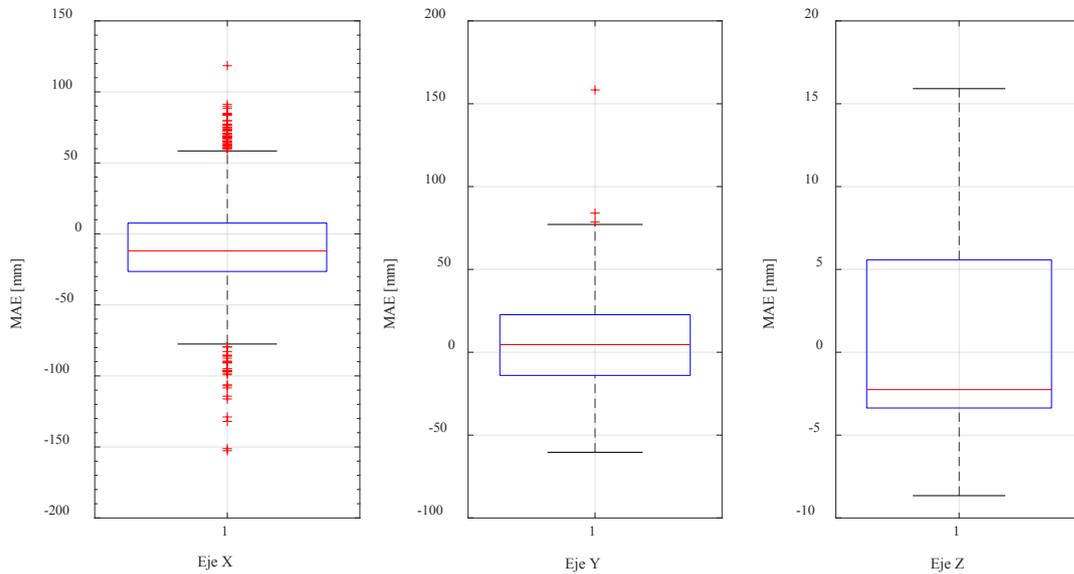
Eje	Error promedio [mm]
X	27.5229
Y	21.26912
Z	4.6170

Figura 11. Comportamiento de la predicción de la arquitectura CNN en cada coordenada normalizada en el eje de las ordenadas



Sin embargo, se presentaron valores atípicos que se evidencian de mejor manera en la Figura 12, la cual es un diagrama de caja. Este indica para el caso de la coordenada X valores atípicos en el límite inferior y superior del diagrama, así como en la coordenada Y donde los valores atípicos rondan solo en el límite superior (Marmolejo-Ramos y Siva Tian, 2010).

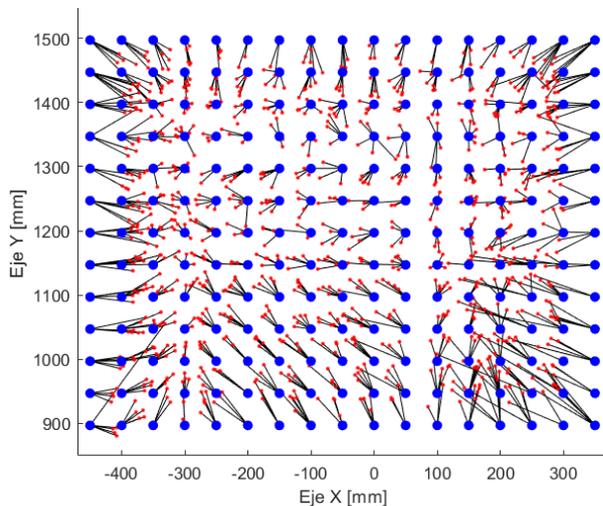
Figura 12. Diagrama de caja de los datos predichos

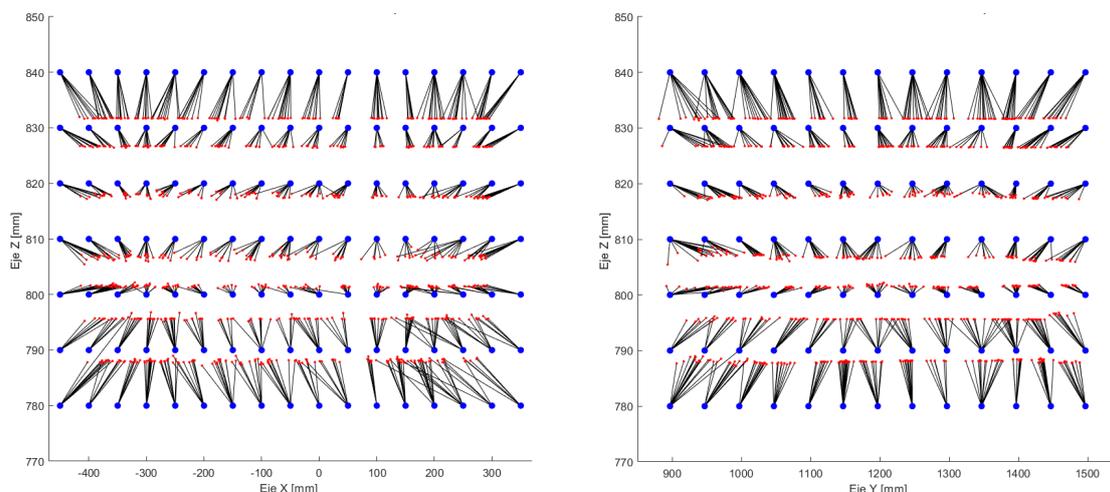


La CNN con la arquitectura propuesta logró aprender la visión periférica de la visión estereoscópica. Esta, tiene la particularidad de que vuelve progresivamente la imagen más borrosa en la periferia de la vista, mientras que mantiene en el centro de la mirada la imagen nítida (Prasanna, Katti y Arun, 2018). Por lo tanto, este tipo de visión está relacionada con el reconocimiento y localización de objetos a los que se fija la atención.

La visión periférica que se presenta a raíz de los datos predichos se puede evidenciar de mejor manera en la Figura 13. En esta, se encuentran los valores de las posiciones reales tanto del conjunto de entrenamiento como de validación y los valores de las posiciones estimadas por la CNN relacionadas junto al vector de error encargado de dimensionar estas dos posiciones gráficamente.

Figura 13. Posiciones reales vs posiciones estimadas del vector de error en las coordenadas X vs Y, X vs Z y Y vs Z, respectivamente





En la Figura 13 se puede evidenciar que en el centro del escenario de entrenamiento los datos estimados son más precisos con respecto a las posiciones reales. Mientras que en las orillas de este escenario los vectores de error tienden a aumentar por la separación entre la posición real con respecto al valor real. Esta variación del error son los valores que se presentan como atípicos en la Figura 12.

Esta visión periférica que desarrolló el algoritmo se debe a que el robot siempre mantuvo una posición estática, por lo tanto, el punto de enfoque que se evidencia en la Figura 3 siempre apuntó al centro del escenario del entorno controlado.

4. Discusión

En investigaciones similares de percepción espacial, como los de Demby's, et al. (2019) y Leitner, et al. (2013) se plantean métodos de obtención de datos y arquitecturas diferentes al de esta investigación. La Tabla 3 compara los resultados obtenidos en esas investigaciones con el resultado obtenido con la arquitectura de esta investigación.

Tabla 3. Comparativa de resultados de investigaciones similares

	X Predicha	Y Predicha	Z Predicha	Cámara empleada
Investigación 'A' (Demby's, et al., 2019)	1,9	4,7	-	Módulo de cámara RP V2
Investigación 'B' (Leitner, et al., 2013)	15,9	43,1	37,3	Dragon Fly2 DR2-03S2C-EX-CS
Investigación hecha por los autores	27,5	21,26	4,6	Microsoft LifeCam 3000 HD

La investigación 'A' es la que obtiene mejores resultados del valor real con respecto al valor predicho. Sin embargo, ese error tan bajo se debe a que utilizaron pocos datos de entrenamiento y, a la vez, la variación de distancia entre los puntos dentro del escenario era pequeña. Aparte de esto, el enfoque que esta investigación plantea no contempla que la estimación en Z y la resolución máxima de la foto es inferior, al ser de 640 x 480 píxeles en comparación con la

resolución de la cámara de este proyecto (1 280x720 píxeles). Por otro lado, la investigación 'B' sí contempla la predicción de la coordenada Z y, a la vez, la cantidad de datos que utilizaron para el entrenamiento y validación son similares a la cantidad utilizada en esta investigación. Por lo tanto, se puede observar que los resultados del método propuesto son ligeramente mejores a la investigación 'B' en términos del error de predicción, teniendo presente, además, la resolución y la distancia focal similares (misma resolución y distancia focal).

5. Conclusiones y trabajos futuros

En el futuro se está planteando implementar las coordenadas (X, Y, Z) obtenidas a partir de la arquitectura propuesta en una réplica del brazo robótico de InMoov, el cual ya está completamente construido. Esto se planea hacer introduciendo esas coordenadas como valores de entrada en las ecuaciones de cinemática inversa del brazo del robot InMoov. De tal manera, que no solo tenga la capacidad de localizar un objeto utilizando la percepción espacial, sino también poder alcanzarlo y agarrarlo. Esto se realiza con el fin de que, en un futuro próximo, el robot pueda alcanzar objetos en un entorno cotidiano para ayudar a personas con discapacidad. Aparte de esto, se planea recopilar un conjunto de datos más amplio y con entornos o fondos dinámicos para probarlo con la arquitectura propuesta en esta investigación y comprobar su adaptabilidad y escalabilidad.

Pese a que no se tuvo en cuenta el efecto del modelo cinemático de la cabeza del robot InMoov en la percepción espacial, el resultado del algoritmo obtuvo una precisión comparable o mejor a los artículos guía de esta investigación, tal como se puede evidenciar en la Tabla 3. Por lo tanto, la arquitectura propuesta aprendió de manera satisfactoria a localizar objetos dentro del entorno controlado con un error promedio en cada coordenada de 27.5mm en X, 21.26mm en Y y 4.6mm en Z.

Por último, los resultados muestran que la arquitectura que se diseñó se adapta bien a la visión estereoscópica del robot InMoov, a tal punto de aprender la visión periférica según los parámetros de entrada LI y RI. Este resultado se observa de mejor manera en la Figura 13, en la cual existen dos patrones relevantes: el primero es que en las coordenadas más alejadas al centro del escenario de entrenamiento se evidencia un mayor error en estas predicciones; y segundo, los datos que se encuentran al centro del escenario obtuvieron una mejor estimación. Estos dos patrones son características inigualables de la visión periférica natural. Por lo tanto, incrementando las pruebas experimentales en entornos dinámicos y con una mayor variedad de objetos mejorarán la adaptabilidad y autonomía de este algoritmo.

Referencias

- Chansong, D., y Supratid, S. (2021). Impacts of kernel size on different resized images in object recognition based on convolutional neural network. *9th International Electrical Engineering Congress (IEECON)*: 448-451. <https://doi.org/10.1109/ieecon51072.2021.9440284>
- Demby's, J., et al., (2019). Object detection and pose estimation using CNN in embedded hardware for assistive technology. *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*. <https://doi.org/10.1109/ssci44817.2019.9002767>
- Enucã, R. (2019) *Dual-input CNN with Keras*. <https://medium.datadriveninvestor.com/dual-input-cnn-with-keras-1e6d458cd979>

- Geron, A. (2019b). *Hands-on machine learning with scikit-learn, keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. O'Reilly Media.
- Ghosh A., et al., (2020) Fundamental Concepts of Convolutional Neural Network. En Balas V., Kumar R., Srivastava R. (eds) *Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things*. Intelligent Systems Reference Library. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9_36
- González, J., et al., (2008). La Silla Robótica SENA. Un enfoque basado en la interacción hombre-máquina. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 5(2): 38-47. [https://doi.org/10.1016/s1697-7912\(08\)70143-2](https://doi.org/10.1016/s1697-7912(08)70143-2)
- Hassan, H. F.; Abou-Loukh, S. J., y Ibraheem, I. K. (2020). Teleoperated robotic arm movement using electromyography signal with wearable Myo armband. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(6): 378-387. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.05.001>
- Huang, B., et al., (2020). Improving head pose estimation using two-stage ensembles with top-k regression. *Image and Vision Computing*, 93(103827): 103827. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2019.11.005>
- Jardón, A., et al., (2008). Asibot: Robot portátil de asistencia a discapacitados. Concepto, arquitectura de control y evaluación clínica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 5(2): 48-59. [https://doi.org/10.1016/s1697-7912\(08\)70144-4](https://doi.org/10.1016/s1697-7912(08)70144-4)
- Kerstens, H., et al. (2020). Stumbling, struggling, and shame due to spasticity: a qualitative study of adult persons with hereditary spastic paraplegia. *Disability and Rehabilitation*, 42(26): 3744-3751. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1610084>
- Khairat, S., Feyzmahdavian, H. R., & Johansson, M. (2017). Mini-batch gradient descent: Faster convergence under data sparsity. *IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC)*. <https://doi.org/10.1109/cdc.2017.8264077>
- Langevin, G. (2012). *InMoov -open-source 3D printed life-size robot*. <https://inmoov.fr>
- Lee S., y Saitoh T. (2018) Head Pose Estimation Using Convolutional Neural Network. En Kim K., Kim H., Baek N. (eds) *IT Convergence and Security 2017. Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6451-7_20
- Leitner, J., et al., (2013). Artificial neural networks for spatial perception: Towards visual object localisation in humanoid robots. *The 2013 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2013.6706819>
- Li, J., et al., (2021). An integrated approach for robotic Sit-To-Stand assistance: Control framework design and human intention recognition. *Control Engineering Practice*, 107(104680): 104680. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104680>
- Li, T., et al., (2019). CNN and LSTM based facial expression analysis model for a humanoid robot. *IEEE access: practical innovations, open solutions*, 7: 93998-94011. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2928364>
- Lillicrap, T. P., et al., (2020). Backpropagation and the brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 21(6): 335-346. <https://doi.org/10.1038/s41583-020-0277-3>
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2019). *Sala situacional de las personas con discapacidad*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/MET/sala-situacional-discapacidad2019-2-vf.pdf>
- Miseikis, J., et al., (2018). Robot localisation and 3D position estimation using a free-moving camera and cascaded convolutional neural networks. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. <https://doi.org/10.1109/aim.2018.8452236>
- O'Mahony N. et al. (2020) Deep Learning vs. Traditional Computer Vision. En Arai K., Kapoor S. (eds) *Advances in Computer Vision. CVC 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17795-9_10
- Poernomo, A., y Kang, D.-K. (2018). Biased Dropout and Crossmap Dropout: Learning towards effective Dropout regularization in convolutional neural network. *Neural Networks: The Official Jour-*

- nal of the International Neural Network Society*, 104: 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.neu-net.2018.03.016>
- Pramod, R. T., Katti, H., & Arun, S. P. (2018). *Human peripheral blur is optimal for object recognition*. <http://arxiv.org/abs/1807.08476>
- Qi, J., et al., (2020). On mean absolute error for deep neural network based vector-to-vector regression. *IEEE Signal Processing Letters*, 27: 1485-1489. <https://doi.org/10.1109/lsp.2020.3016837>
- Qin, Z., et al., (2018). How convolutional neural networks see the world. A survey of convolutional neural network visualization methods. *Mathematical Foundations of Computing*, 1(2): 149-180. <https://doi.org/10.3934/mfc.2018008>
- Redmon, J., y Farhadi, A. (2018). *YOLOv3: An Incremental Improvement*. <http://arxiv.org/abs/1804.02767>
- Smola, A., y Vishwanathan, S. (2008). *Introduction to Machine Learning*. <https://alex.smola.org/drafts/thebook.pdf>
- Tzutalin. (2015). *LabelImg Free Software: MIT License*. <https://github.com/tzutalin/labelImg>
- Valencia, N. O., et al., (2016). Movement detection for object tracking applied to the InMoov robot head. *XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA)*. <https://doi.org/10.1109/stsiva.2016.7743328>
- Wozniak P., et al., (2018) Scene Recognition for Indoor Localization of Mobile Robots Using Deep CNN. En Chmielewski L., et al., (eds) *Computer Vision and Graphics. ICCVG 2018. Lecture Notes in Computer Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00692-1_13
- Xu, Y., y Wang, Z. (2021). Visual sensing technologies in robotic welding: Recent research developments and future interests. *Sensors and Actuators. A, Physical*, 320(112551), 112551. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112551>
- Zhang, Z.; Song, Y., y Qi, H. (2017). Age progression/regression by conditional adversarial autoencoder. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.463>