

#GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ISSN: 2346 - 139X

EDICIÓN 13

cim

Corporación Unificada Nacional
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN



La tierra proporciona lo suficiente para
satisfacer las necesidades de todos los hombres,
pero no para la codicia de cada uno.

GANDHI



#GshTag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

EDICIÓN 13

Liliana Margarita Rodríguez Rodríguez

Rectora

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN

Rodrigo Fernando Acosta Trujillo

Vicerrector Académico y de Investigaciones

Tomás Durán Becerra

Director Nacional de Investigaciones

Darío Cortés Tobar

Editor General

Rocío Olarte Dussán

Coordinadora de Publicaciones

#ashtag

Edición 13

© Febrero, 2019. Corporación Unificada Nacional de Educación Superior CUN
Bogotá, Colombia.

Corrección de estilo:

Guillermo Andrés Castillo Quintana

Daniela Lorena Rojas Galván

Diagramación: Lina Guevara Buitrago

Imagen de carátula: Michael Dzedzic en Unsplash

Primera edición: febrero de 2013

ISSN 2346 - 139X

Reservados todos los derechos.

Se prohíbe el uso comercial y sin autorización del material intelectual contenido
en esta obra. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida,
almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

Comité Científico

Yury Vanessa Nieto

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Magíster en Tecnologías de la Información

Yesid Díaz Gutiérrez

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Magíster en Ingeniería de Software

Juan Carlos Figueroa

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Doctor en Ingeniería

Hernando Javier Artega Silva

Institución Tecnológica del Sur
Magíster en Tecnologías de la Información

Roberto Ferro Escobar

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Doctor en Ciencias de la Computación

Comité Editorial

Rocío Olarte Dussán

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Magíster en Literatura

María del Carmen Anacona Sterling

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Magíster en Didácticas de las Ciencias

Dante Giovanni Sterpin Buitrago

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Especialista en Docencia Universitaria

Darío Fernando Cortés Tobar

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Máster en Electrónica, tratamiento de señal y Comunicaciones

- CONTENIDO -

- 1. Sistema de supervisión y automatización del proceso de clarificación de agua en la planta de tratamiento de agua potable El Dorado**
Fernando Martínez Santa, Javier Gamboa Torres y Andrés Rodríguez Falla11
- 2. Programa de reciclaje electrónico en Ingeniería Electrónica de la CUN**
Jessica Rodríguez Velásquez, Stefany Zuluaga Zubieta y Daniela Mosquera Osuna.....29
- 3. Robótica asistencial y su interacción con entorno en oficinas**
Mario Ricardo Arbulú43
- 4. Responsabilidad moral respecto a robots dotados con moralidad artificial heredada culturalmente mediante neuro-memes**
Dante Giovanni Sterpin55
- 5. Juguetes, tecnología y discapacidad. Ingeniería aplicada al diseño de juguetes adaptados**
Sergio Daniel Díaz y Said Pinzón Castañeda67
- 6. Actualidad en el agro colombiano y aprovechamiento de los recursos visto desde la robótica**
Yeyson Alejandro Becerra Mora y Sebastián Soto Gaona.....77

Editorial

La revista *#ashtag* de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) presenta en esta edición una selecta colección de trabajos orientados al empleo de la tecnología a favor del medio ambiente, la agricultura, los adultos mayores y los discapacitados. Esta publicación se debe al trabajo colaborativo entre la Coordinación de Publicaciones, la Dirección Nacional de Investigaciones y el Programa de Ingeniería Electrónica, que han motivado y asesorado la divulgación científica de algunos trabajos de grado notables, además del avance en algunos desarrollos tecnológicos e investigaciones de docentes en nuestra institución y en otras entidades, con el fin de socializar sus respectivos hallazgos en pro del fortalecimiento de la ingeniería colombiana.

En apoyo al interés mundial por lo ecológico, el artículo: “Sistema de supervisión y automatización del proceso de clarificación de agua en la planta de tratamiento de agua potable El Dorado” reporta el desarrollo de un sistema SCADA con el que se mejoró el proceso mediante el cual se desechan los residuos de la potabilización del agua, sin dañar el medio ambiente en los alrededores de la planta El Dorado de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Por su parte, el artículo: “Programa de reciclaje electrónico en Ingeniería Electrónica de la CUN” reporta la primer Reciclatón con la que se establece una actividad metódica orientada a la reutilización y recuperación de desechos eléctricos y electrónicos, con beneficios de carácter social para nuestra comunidad estudiantil.

En apoyo a la preocupación mundial por la vejez y la discapacidad, el artículo: “Juguetes, tecnología y discapacidad. Ingeniería aplicada al diseño de juguetes adaptados” presenta el diseño de un juego orientado a niños con ciertas discapacidades. Este tipo de aplicación electrónica es un desarrollo pionero en nuestra institución. Por otra parte, en el artículo: “Robótica asistencial y su interacción con entorno en oficinas” presenta el diseño de un robot híbrido orientado a la asistencia en espacios arquitectónicos interiores, dando pie a la asistencia social a la población de adultos mayores en sus propios hogares y también a personas con el tipo de discapacidades causadas por el conflicto armado en Colombia. Este tipo de robot también es un desarrollo pionero en nuestra institución y en ese mismo contexto el artículo: “Responsabilidad moral respecto a robots dotados con moralidad artificial heredada culturalmente mediante neuro-memes” plantea una reflexión al respecto. Finalmente, el artículo: “Actualidad en el agro colombiano y aprovechamiento de los recursos visto desde la robótica” muestra el uso de robots en la agricultura que, además de mejorar la producción agrícola, pueden ayudar a adultos mayores y discapacitados en las zonas rurales de Colombia.

Adicionalmente, la revista *#ashtag* invita a toda la comunidad académica a socializar estos trabajos con sus colegas y estudiantes, pues pueden ser una fuente de inspiración para continuar apoyando las nobles preocupaciones por la naturaleza y la humanidad vulnerable, desde la ingeniería. A la vez, los invitamos a publicar con nosotros, en estas o en otras áreas de su particular interés.

Dante Sterpin
Editor invitado

Sistema de supervisión y automatización del proceso de clarificación de agua en la planta de tratamiento de agua potable El Dorado

Fernando Martínez Santa, Javier Gamboa Torres**, Andrés Rodríguez Falla****

Resumen

El proceso de clarificación del agua que proviene del lavado de filtros en la planta El Dorado, de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), se realiza de manera manual. Este hecho genera retardos entre los procesos y desgaste y fatiga en los equipos que acortan su vida útil. Además, no se cuenta con un sistema SCADA, lo que, de paso, muestra que el proceso de clarificación de agua se encuentra aislado. Esto ocasiona que el tiempo en planta de los operarios no sea el adecuado y afecta la calidad de los procesos posteriores. Sería, por demás, aconsejable que las condiciones de turbiedad con las que llega el agua a las corrientes naturales presentaran la menor cantidad de partículas sólidas para que no afecten de forma considerable la vida silvestre, el cauce natural y el lecho de los ríos, es decir, sin causar daños irreversibles al medio ambiente.

Palabras clave: clarificación, condiciones de turbiedad, lavado de filtros, partículas sólidas, sistema SCADA

Abstract

The process of clarifying the water that comes from the washing of filters in the El Dorado plant, of the Water and Sewerage Company of Bogota (EAAB), is done manually. This fact generates delays between processes and wear and fatigue in equipment that shorten its useful life. In addition, there is no SCADA system, which, by the way, shows that the water clarification process is isolated. This causes that the time in plant of the operators is not adequate and affects the quality of the subsequent processes. It would also be advisable for turbidity conditions under which water reaches natural currents to have the least amount of solid particles so that they do not significantly affect wildlife and the natural bed of the rivers; in other words, without causing irreversible damage to environment.

Keywords: Clarify, Filter Washing, SCADA System, Solid Particles, Turbidity Conditions

* Docente en la Facultad Tecnológica Universidad Distrital (FJC). Contacto: fmartinezs@udistrital.edu.co

** Egresado de la Facultad Tecnológica Universidad Distrital (FJC). Contacto: gamtojafer@hotmail.com

*** Egresado de la Facultad Tecnológica Universidad Distrital (FJC). Contacto: and.rof@hotmail.com

Introducción

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) es una empresa pública prestadora de servicios de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial. Tiene 124 años de experiencia y abastece, con una de las mejores aguas del continente, cerca de 1 700 000 usuarios o predios en Bogotá y, además, presta servicios a 11 municipios vecinos.

En la zona sur se encuentra la planta de tratamiento El Dorado, que distribuye el agua potable a la población del suroriente de la ciudad. La planta se encuentra ubicada en la localidad de Usme. Esta se abastece del embalse La Regadera, situado a 11 Km de la planta. Posee una capacidad de 1600 l/s y produce actualmente 400 l/s de agua potable para satisfacer la demanda de 300 000 habitantes aproximadamente. La capacidad de abastecimiento de la planta es de 1,6 m³/s. (Acueducto, 2015). Esta planta se ha convertido en un punto estratégico, pues el crecimiento descontrolado de la ciudad ha aumentado la demanda de los servicios que presta la empresa, especialmente en el de abastecimiento de agua potable. Por ende, la exigencia de mejoras tecnológicas en dicha planta es inminente. La administración de la planta ha puesto en marcha una serie de proyectos que dan cumplimiento a los requerimientos necesarios para poder satisfacer las necesidades de los usuarios nuevos.

En dicha planta hay un subproceso que se encarga de reintegrar al medio ambiente algunos

de los residuos generados durante el proceso de potabilización, clarificando el agua proveniente del lavado de los filtros que se utilizan para potabilizar. Al clarificar el agua es necesario retirar la mayor cantidad de partículas sólidas y lodos inmersos en esta, pues el agua debe retornar a la quebrada en condiciones óptimas –que no afecten la quebrada y sus alrededores–.

El proceso de clarificación se realiza en tres etapas: dosificación, ecualizado y espesado. Estas se ejecutan de manera manual en la planta, hecho que exige la intervención constante de operarios que deben dividir su tiempo de trabajo y atención entre el subproceso de clarificación y los demás procesos propios de la planta en general. Bajo estas circunstancias, dicho proceso deja de ser monitoreado y controlado de manera precisa. Así, los resultados de la clarificación no son los mejores, pues, la vida útil de cada uno de los equipos se reduce considerablemente. En ocasiones, incluso se utilizan más reactivos de los necesarios y el proceso se aísla del cuarto de supervisión general de la planta.

Tras considerar esa situación, en este artículo se explica la implementación de un sistema automatizado que facilita el control y monitoreo de las variables propias del proceso de clarificación de agua en dicha planta. El empleo de esta tecnología garantiza la obtención de agua clarificada de mejor calidad, gracias a que permite un funcionamiento más eficiente de la planta.

Metodología

Caracterización de la etapa 1: canaleta Parshall

En esta etapa, el agua ingresa a un canal que se estrecha en su parte central y vuelve a su tamaño original al final del tramo (figura 1). Este sistema es ampliamente utilizado en plantas de tratamiento para calcular el caudal de agua que ingresa a determinado proceso. Además, se suele aprovechar la turbulencia producida para dosificar algún reactivo si es necesario.

Actualmente, la canaleta Parshall, que se utiliza en esta etapa, se encuentra sin instrumentación

alguna, por lo que no es posible calcular el caudal ni la turbiedad exactas con las que ingresa el agua al siguiente proceso. Además de ese problema, esta etapa previamente contaba con una bomba dosificadora de reactivo que fue retirada por deterioro. En ese sentido, también es un problema que este proceso no cuente con un sistema adecuado de dosificación para aplicar el reactivo a la corriente de agua (Reyes, 2004), pues se realiza manualmente.

Figura 1. Canaleta Parshall



Fuente: elaboración propia

Caracterización de la etapa 2: tanques ecualizadores

El agua proveniente de la Canaleta Parshall ingresa a los dos tanques que se observan en la figura 2. En su interior, el agua sufre un proceso de quietamiento: se deja en reposo cierto tiempo para que el reactivo agregado anteriormente y la gravedad surtan efecto. En este proceso, conocido como decantación, las partículas sólidas se unen unas con otras gracias al reactivo utilizado y, por efecto de la gravedad, se van acumulando en el fondo del tanque. Después de un tiempo y tras alcanzar la turbiedad

deseada en la parte alta y parte baja del tanque –baja y alta turbiedad respectivamente–, sigue el paso del lodo, que se encuentra en el fondo, al siguiente proceso. Por su parte, el agua clara de la parte superior es enviada hacia la quebrada. Estos dos procesos se realizan con la supervisión y el criterio de un operador que debería permanecer durante el tiempo que tome el proceso; sin embargo, por la rotación de turnos, el operador puede ser relevado.

Durante la ausencia del operario suelen suceder eventos que afectan considerablemente el proceso de clarificación. Uno de ellos es que los motores encargados de bombear el lodo o el agua permanezcan encendidos sin supervisión. Esto ocasiona que, en el bombeo de lodo al final, se registre abundante agua, afectando el siguiente proceso. Una vez bombeado todo el lodo, se hace fluir el agua clarificada hacia la quebrada hasta desocupar por completo el tanque. Este hecho

significa que, durante un lapso, las bombas quedan trabajando en vacío, lo que causa daños y exige mantenimientos constantes. Además de esto, los tanques no cuentan con la instrumentación necesaria para generar alarmas de niveles extremos, ni de turbiedad. Por otro lado, la instrumentación existente se encuentra en pésimas condiciones: los sensores de nivel bajo (flotadores) están deteriorados y no cumplen su función de manera adecuada.

Figura 2. Tanques para eculizado



Fuente: elaboración propia

Caracterización de la etapa 3: tanques espesadores

En esta etapa, el lodo que proviene de los tanques de eculizado se somete a un proceso de espesado. Este consiste en depositar el lodo en dos tanques de forma cónica (figura 3) para que una hélice central, que gira a velocidad constante, acumule el lodo en el fondo presionándolo para que sus partículas se condensen aún más y el agua se dirija a la parte superior del tanque. Una vez alcanzada la turbiedad requerida, el agua clarificada en la parte superior, por efecto del

rebose, se dirige hacia la quebrada (Suárez *et al.*, 2015). El lodo acumulado en el fondo debe seguir su curso hacia la segunda fase de la planta de lodos. En el proceso de espesado, el sistema de medición se hace por apertura manual de válvulas. Debido a la naturaleza del lodo se detectaron tuberías y válvulas obstruidas, además que algunas secciones están rotas. Por ende, no se tiene control sobre el agua clarificada que se espera como producto final.

Figura 3. Tanques de espesado

Fuente: elaboración propia

Funcionamiento general de una planta de lodos

La planta de tratamiento de lodos tiene por objeto evitar que la quebrada aledaña se contamine, pues esta recibe todos los desagües del proceso de tratamiento de agua potable, es decir, aguas provenientes del lavado de filtros, sedimentadores y floculadores. Hasta hace muy pocos años, en las estaciones de tratamiento de agua potable solo se gestionaba la producción de agua potable. En realidad, no se prestaba mucha atención a los lodos que se producían tanto en los sedimentadores como en el lavado de los filtros, pues se consideraba que, en definitiva, estos estaban formados por las sustancias que llevaban las

aguas naturales, o aguas brutas, generalmente inorgánicas, como arcillas, arenas finas o limos. Hoy en día se sabe que las aguas naturales se están degradando y contaminando por diversas circunstancias. También, hay mayor conciencia y presión medioambiental y legislativa que persuaden a los gestores de los abastecimientos con la idea de construir plantas de tratamiento para estos lodos, cuyo objetivo es extraer la materia sólida y obtener unos efluentes sin lodos que puedan ser vertidos al cauce, o bien, enviados a la cabecera del tratamiento en la siguiente fase, junto al agua bruta (Ambientum., 2002).

Solución implementada

Selección del controlador lógico programable (PLC)

Se seleccionó el PLC serie Ponto PO3342 del fabricante brasileño Altus (Altus, 2011b), debido básicamente a que las instalaciones ya contaban con este controlador y con los módulos para las interfaces de comunicación Ethernet y Profibus –necesarias para la red de instrumentación de campo y el sistema de supervisión–. No fue

viabile cambiar el PLC debido a que el tiempo de gestión y adquisición de dichos equipos era de aproximadamente un año, lo que prolongaba el tiempo de ejecución del proyecto, además de la limitación de recursos económicos. La otra alternativa contemplada era un PLC de Telemecanique –disponible en el almacén de repuestos de

la planta-. Sin embargo, fue rechazada por su tecnología de vieja data y por no contar con el módulo de conexión Ethernet para la

supervisión SCADA (Sistemas Digitales de Control 2002 SL, 2014).

Selección de los sensores

Una vez identificado el PLC a trabajar, la selección de los sensores de nivel y turbiedad se realizó teniendo en cuenta las tablas 1 y 2. La instrumentación para sensar requería de un rango de medición mayor a 5m, 0 a 9999 NTU, comunicación PROFIBUS PA (PROcess Field BUS in Process Automation), y protección mínima al

polvo y máxima al agua, pues se debía instalar a la intemperie y muy cerca a los tanques de tratamiento. Por lo anterior, se seleccionó el sensor de nivel Prosonic M FMU40 (Endress+Hauser, 2008) y el sensor de turbiedad Liquisys M CUM 223 (Endress+Hauser, 2006).

Tabla 1. Sensores de nivel disponibles en el almacén de la planta

Ref.	Rango	Com.	IP
VEGAPULS WL 61 VEGA	0-15 m (Radar)	4-20mA	66-68
LVU 809 OMEGA	0-3 m (ultrasonido)	4-20mA	65
Prosonic M FMU40 Endress+ Hauser	0-5 m (ultrasonido)	Hart, PROFIBUS PA, Fieldbus Foundation (San- tis y Villa, 2009)	68

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Sensores de Turbiedad disponibles en el almacén de la planta

Ref.	Rango	Com.	IP
Liquisys M CUM 223	0 - 9999 FNU	Hart, PROFIBUS PA/ DP	65
VISO TURB 700 YSI	0,05 - 4000 FNU	Fielbus Foundation	68
SOLITAX sc HACH	0,001 - 4000 FNU	4-20ma, MODBUS (Tecnología Digital del Bajío, 2012)	67

Fuente: elaboración propia

Intervención en la etapa 1

Como se expuso anteriormente, esta etapa no cuenta con ningún tipo de instrumentación, por lo que exige la implementación de un sensor de nivel que ayude a determinar el caudal de agua que transita por la canaleta. También se debe implementar un sensor de turbiedad, cuya lectura, y con el valor del caudal obtenido, se utilizan para comparar las condiciones del agua que ingresa a las etapas de equalizado y espesado, y la que viene después de dichos subprocesos.

La canaleta es un sistema de aforo con una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un determinado canal. Los medidores Parshall se nombran por el ancho de su garganta, siendo sus partes: 1) la transición de entrada, 2) la sección convergente, 3) la garganta, y 4) la sección divergente.

El aforador Parshall es una reducción de la sección del canal que obliga al agua a elevarse o a remansarse para luego volver a descender hasta el nivel inicial sin el aforador. En este proceso se

presenta una aceleración del flujo que permite establecer la relación matemática entre la altura de carga, o elevación, que alcanza el agua y el caudal que circula a través del dispositivo. La única medida a tomar es la altura h del nivel que alcanza el agua en un punto cercano al comienzo de la sección convergente. Luego se aplica la ecuación 1 para calcular el caudal (Lux, 2010). Sus valores se indican en la figura 4.

$$Q = Kh^n$$

Ecuación 1. Cálculo del caudal en la canaleta Parshall.

Las variables de este proceso son: 1) el nivel del agua, medido dentro de la cámara de quietamiento de la canaleta Parshall; 2) el nivel de turbiedad, medido dentro de la cámara de quietamiento de la canaleta Parshall, y 3) el caudal de agua, calculado con la ecuación 1 y los valores de la tabla 3, referentes a la canaleta propia de este proceso y utilizando el valor de h correspondiente.

Figura 4. Valores para calcular el caudal según dimensiones de la canaleta

W		n	K	
S.I.	m.		unidades métricas	unidades inglesas
3"	0.076	1.547	0.176	0.992
6"	0.152	1.580	0.381	2.06
9"	0.229	1.530	0.535	3.07
1'	0.305	1.522	0.690	4.00
1 1/2'	0.457	1.538	1.054	6.00
2'	0.610	1.550	1.426	8.00
3'	0.915	1.566	2.182	12.00
4'	1.220	1.578	2.935	16.00
5'	1.525	1.587	3.728	20.00

En la figura 5 se muestran las medidas de la infraestructura relacionada con este proceso. Con el uso de los valores de la figura 4 se obtienen los valores registrados en la tabla 3.

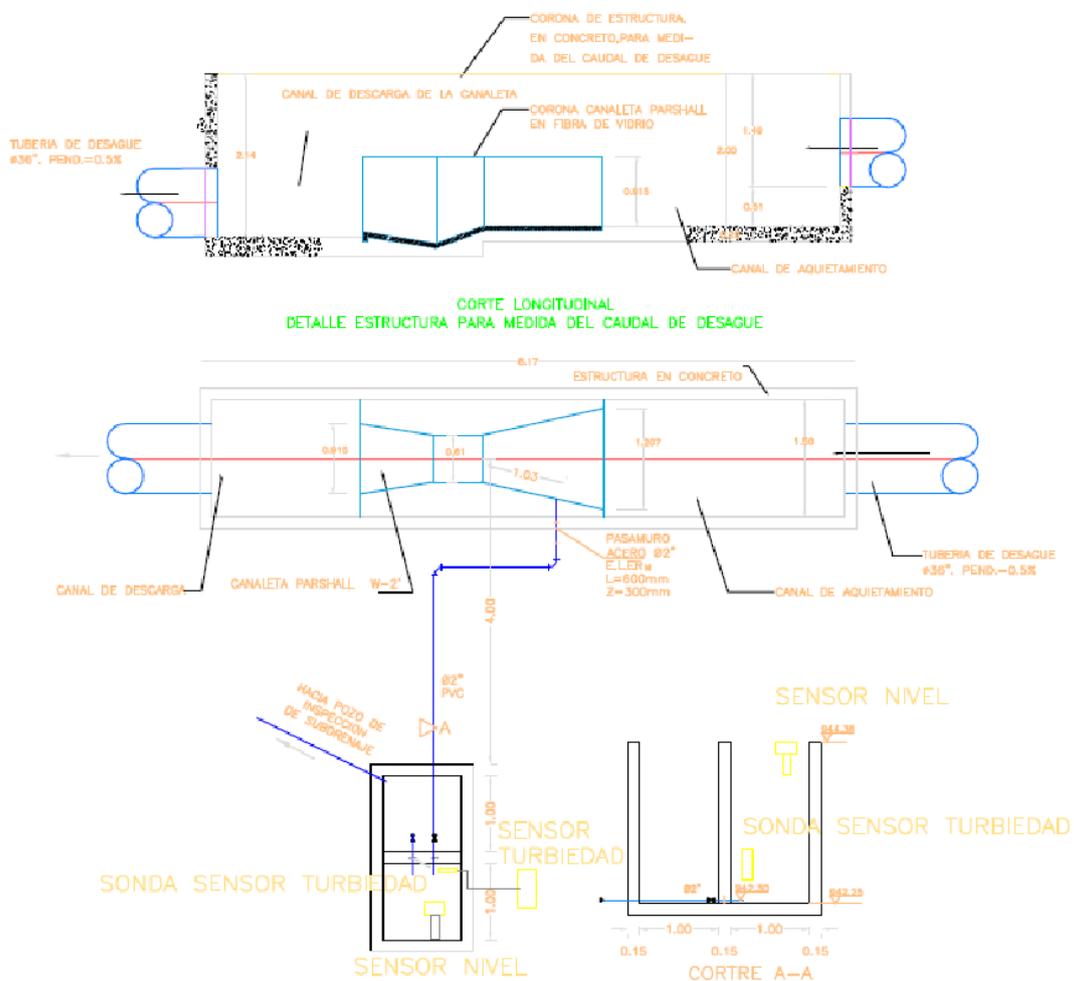
Tabla 3. Valores del caudal mínimo y máximo en la Canaleta Parshall

Datos canaleta Parshall	
Ancho de garganta W	2' (pies), o 61 cm
Altura máxima	0,9 m
Valor variable K	1,426
Valor variable n	1,55

Caudal Q	l/s	m ³ /s	m ³ /h
Máximo	1210	1,2	4320
Mínimo	117	0,117	421

Fuente: elaboración propia

Figura 5. Plano general de la canaleta Parshall



Fuente: elaboración propia

Sensor de nivel ultrasónico

Este sensor fue seleccionado, según las existencias, en el almacén de repuestos de la EAAB. Su elección tuvo en cuenta las dimensiones de la canaleta Parshall (figura 5) y el hecho de que el

controlador principal (PLC) dispone de un módulo de comunicación PROFIBUS. Así, el sensor implementado es el Prosonic M FMU40.

Implementación del sensor

Debido a la turbulencia y a la fuerza con la que ingresa el agua a la canaleta, el sensor debe instalarse en una cámara de quietamiento próxima a la canaleta (figura 7) para que pueda capturar

medidas más adecuadas del nivel del agua. Este sensor hace parte de la red PROFIBUS implementada y su dirección es la 01. La figura 6 presenta un esquema de dicha red.

Sensor de turbiedad

Este sensor fue seleccionado, según las existencias, en el almacén de la EAAB. Su elección tuvo en cuenta que el controlador principal (PLC) tiene un módulo de comunicación PROFIBUS y el nivel máximo de turbiedad permitida; es decir,

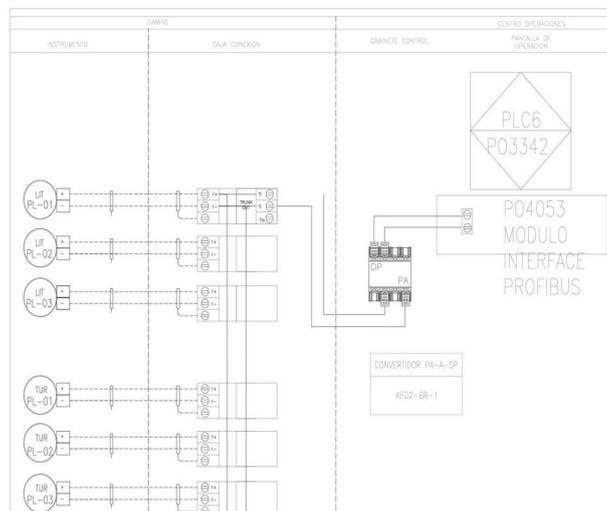
el valor mínimo de turbiedad en el agua para circular hacia la quebrada y el valor máximo de turbiedad en el agua que transita por la canaleta. Así, el sensor implementado es el Liquisys M CUM 223.

Implementación del sensor

Debido a la turbulencia y a la fuerza con la que ingresa el agua, el sensor debe instalarse en una cámara de quietamiento, próxima a la canaleta de la figura 5, para que pueda hacer medidas

más adecuadas de la turbiedad del agua. Este sensor hace parte de la red PROFIBUS, detallada en la figura 6, y su dirección es la 02.

Figura 6. Esquema de la red PROFIBUS



Alarma 1: turbiedad mínima

Como su nombre lo indica, esta alarma se genera cuando el nivel de turbiedad es mínimo –menor a 100 NTU–, es decir, es el adecuado para seguir su curso directo hacia la quebrada. Esta alarma se puede dar en dos ocasiones:

1. Cuando el agua ya está clarificada por el último lavado de los filtros.
2. Cuando hay exceso de agua y los procesos de potabilización no permiten el ingreso de más

agua. Entonces, se excluye el agua sobrante y se permite el paso directo a la quebrada.

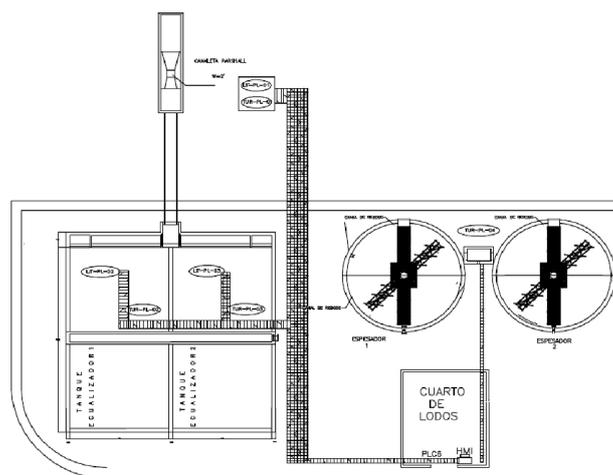
En estos casos, se genera una alarma en la interfaz hombre-máquina (HMI) del cuarto de lodos (figura 7) y una alarma en el Supervisorio General, con el fin de que un operario abra la válvula manual que da paso al agua hacia la quebrada.

Intervención en la etapa 2

En los tanques ecualizadores había dos sensores de nivel tipo flotador que generaban alarmas de nivel muy bajo. Por falta de mantenimiento, se encuentran en pésimas condiciones y no cumplen con la función para la cual fueron instalados. Con el ánimo de cumplir este requerimiento se implementaron dos sensores de nivel

ultrasónicos, uno en cada tanque, para determinar el nivel máximo. También se utilizan los sensores de nivel para generar una alarma cuando el agua alcance el nivel mínimo y, así mismo, detener el funcionamiento de las bombas y proteger su integridad.

Figura 7. Ubicación del cuarto de lodos y HMI



Fuente: Elaboración propia

Además, este proceso tampoco cuenta con la instrumentación necesaria para determinar cuándo debe pasar el agua hacia la quebrada o cuándo

debe pasar al siguiente proceso. Como se señaló anteriormente, esta decisión depende del criterio del operario, quien, en muchas ocasiones,

debe tomar una muestra de agua con un dispositivo rudimentario de fabricación manual (figura 8) para llevarla al laboratorio de química de la planta y analizar la turbiedad.

Sensor de nivel ultrasónico

Este sensor, uno por cada tanque, fue seleccionado, según las existencias, en el almacén de la EAAB. Su elección tuvo en cuenta las dimensiones de los tanques de equalizado (figura 5) y que el

Las variables de este proceso son: 1) el nivel del agua, medida desde la parte central de la superficie de cada tanque, y 2) el nivel de turbiedad, medida a 4,10 m de la superficie de cada tanque.

controlador principal (PLC) tiene un módulo de comunicación PROFIBUS. Así, el sensor implementado es el Prosonic M FMU40.

Figura 8. Vasija para tomar la muestra de turbiedad



Fuente: elaboración propia

Implementación del sensor

Cada uno de estos sensores fue instalado en la superficie de su respectivo tanque, en el borde de la pasarela (figura 9). Estos sensores hacen

parte de la red PROFIBUS y sus direcciones correspondientes son la 03 y 04 (figura 6).

Sensor de turbiedad

Este sensor, uno por tanque, fue seleccionado, según las existencias, en el almacén de repuestos de la EAAB. Su elección tuvo en cuenta que el controlador principal (PLC) tiene un módulo de comunicación PROFIBUS y el nivel máximo de turbiedad

permitida –el valor mínimo de turbiedad en el agua hacia la quebrada y el valor máximo que puede tomar la turbiedad del agua que circula hacia el proceso en los tanques espesadores–. Así, el sensor instalado es el Liquisys M CUM 223.

Implementación del sensor

La sonda de cada uno de los sensores de turbiedad se instala a 4,10 m, suspendidos desde el borde superior central de los tanques y asegurados a la pasarela. Los controladores de cada

sensor se ajustan en el borde de la pasarela, tal como se detalla en la figura 9. Estos sensores hacen parte de la red PROFIBUS y sus direcciones son la 05 y 06 (figura 6).

Figura 9. Instalación de los sensores de turbiedad



Fuente: elaboración propia

Alarma 1: turbiedad mínima

Como su nombre lo indica, esta alarma se genera cuando el nivel de turbiedad es mínimo –menor a 50 NTU–, es decir, el adecuado para seguir su curso directo hacia la quebrada. Esta alarma se puede dar en tres ocasiones:

1. Cuando el agua ya está clarificada por el último lavado de los filtros.
2. Cuando hay exceso de agua y los procesos de potabilización no permiten el ingreso de más agua. Entonces, el restante se excluye, de tal

manera que el agua sobrante pasa directo a la quebrada.

3. Cuando el proceso en los tanques equalizadores se ha llevado a cabo y se ha enviado el lodo hacia los tanques espesadores. Entonces, el agua clarificada debe ser enviada a la quebrada.

Para los tres casos anteriores, se genera una alarma en el HMI del cuarto de lodos (figura 7) y una alarma en el SCADA, con el fin de que un operario abra la válvula manual que da paso al agua hacia la quebrada.

Alarma 2: nivel mínimo

Esta alarma se genera cuando el agua dentro de los dos tanques alcanza el nivel mínimo. Esta indica que los motores deben ser apagados de

manera automática para evitar daños por funcionamiento en el vacío. Esta alarma genera un indicador en el HMI del cuarto de lodos y en el SCADA.

Alarma 3: nivel máximo

Esta alarma se genera cuando el agua dentro de los dos tanques alcanza el nivel máximo. Esta indica a los operarios que se debe cerrar

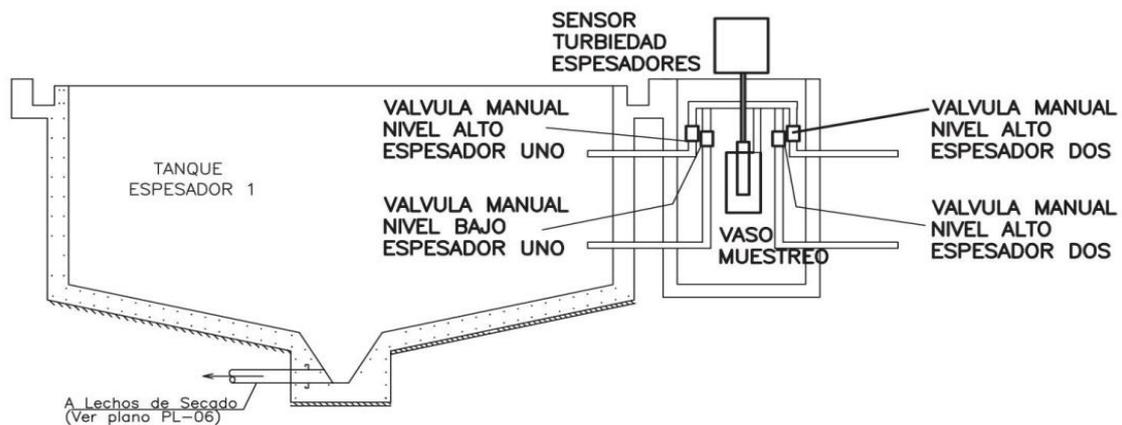
la compuerta principal para evitar el rebose de agua sin clarificar. Esta alarma genera un indicador en el HMI del cuarto de lodos y en el SCADA.

Intervención en la etapa 3

En los tanques espesadores hay cuatro válvulas manuales, dos por cada tanque, y a diferente altura. Estas válvulas se encuentran conectadas a

la sonda de un sensor de turbiedad o al vaso de muestreo indicado en la figura 10.

Figura 10. Instrumentación en los tanques espesadores



Fuente: elaboración propia

Este sistema se utiliza para tomar la turbiedad en los diferentes puntos de manera manual, al abrir una válvula a la vez. Cabe recordar que dichas válvulas, y su respectiva tubería, estaban obstruidas por lodo seco, pues no habían recibido mantenimiento.

calidad del agua que pasa a la quebrada, por efecto del rebose, sea la adecuada ni que el lodo que pasa hacia la segunda fase tenga la turbiedad necesaria.

De acuerdo a la turbiedad obtenida en el fondo, se da el paso hacia la fase dos. Como el sistema de medición se encontraba obstruido, el operador, por simple inspección, toma la decisión correspondiente, sin tener la certeza de que la

La variable de este proceso es el nivel de turbiedad, medido a 4,10 m de la superficie de cada tanque para validar la concentración de lodo en el fondo. También se mide a 30 cm de la superficie para monitorear la calidad del agua que es evacuada hacia la quebrada.

Sensor de turbiedad

Este sensor, uno para los dos tanques, ya estaba instalado. Tras su respectivo mantenimiento, se conectó a la red PROFIBUS del sistema.

El sensor instalado es el Lquisys M CUM 223. Para implementarlo se realizó el necesario mantenimiento de las tuberías y las válvulas, dos por

cada tanque. Dos de ellas se ubican el nivel superior de cada tanque y las otras dos en el nivel inferior. Estas se conectan directamente con la sonda de medición del turbidímetro (figura 10). Este sensor hace parte de la red PROFIBUS y su dirección es la 06 (figura 6).

Alarma 1: nivel turbiedad para la quebrada

Como su nombre lo indica, esta alarma se genera cuando el nivel de turbiedad en la parte superior es mínimo -menor a 50 NTU-, es decir, el adecuado para seguir su curso directo hacia la quebrada. Esta alarma se genera con el fin de continuar con el bombeo de lodo desde los

tanques ecualizadores y así pueda continuar la acción de rebose. Cuando esta alarma se genera, de manera automática se enciendan los motores del bombeo de los ecualizadores y se muestra su acción en el HMI del cuarto de lodos y en el SCADA del supervisorio general de la planta.

Alarma 2: nivel de turbiedad alto para la quebrada

Esta alarma se genera cuando el nivel de turbiedad en la parte superior de los espesadores es muy alto -mayor a 50 NTU- para que el agua

circule hacia la quebrada. Cuando esta Alarma se genera, de manera automática se detiene el bombeo desde los ecualizadores.

Alarma 3: nivel de turbiedad alto para fase 2

Esta alarma se genera cuando el nivel de turbiedad en la parte inferior de los espesadores es muy alto -mayor a 500 NTU-, es decir, el valor indicado para que el lodo circule hacia la fase dos. Cuando esta alarma se genera, se indica en

el HMI y en el SCADA para que el operador realice la apertura de las válvulas que llevan el lodo hacia la segunda fase. Además, detiene el bombeo desde los ecualizadores.

Supervisorio (SCADA)

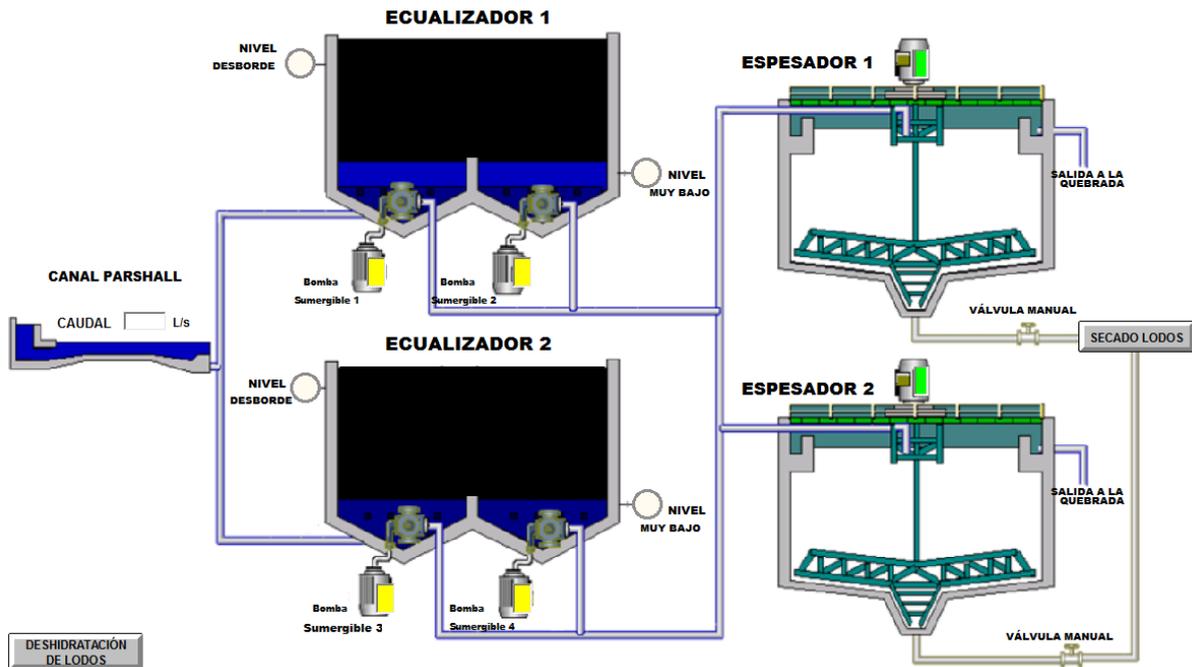
El sistema SCADA, desarrollado e implementado, se realizó con el *software* Indusoft ® Web Studio, debido a que la planta cuenta con la licencia de este producto. Además, el SCADA de toda la planta de tratamiento de agua potable El Dorado también esta soportado por esta misma plataforma.

La comunicación se efectuó mediante Ethernet TCP/IP (Geronimo, 2005) y el entorno, en general, se diseñó para permitirle al usuario supervisar todos los sensores, el caudal de la canaleta Parshall, el estado de operación de las bombas sumergibles en los tanques ecualizadores, su

nivel de agua, la turbiedad en estos y en los tanques espesadores, así como las alarmas anteriormente descritas. En la figura 11 se puede

observar un mímico general de todo el proceso de clarificación.

Figura 11. Sistema SCADA del proceso de clarificación de agua en la planta de lodos



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Pese a encontrar grandes limitaciones de índole económico y administrativo en la planta El Dorado de la EAAB, que no permitieron realizar un sistema totalmente automatizado, el sistema implementado cumple con los requisitos de funcionamiento del proceso de lodos, que se pretendía en este proyecto. Dicho sistema fue implementado, en parte, reutilizando equipos que habían salido de funcionamiento en otras plantas de la EAAB, y así se solucionaron los problemas encontrados en las tres etapas del proceso de clarificación.

El sistema implementado monitorea constantemente la turbiedad del agua hacia la quebrada, lo que mejora notablemente su calidad y evita la afectación de las poblaciones y cultivos vecinos que usan este líquido, porque el 100 % del agua clarificada que se dispone hacia la quebrada está por debajo del nivel requerido por el EAAB, es decir, menos de 100 NTU.

Gracias a la implementación del proyecto, los ingenieros encargados de la supervisión ahora cuentan con un sistema SCADA con el que pueden monitorear constantemente las distintas etapas

del proceso y, a su vez, ejercer control sobre la intervención oportuna que deben realizar los operadores cuando el proceso así lo requiera, abriendo o cerrando compuertas.

Una vez puesto en marcha el proyecto, el tiempo de permanencia de los operarios que supervisaban presencialmente el proceso se redujo. Previamente, todo el proceso tardaba aproximadamente 7 horas y ahora tarda aproximadamente 5 horas, de acuerdo a la turbiedad y volumen del agua. El tiempo del operario supervisor del proceso se redujo, lo que da pie para ayudar a otras actividades de tratamiento de agua potable. Antes de la puesta en marcha del proyecto, el proceso de clarificación se realizaba dos veces al día; ahora, con los sensores de turbiedad implementados, se pueden realizar hasta tres procesos por día.

Se observó una reducción en el mantenimiento correctivo en las bombas sumergibles, pues antes se realizaba una vez al mes. Con el sistema implementado no ha sido necesario realizar ningún mantenimiento correctivo desde hace tres meses.

Con el sistema y el algoritmo implementado en las etapas canaleta Parshall y en los tanques ecualizadores se logró mejorar el homogenizado de la mezcla, tanto de lodo como de agua. Por lo general, y de acuerdo a él, volumen y turbiedad del agua las 2/3 partes son de agua clarificada y 1/3 de lodo, para continuar a la siguiente etapa.

Al disponer de controladores PO3342 de Altus (Altus, 2011b) –de los cuales no hay mucha información en la web o en libros, y el fabricante no ofrece soporte si no hay un contrato de mantenimiento establecido– se utilizó la metodología de ensayo y error en diversas pruebas realizadas, mientras nos apoyábamos en la lectura constante

de los manuales (Altus, 2001, y Altus, 2011a). Se lograron integrar todos dispositivos necesarios para el proyecto, además de configurarlos para la correcta ejecución de tareas en los requisitos establecidos.

La interfaz hombre-máquina permitió supervisar, integrar, identificar y sugerir el estado de dispositivos totalmente operativos por seres humanos en el sistema de supervisión, y, en efecto, para realizar un mejor proceso de automatización; por ejemplo, con las compuertas y válvulas de acceso y salida de líquidos o lodos (Sistemas Digitales de Control 2002 SL, 2014).

La implementación de una red industrial, como lo es PROFIBUS, permitió, en gran medida, el desarrollo del proyecto, pues gracias a este protocolo se logró disminuir el costo del presupuesto y se ahorró en cableado y en costo de adquisición de nuevos módulos para el PLC Altus. Así mismo, facilitó la implementación y configuración de la instrumentación requerida para cada una de las etapas, lo que demuestra que es una herramienta de alto nivel para procesos industriales a gran escala.

La inclusión de la comunicación vía Ethernet (Geronimo, 2005) facilitó ampliamente conseguir la integración del proceso de clarificación con el supervisorio general de la planta El Dorado. Para ello se empleó el *software* Indusoft®.

El grado de automatización conseguido durante el proceso de clarificación de agua, si bien no fue total, sirvió para mejorar la calidad del agua que fluye hacia los torrentes naturales y para mejorar la consistencia del lodo restante que ingresa a la siguiente fase, es decir, la deshidratación.

El sistema de alarmas integrado al proyecto, además de cumplir con cuidar la integridad de

los elementos y del proceso, permitiría a futuro, de acuerdo a un presupuesto asignado, actualizar o reestructurar este proceso, y adquirir equipos necesarios para la automatización total que

puedan ser integrados al sistema sin mayores inconvenientes (Sistemas Digitales de Control 2002 SL, 2014).

Referencias

- Acueducto. (2015). Agua y Alcantarillado de Bogotá. Recuperado de <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal>
- Altus. (2001). *Manual de Utilização da Série Ponto* [recurso en línea]. Recuperado de <http://www.altusarg.com.ar/manuales/Mu209000.pdf>
- Altus. (2011a). *Características e Configuração da Série Ponto* [recurso en línea]. Recuperado de <http://dualtechautomacao.com.br/Produtos/CT109000.pdf>
- Altus. (2011b). *Manual de Utilização PO3042/PO3142 PO3242/PO3342 UCPs Série PONTO, MU209104* [recurso en línea]. Recuperado de <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AQEH/2>
- Ambientum. (2002). Deshidratación de fangos. Revista Ambientum, Recuperado de http://www.ambientum.com/revista/2002_40/DSHDRTCEN1.asp
- Endress+Hauser. (2006). *Turbidity/Suspended Solids Measurement Liquisys M CUM 223 / 253. Technical Information, TI 200C/07/en, No. 51500283* [recurso en línea]. Recuperado de <http://www.merteh.lv/eh/pdf/TI200CEN.PDF>
- Endress+Hauser. (2008). *Prosonic M FMU40/41/42/43/44 - Medición de nivel ultrasónica. Información técnica, TI365F/23/es* [recurso en línea]. Recuperado de https://portal.endress.com/wa001/dla/5000000/1439/000/01/TI365Fes_v04.07.pdf
- Geronimo, G. (2005). *Ethernet y protocolos TCP/IPv4* [recurso en línea]. Recuperado de <https://silو.tips/download/ethernet-y-protocolos-tcp-ipv4>
- Lux, M. (2010). *Medidores de flujo en canales abiertos* [trabajo de grado]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf
- Reyes, W. (2004). Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento para la potabilización de agua del municipio de Cerrito (Santander) [trabajo de especialización]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/114456.pdf>



-
- Santis, M. y Villa, E. (2009). *Estudio del protocolo Fielbus y aplicación práctica con el controlador SMAR DF51 para el manejo de instrumentos industriales* [trabajo de especialización]. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/523/digital_17957.pdf
- Sistemas Digitales de Control 2002 SL. (2014). Desarrollo de software SCADAS [recurso en línea]. Recuperado de http://www.sistemas2002.com/Area_Industrial/Scada/
- Suárez, J., Jácome, A. y Ures, P. (2015). *Tecnologías de espesamiento (FT-FNG-001). Serie: tratamiento de fangos*. España: Universidad de la Coruña; INDITEX. Recuperado de <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Tecnologías+de+espesamiento.pdf/5937d248-06a9-c654-cd44-4583aca5acdb>
- Tecnología Digital del Bajío. (2012). ¿Qué es el MODBUS? MODBUS parte III [entrada de blog]. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/239880944/2-Modbus-Parte-III>

Programa de reciclaje electrónico en Ingeniería Electrónica de la CUN

Jessica Rodríguez Velásquez, Stefany Zuluaga Zubieta**, Daniela Mosquera Osuna****

Resumen

Este artículo tiene la finalidad de socializar a todas las universidades que ofertan programas de ingeniería electrónica, el desarrollo de un programa de reciclaje electrónico. Este partió como una iniciativa del semillero de investigación ElectroCUN que busca hacer frente al gran problema de la contaminación del medio ambiente por el pésimo manejo de los residuos eléctricos y electrónicos, habitualmente tratados como basura común. En este trabajo se detallan algunas empresas colombianas que han asumido esta misión, pero se nota necesario que en las universidades también se practique el reciclaje electrónico, actividad beneficiosa para las instituciones, los estudiantes y el ecosistema.

Palabras clave: artesanías basadas en residuos electrónicos, reciclaje, recuperación, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Abstract

This paper aims to socialize to all universities that offer electronic engineering programs, the developing of an electronic recycling program. This started as an initiative of the ElectroCUN research group, that seeks to tackle the big problem of environmental pollution by the poor management of electrical and electronic waste, usually treated as common waste. This paper details some Colombian companies that have assumed this mission, to point out the need for universities to also practice e-recycling, a beneficial activity for institutions, students and the ecosystem.

Keywords: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Recycling, Recovery, Electronic Waste-Based Handicraft.

* Estudiante del programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN).
Contacto: jessica.rodriguezve@cun.edu.co

** Estudiante del programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN).
Contacto: stefanny.zuluaga@cun.edu.co

*** Estudiante del programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN).
Contacto: daniela.mosquera@cun.edu.co



Introducción

Los residuos electrónicos son un gran problema para el medio ambiente por su corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o porque contienen sustancias dañinas que los hacen potencialmente peligrosos. Por ende, es preciso implementar programas locales de reciclaje electrónico que manejen dichos residuos y así evitar la contaminación producida por los elementos químicos que expulsan en el transcurso del tiempo.

El progreso tecnológico ha aumentado cada vez más y, con el pasar del tiempo, también aumentan más los residuos electrónicos. Por eso, algunas empresas han decidido enfrentar este problema recolectando particularmente artefactos que ya no se usan en los hogares o que, con el pasar el tiempo, se han vuelto obsoletos.

Reciclaje electrónico

En la actualidad, muchas personas aún desconocen que los electrodomésticos y aparatos electrónicos se pueden reciclar o que tienen componentes reciclables. De algunos de ellos se pueden extraer y almacenar sus tarjetas electrónicas con el propósito de reutilizarlas en la reparación de otros dispositivos.

Una manera de lograr que las personas tomen conciencia y enfrenten el potencial impacto negativo de dichos aparatos en el medio ambiente es enseñarles algunas técnicas sencillas de este

Actualmente, en el programa de Ingeniería Electrónica de la CUN no se ha establecido ningún procedimiento de reciclaje para equipos obsoletos, ni para reciclar los componentes electrónicos que pueden obtenerse de artefactos eléctricos o electrónicos que ya no se usan o que ya han finalizado su vida útil de funcionamiento. Frente a dicha situación, en el semillero de investigación ElectroCUN se está considerando una posible alternativa que beneficiaría a toda la comunidad del programa de Ingeniería Electrónica de la institución: disponer estratégicamente de los residuos eléctricos y electrónicos, es decir, establecer un sistema de recolección, evaluación y clasificación de dichos residuos, con el propósito de organizarlos y promover su uso tanto en aplicaciones electrónicas como en otras instancias ajenas a la electrónica.

tipo de reciclaje o, al menos, indicarles a dónde llevar los aparatos que ya no son utilizados para su apropiado reciclaje. Los aparatos eléctricos y electrónicos son cada vez más numerosos en nuestras vidas y, en general, pueden ser agrupados en pequeños y grandes electrodomésticos, computadores, equipos de radio y comunicaciones, aparatos electrónicos enfocados al entretenimiento, dispositivos de iluminación, herramientas eléctricas, equipos deportivos, equipos médicos, instrumentos electrónicos y máquinas expendedoras (Velásquez, 2016).

Reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE)

Los ciudadanos concienciados con el medio ambiente deberían aplicar las tres erres de la ecología (Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad, 2014) en el contexto de los aparatos eléctricos y electrónicos, así:

Reducir: disminuir la cantidad de AEE, empleados tanto en el hogar como en las empresas, al utilizar solo los más necesarios para la vida diaria.

Reutilizar: extender el uso de dichos aparatos antes de desecharlos, mientras aún funcionen completa o parcialmente. Estos se pueden reparar, vender, donar o intercambiar por otros.

Reciclar: procurar la actualización de dichos aparatos mediante fabricantes que dan la opción de recibir los viejos modelos como parte de pago. Así, dichos fabricantes, u otras empresas de reciclaje, se encargan de descomponer los AEE en piezas que puedan reutilizarse o en materiales que sirvan como materia prima para fabricar nuevos productos.

Se puede incluso considerar una erre más: *recuperar*. En un sentido más amplio al de reutilizar,

esta última promueve el uso de los materiales reciclados en la fabricación de objetos funcionalmente diferentes, hecho que permite pensar la creación de empresas distintas (Borrás, 2018). Así, en este trabajo se consideró esta otra erre al emplear materiales reciclados de AEE para elaborar nuevos utensilios que cumplan funciones muy diferentes a las establecidas en su diseño original y que puedan ser un potencial origen de microempresas.

Para justificar la necesidad de reciclar los AEE, el líder de la gestión ambiental de Une, José Jaime Restrepo, señala que “cuando llegan a un relleno sanitario inadecuado, al suelo o a una quebrada, los equipos electrónicos pueden lixiviar [filtrar] metales pesados, que pueden llegar al agua, al aire o a los animales” (Peñarredonda, 2013).

En cuanto al éxito en este proceso, dicho funcionario dice que del 35 % al 40 % de los equipos electrónicos logran reutilizarse, y que logran recuperarse hasta el 92 % de los materiales reciclados, para finalmente desechar apropiadamente los residuos que no pueden aprovecharse (Peñarredonda, 2013).

Empresas de reciclaje electrónico en Colombia

Pilas Colombia

“Pilas con el Ambiente” es el programa de recolección de pilas usadas liderado por la Andi, cuyo objetivo principal es cerrar el ciclo de vida del producto de manera conjunta con el consumidor y beneficiar así al medio ambiente. Los miembros de este sistema son: Almacenes Éxito S. A., Coéxito S. A., Electrón Colombia S. A. S.,

Energía Integral Andina S. A., Eveready de Colombia S. A., Foto del Oriente Ltda., General Motors Colmotores S. A., Importadora AMG S. A. S., Nacional de Pilas Occidente S. A. S., Procter & Gamble Ltda., Spectrum Brands Colombia S. A., Starkey Laboratories Colombia Ltda. (Pilas Colombia, 2010).

EcoCómputo

EcoCómputo está conformado por varias empresas cuyo propósito es recolectar residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), en particular, provenientes de equipos computacionales. Este colectivo surgió frente a la gestión del Gobierno Nacional, en procura de la

responsabilidad social empresarial, para darle un manejo adecuado a dicho tipo de residuos en Colombia y cumplir con la Resolución 1512 de 2010, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (Velásquez, 2016).

Lúmina

Al contrastar los bombillos, o lámparas incandescentes, con las lámparas fluorescentes compactas (LFC), se tiene como desventaja que estas últimas contienen una pequeña cantidad de mercurio, por lo cual requieren de un adecuado proceso de reciclaje (DesignBlog, 2011). Lúmina está comprometida con el total aprovechamiento

de los residuos de las bombillas eléctricas, de conformidad con la Resolución 1511 de agosto de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y del Decreto 4741 de 2005 (Sánchez, 2016).

Click on Green

Esta empresa nació con el interés de atender el problema del inadecuado tratamiento de la basura electrónica, al considerar que el 90 % de los materiales en los RAEE es recuperable como materia prima en la industria. Por ello, se ha comprometido con disponer apropiadamente de los

componentes propios de equipos computacionales y periféricos. Para este fin, emplea altos estándares de calidad y seguridad, y garantiza el borrado de información confidencial (Click on Green, 2012).

Universidades que manejan reciclaje electrónico

Pese a que en Bogotá hay al menos unas diez instituciones de educación superior que tienen programas de ingeniería electrónica –en cierta forma, semejantes al que se oferta en la CUN–, solo se encontró evidencia de reciclaje electrónico en una universidad. El proyecto de reciclaje electrónico de la Universidad Nacional de Colombia pretende realizar una conexión

directa con las empresas que manejan equipos electrónicos y concientizarlas del gran beneficio ambiental que conlleva el manejo apropiado de los residuos electrónicos, además del potencial beneficio económico que esto significa para las empresas y sus trabajadores (*Unimedios*, 22 de julio de 2016).

Desarrollo del programa de reciclaje en la CUN

Con la finalidad de concientizar a la comunidad del programa de Ingeniería Electrónica de la CUN sobre la importancia y los potenciales beneficios de hacer reciclaje electrónico, se organizó una Reciclatón. Este evento se planeó para recolectar desechos eléctricos y electrónicos. En la figura 1 se muestra el respectivo afiche publicitario. A través del correo electrónico y la promoción directa en cada salón de clase, se informó a los estudiantes sobre el programa de reciclaje electrónico organizado por el semillero de investigación ElectroCUN.

Figura 1. Publicidad de la Reciclatón



Fuente: elaboración propia

El punto de recolección se ubicó en la Sede O de la CUN, tal como se detalla en la figura 2. Tras constatar la intención de algunos estudiantes de

aportar más elementos eléctricos y electrónicos, el plazo inicialmente establecido para esta recolección debió extenderse.

Figura 2. Jornada de recolección de RAEE en la CUN



Fuente: elaboración propia

Tras la Reciclatón, se catalogaron los componentes recolectados en funcionales y no funcionales. La clasificación de los componentes funcionales exigió una revisión técnica, en particular de los motores (Electrotec, 6 de noviembre de 2014; Higinio, 9 de septiembre de 2016) y las fuentes de PC (DaeNET, 2009; Joshuamarius, 11 de octubre de 2009). Esto con el propósito de establecer un sistema de dispensación que facilite, en calidad de préstamo, componentes eléctricos y electrónicos funcionales a los estudiantes para su uso apropiado en el desarrollo de proyectos académicos.

En cuanto a los componentes no funcionales, se proyectó un plan de recuperación (Borrás, 2018) mediante la elaboración de artesanías. Esta estrategia se diseñó con la idea de crear una posible

microempresa y también para ejemplificar su uso en actividades de expresión artística en colegios de niños con bajos recursos económicos.

Resultados obtenidos

En la tabla 1 se presenta el inventario del material reciclado y, en las figuras 3, 4 y 5, se muestra

parte de su clasificación en componentes funcionales y no funcionales.

Tabla 1. Inventario de los componentes reciclados

Descripción	Cantidad
Probador de red	1
Cables de poder	5
Fusibles	4
Puente rectificador	4
Bus ID	2
Mouse	1
Cable de línea telefónica	-
Alambre UTP	-
74LS245	2
Transformador	2
Cable dúplex	-
Baquela	3
Jack hembra RJ45	1
Jack hembra teléfono	1
Parlantes	4
Matriz numérica	1
Ventilador 5 V	8
Bocina	4
Motor paso a paso	2
Modulo TTL	1
Resistencias	varias
Condensadores	varios
Fuentes	4
Motores DC	3
Relés	8

Fuente: elaboración propia

Figura 3. Cable clasificado

Fuente: elaboración propia

Figura 4. Componentes reutilizables

Fuente: elaboración propia

Componentes funcionales

Las piezas de equipos computacionales e impresoras, como fuentes de alimentación, ventiladores y motores paso a paso, entre otros, fueron probadas y validadas como totalmente funcionales. Estas se dejaron intactas y a disposición de los estudiantes para el desarrollo de sus proyectos. Elementos como cables y conectores se dejaron en un espacio aparte, puesto que este material no es para préstamo sino para su uso final en el montaje de circuitos.

Este programa de reciclaje electrónico ha demostrado tener un gran impacto en los estudiantes, puesto que ellos tendrán la posibilidad de adquirir material que les ayude en la implementación de sus proyectos. Este quedó disponible en el laboratorio, para ser prestado en cualquier momento de la jornada académica.

Componentes no funcionales

Estos otros componentes electrónicos se utilizaron para elaborar artesanías y decoraciones, tales como bisutería y robots figurativos, lo que

permitted su recuperación (Borrás, 2018) en una utilidad diferente y creativa.

Figura 5. Componentes para manualidades



Fuente: elaboración propia

Elaboración de artesanías

En la figura 6 se detalla un ejemplo de bisutería diseñada a partir de componentes electrónicos. Recientemente, se ha visto una gran cantidad de emprendimientos que usan libre y creativamente resistencias, condensadores, circuitos impresos, leds y transistores, orientados a fundar microempresas basadas en esta idea. En la figura 7 se detalla un ejemplo de expresión artística que puede explotarse en contextos escolares, tanto como escena estática como con la posibilidad de realizar animaciones de *stop-motion*. De esta manera, pueden recuperarse los componentes electrónicos no funcionales.

Figura 6. Bisutería con resistencias



Fuente: Carmenjuarros2000 (2013, párr. 4)

Figura 7. Escena de personajes, realizada con varios elementos electrónicos



Fuente: Robots S. A. de C. V. (2013, párr. 1)

Adicionalmente, la figura 8 muestra dos robots figurativos, realizados para este artículo, que

emplean material eléctrico y electrónico no funcional recolectado durante la Reciclatón.

Sugerencias de los estudiantes

Los estudiantes fueron encuestados y realizaron algunas sugerencias para el mejoramiento del programa del reciclaje electrónico. Entre ellas están:

- Extender la recolección de RAEE a todas las sedes de la CUN.
- Hacer más jornadas tipo Reciclatón para que más estudiantes participen.
- Publicitar mejor el evento y ofrecer más tiempo para la recolección.
- Permitir que otros estudiantes continúen el programa de reciclaje como opción de grado I o II.
- Permitir que los estudiantes propongan otras iniciativas semejantes a este programa de reciclaje, que propendan por la conservación y protección del medio ambiente.
- Ofrecer incentivos por colaborar con la entrega del material.

Figura 8. Robots figurativos hechos con materiales eléctricos y electrónicos no funcionales



Fuente: elaboración propia

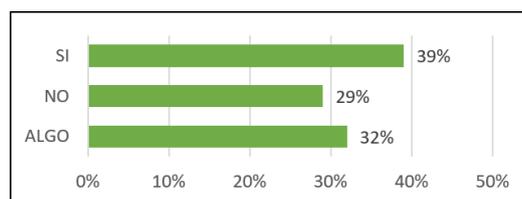
Resultados de la encuesta

La figura 9 indica que menos de la mitad de los estudiantes encuestados tenían conocimiento del programa de reciclaje electrónico. Por ello, la figura 10 indica que faltó informar más a los estudiantes sobre dicho programa. La figura 11 indica que prácticamente la mitad de los estudiantes encuestados participó en la recolección de los artefactos eléctricos y electrónicos para reciclar.

La figura 12 indica que un poco más de la mitad de los estudiantes tenía conocimiento sobre los

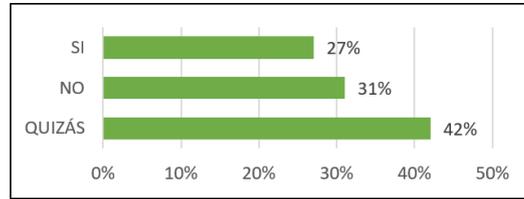
beneficios que trae para la CUN desarrollar dicho programa. Por su parte, la figura 13 indica que bastantes estudiantes lograron conocer los beneficios que dicho programa les trae, como apoyo a sus estudios. La figura 14 indica que la mayoría de los estudiantes están de acuerdo con realizar otra jornada de reciclaje electrónico para participar en ella. Finalmente, la figura 15 indica que esta actividad tuvo un gran impacto, pues casi todos los estudiantes la encontraron muy útil.

Figura 9. ¿Conoce sobre el programa de reciclaje electrónico que se desea implantar en la CUN?



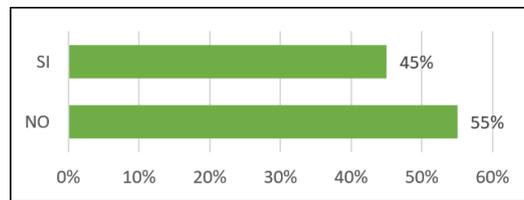
Fuente: elaboración propia

Figura 10. ¿Faltó más información sobre dicho programa y la jornada de recolección de artefactos eléctricos y electrónicos para reciclar?



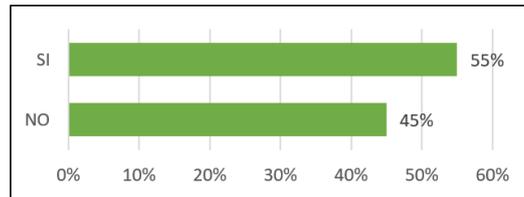
Fuente: elaboración propia

Figura 11. ¿Participó en la Reciclatón?



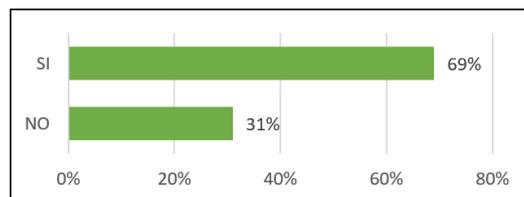
Fuente: elaboración propia

Figura 12. ¿Conoce los beneficios del programa de reciclaje electrónico para la CUN?



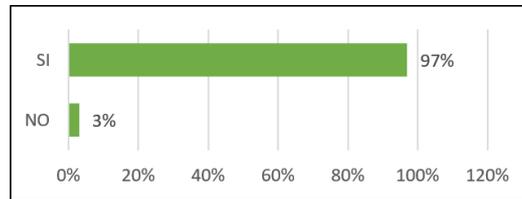
Fuente: elaboración propia

Figura 13. ¿Conoce los beneficios de dicho programa para usted como estudiante de la CUN?



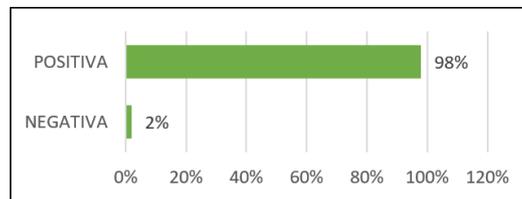
Fuente: elaboración propia

Figura 14. ¿Participaría nuevamente en una futura jornada de recolección de AEE para reciclar?



Fuente: elaboración propia

Figura 15. ¿Cuál es su opinión general sobre la actividad de reciclaje realizada en la Sede O?



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Se dio a conocer a la comunidad cunista del programa de Ingeniería Electrónica sobre la idea de establecer una actividad de reciclaje electrónico, impulsada por el semillero de investigación ElectroCUN. Como un primer paso, se logró realizar una Reciclatón, publicitada con carteles informativos, correos masivos y promoción en cada uno de los salones y laboratorios de la Sede O.

La jornada de recolección de artefactos eléctricos y electrónicos para reciclar –realizada entre el 27 y el 29 de Septiembre de 2018– logró un primer repositorio significativo de elementos funcionales que estará a disposición de los estudiantes para su reutilización en el desarrollo de proyectos académicos.

Por su parte, el material no funcional se destinó a recuperarse mediante alternativas que

impactarían en aspectos propios de proyección social y responsabilidad ecológica. Varios meses después de la Reciclatón, algunos estudiantes evidenciaron interés en seguir apoyando esta iniciativa con la donación de más residuos eléctricos y electrónicos para reciclar.

La encuesta realizada a algunos estudiantes evidenció gran participación e interés por el proyecto. Este hecho mejoró la socialización de la actividad de reciclaje realizada y, adicionalmente, permitió conocer diferentes opiniones y aspectos por mejorar de cara a la continuación del programa de reciclaje electrónico.

Tras la clasificación de los componentes ya reciclados y su almacenaje en un armario especialmente destinado a su dispensación, queda como trabajo futuro automatizar las gavetas de dicho

armario, de tal manera que, al necesitarse cierto componente, se ilumine un indicador led para saber rápidamente en dónde está ubicado.

Como los componentes no funcionales pueden ser usados para manualidades, queda como trabajo futuro establecer una jornada pedagógica con estudiantes de colegio para dar a conocer un

poco sobre los elementos electrónicos y sobre el programa de reciclaje electrónico que se está implementando en la CUN.

Se espera que este programa de reciclaje siga fortaleciéndose para evaluar y promover el uso del material reciclado por parte de los estudiantes.

Referencias

- Borrás, C. (2018). Las 4R del reciclaje [entrada de blog]. *Ecología Verde*. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/las-4r-del-reciclaje-421.html>
- Carmenjuarros2000. (11 de abril de 2013). Artículos con reciclaje [entrada de blog]. Recuperado de <https://carmenjuarros2000.blogspot.com/2013/04/articulos-con-reciclaje.html>
- Click on Green. (2012). *Reciclaje responsable de electrónicos* [recurso en línea]. Recuperado de <https://www.clickongreen.com/>
- DaeNET. (2009). *Probar fuentes de poder sin PC* [recurso en línea]. Recuperado de <https://daenet.wordpress.com/2009/07/02/probar-fuentes-de-poder-sin-pc/>
- DesignBlog (2011). *Lámparas fluorescentes compactas (LFC)* [recurso en línea]. Recuperado de http://designblog.uniandes.edu.co/blogs/dise2308/files/2011/09/documento_productolite4.pdf
- Electrotec. (6 de noviembre de 2014). *Prueba de motores DC pequeños* [archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=SJ36YTYCMZ4>
- Higinio, H. (9 de septiembre de 2016). Motor de Pasos -Stepper Motor-. ¿Cómo probarlo e identificar sus bobinas? Parte2 [archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=7-t7tWGeUXg>
- Joshuamarius. (11 de octubre de 2009). *La computadora saludable 2. La fuente de poder o power supply* [archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=iL0Uziv0cGE>
- Peñarredonda, J. (2013). ¿Dónde y por qué reciclar los residuos electrónicos? [entrada de blog] *Enter.co*. Recuperado de <https://www.enter.co/cultura-digital/ciudadinteligente/donde-y-por-que-reciclar-los-residuos-electronicos/>



Pilas Colombia. (2010). Programa "Pilas con el Ambiente" [recurso en línea]. Recuperado de <https://www.pilacolombia.com>

Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. (2014). 3R. La regla de las tres erres (reducir, reciclar y reutilizar) [entrada de blog]. Recuperado de <https://www.responsabilidad-social.net/3r-la-regla-de-las-tres-erres-reducir-reciclar-y-reutilizar/>.

Robots S. A. de C. V. (2013). Productos [entrada de blog]. Recuperado de <http://robotssa.blogspot.com/2013/02/productos.html>

Sánchez, M. (2016). *Identificación de la situación actual manejo y la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE en la zona urbana del municipio de Cajicá* [trabajo de grado]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá, Colombia.

Unimedios. (22 de julio de 2016). Estudiantes impulsan reciclaje de aparatos eléctricos. Recuperado de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/estudiantes-impulsan-reciclaje-de-aparatos-electricos.html>

Velásquez, A. (2016). *Investigación exploratoria sobre generación y gestión de residuos hospitalarios tipo RAEE en Bogotá D. C.* Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Robótica asistencial y su interacción con entorno en oficinas

Mario Ricardo Arbulú*

Resumen

En este artículo se describen los fundamentos de los algoritmos de navegación autónoma y manipulación empleados para dotar de autonomía al Robot Asistencial de la CUN y que pueda ser empleado como asistente en oficinas. Los algoritmos de navegación se basan en técnicas del lugar de las raíces que, mediante la selección de polos y ceros en la zona de movimiento del robot, generan una trayectoria libre de obstáculos, lo que permite que el robot se desplace de un lugar a otro sin problemas. Para la manipulación de objetos, se plantean algoritmos de movimiento de brazos, cuando el robot está lo suficientemente cerca al objetivo con el que debe trabajar, basados en los parámetros de Denavit-Hartenberg; ahora bien, estos son modificados hacia la evaluación del espacio de trabajo aumentado de los brazos y el uso de trayectorias cartesianas suaves, estas últimas generadas a partir de la configuración del objeto que se desea alcanzar. Gracias a la presentación y discusión de los resultados, es posible concluir que la implementación del robot asistencial es viable y válida.

Palabras clave: cinemática, navegación autónoma, parámetros D-H, planificación de movimiento, robótica asistencial, robótica de servicios, visión artificial

Abstract

This paper describes the fundamentals of the autonomous navigation and manipulation algorithms used to give the CUN Assistance Robot autonomy and that it can be used as an office assistant. The navigation algorithms are based on root locus techniques that, by selecting poles and zeros in the robot's motion zone, generate an obstacle-free path, allowing the robot to move from one place to another. For object manipulation, arm movement algorithms are proposed, when the robot is close enough to the target with which it must work, based on the Denavit-Hartenberg parameters; however, these are modified towards the evaluation of the increased working space of the arms and the use of smooth Cartesian trajectories, the latter generated from the configuration of the object to be reached. Thanks to the presentation and discussion of the results, it is possible to conclude that the implementation of the assistance robot is viable and valid.

Keywords: artificial vision, assistive robotics, autonomous navigation, D-H parameters, kinematics, movement planning, service robotics

* Ph. D. en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid. Docente investigador del programa de Ingeniería Electrónica en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Contacto: mario_arbulu@cun.edu.co

Introducción

En la actualidad, los robots asistenciales se emplean como elementos de compañía a personas mayores, terapeutas de niños autistas, sirviente de herramientas o elementos de distinta índole y en diferentes contextos, como oficinas, hogares, salas de cirugía o eventos públicos, entre otros. Los robots referentes en esta línea son Peper, de la empresa japonesa Softbank, y el REEM de PAL Robotics: el primero, dotado con inteligencia artificial para reconocer gestos, hacer sugerencias, acompañar a personas, ser anfitrión en eventos

y trabajar en investigación y desarrollo; el segundo, un robot más robusto mecánicamente hablando y con un coste muy superior, aunque se emplea en tareas similares. En vista de que en las investigaciones del grupo IDECUN se pretende introducir estas temáticas de punta, se propone el presente proyecto, que consiste en integrar dos plataformas estándares que se complementan en cuanto a la mecánica, interacción con el usuario, entre otros (Kemp, Edsinger y Torres, 2007; Kruse, Radke y Wen, 2015).

Figura 1. Robot asistencial.



Fuente: elaboración propia.

El robot asistencial de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) consta de dos partes, como se ve en la figura 1: de un lado, un manipulador redundante (humanoide) y, del otro, locomoción móvil omnidireccional (robot con ruedas). Su desarrollo se dio en el marco

de la convocatoria interna de proyectos de investigación de la CUN en año 2014, iniciando su ejecución a finales de 2015. El objetivo de este dispositivo es que sirva como asistente en hogares y oficinas.

La parte manipuladora, que está dotada de brazos, piernas, sensores ultrasónicos, cámaras y sensores táctiles, se encarga de coger objetos y dar las indicaciones necesarias, mientras que la tarea de la parte locomotora, que está dotada de

tres ruedas omnidireccionales, sensores ultrasónicos y sensores de contacto, es movilizar al robot por la zona del hogar u oficina en la que se requieran sus servicios de asistencia. Las especificaciones se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del robot asistencial de la CUN.

Unit	Feature	Specifications
Redundant manipulator (NAO™)	Height	58 cm
	Weight	5.4 kg
	Autonomy	90 min
	DOF	25
	CPU	Intel Atom @ 1.6 GHz
	Built-in OS	NAOqi 2.0 (Linux-based)
	Compatible OS	Windows, MAC OS, Linux
	Programming languages	C++, Python, Java, MATLAB, Urbi, C, .Net
	Sensors	3 HD cameras, 4 microphones, sonar rangefinder, 2 infrared emitters and receivers, inertial unit and 9 tactile sensors.
	Connectivity	8 pressure sensors WiFi, Ethernet
Wheeled locomotion (Robotino™)	Height	29 cm
	Weight	5 kg
	Diameter	45 cm
	Used CPU	Intel Core i5 2.4 GHz, 8 GB RAM
	Compatible OS	Windows
	Programming languages	C/C++, Java, .Net, LabVIEW, MATLAB, Simulink, ROS, Microsoft Rob. Developer St.
	Sensors	9 distance infrared sensors, inductive sensor, 2 optical sensors and Full HD camera
	Connectivity	2 Ethernet, 6 USB, 1 VGA y 2 PCI

Fuente: elaboración propia.

Fundamentos teóricos

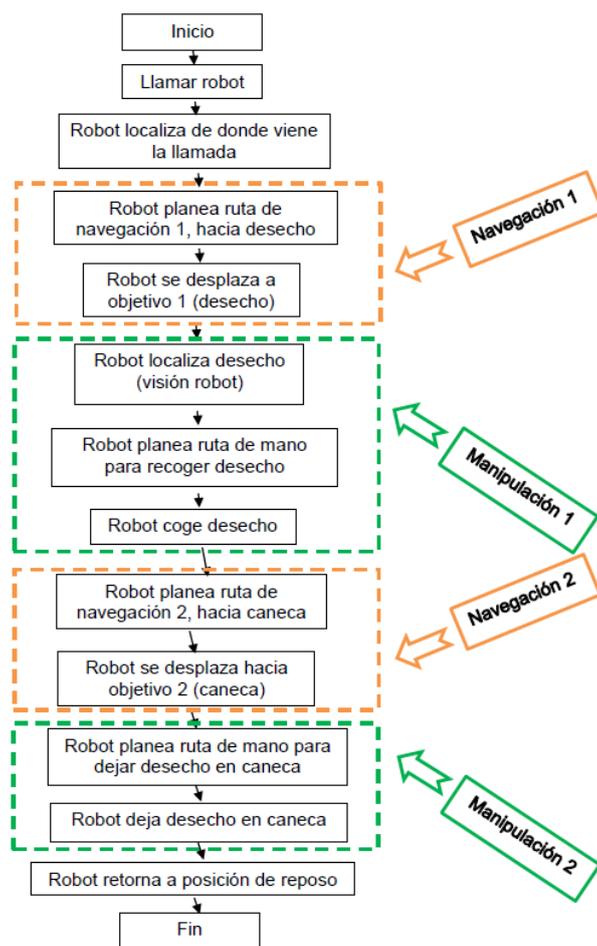
En esta sección se describe la fundamentación fisicomatemática de los algoritmos para el desarrollo de tareas autónomas, asistidas por visión artificial, que son aplicados en el robot asistencial de la CUN. En la figura 2 se detalla el caso de una tarea autónoma general; por ejemplo, para

que recoja un objeto, en cualquier parte de la oficina o zona de trabajo, y luego lo lleve hasta una caneca. Como se muestra, hay dos subtareas por desarrollar: 1) navegación autónoma y 2) manipulación autónoma. Las dos son asistidas por visión artificial: la primera, por una cámara

externa al robot, situada en la parte superior de su desplazamiento, y, la segunda, por las cámaras que el robot tiene en la cabeza.

En este documento explicamos cómo se calcula, primero, el movimiento del manipulador redundante (subtarea de manipulación autónoma) (Hayne, Luo y Berenson, 2016) y, luego, la ruta de navegación (subtarea de navegación autónoma).

Figura 2. Diagrama de flujo de las subtareas que debe desarrollar el robot asistencial para completar una tarea.



Fuente: elaboración propia.

Manipulación

La manipulación de objetos se realizará gracias a la generación de trayectorias de movimiento del humanoide, una vez esté lo suficientemente cerca del objeto en cuestión. Estas trayectorias se generarán a partir de la referencia de posición y orientación espacial del objeto por manipular.

Ahora bien, acá vale la pena aclarar que esta referencia se obtiene del algoritmo de visión artificial, con base en el análisis de las fotos del entorno local tomadas por las cámaras del manipulador redundante.

Para calcular el movimiento adecuado, se generará, en primer lugar, la trayectoria cartesiana de una de las manos del robot, con base en la ubicación del objeto, y, luego, se calculará la cinemática inversa del manipulador redundante para esta trayectoria cartesiana.

Ahora bien, antes de calcular las trayectorias, se determina el espacio de trabajo del manipulador, a través de:

1) Cinemática directa, por medio de parámetros de Denavit-Hartenberg (D-H), de todo el manipulador (ver tablas 2 y 3. Se hace igual para los miembros izquierdos y los derechos). Se denota que, para los brazos, se aplican los parámetros D-H modificados, debido a la configuración cinemática que tienen.

2) Se hacen barridos de las articulaciones, desde sus ángulos mínimos hasta máximos. Con esto, es posible definir los límites de movimiento de la mano del robot (*end-effector*).

Una vez se haya definido el espacio de trabajo (ET), viable crear trayectorias cartesianas, el *end-effector*, dentro de este ET, pues es fundamental que el movimiento de la mano esté dentro del alcance del robot. Para calcular el ET se utilizan las fórmulas obtenidas en el vector de traslación de la matriz de transformación homogénea, que relaciona el sistema de referencia del *end-effector* con el sistema de base del brazo respectivo (vea ecuaciones 1 a 3).

Tabla 2. Parámetros de Denavit-Hartenberg modificados para brazo izquierdo.

i	α (Alpha)	a	θ (Theta)	d (distance)
1	$-\pi/2$	0	q1	0
2	$\pi/2$	0	q2	0
3	$-\pi/2$	0	q3	d3
4	$\pi/2$	0	q4	0
5	$-\pi/2$	0	q5	d5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Parámetros de Denavit-Hartenberg modificados para pierna izquierda.

i	α (Alpha)	a	θ (Theta)	d (distance)
1	$-3\pi/4$	0	q1	0
2	$-\pi/2$	0	q2	0
3	$\pi/2$	0	q3	0
4	0	a4	q4	0
5	0	a5	q5	0
6	$-\pi/2$	0	q6	0

Fuente: elaboración propia.

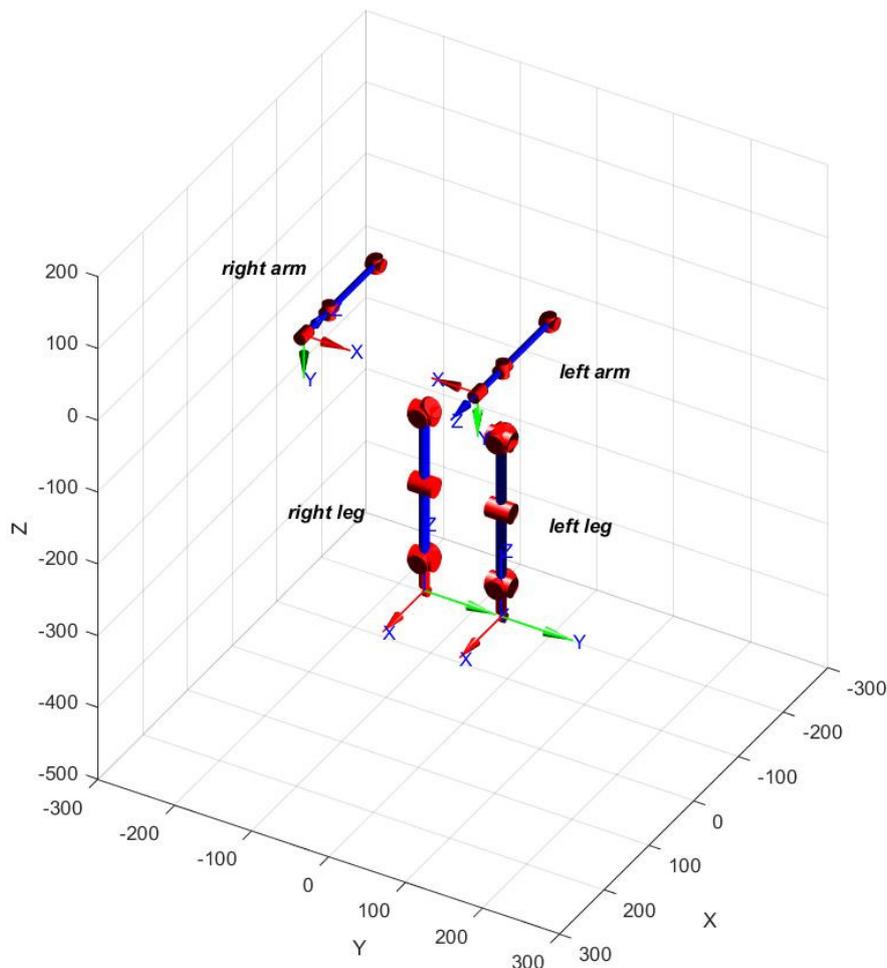
$$x = (d4 * \sin(q1) * \sin(q3) * \sin(q4) - \cos(q1) * (\sin(q2 - \pi/2) * ((d4 * \cos(q4)) + l2) + (d4 * \cos(q3) * \cos(q2 - \pi/2) * \sin(q4)))) \quad (1)$$

$$y = \cos(q2 - \pi/2) * ((d4 * \cos(q4)) + d2) - (d4 * \cos(q3) * \sin(q4) * \sin(q2 - \pi/2)) \quad (2)$$

$$z = \sin(q1) * (\sin(q2 - \pi/2) * ((d4 * \cos(q4)) + d2) + (d4 * \cos(q3) * \cos(q2 - \pi/2) * \sin(q4))) + (d4 * \cos(q1) * \sin(q3) * \sin(q4)) \quad (3)$$

El modelo de la parte manipuladora, a partir de los parámetros D-H (Corke, 2007), se puede animar según se muestra en la figura 3.

Figura 3. Resultado de animación de robot manipulador redundante (humanoide), aplicando parámetros de Denavit-Hartenberg.



Fuente: elaboración propia.

Navegación

En cuanto a la navegación, se emplea el método del Lugar de las raíces para generar una trayectoria que permita evadir las colisiones con los obstáculos localizados. Recordemos que este

método aprovecha la propiedad de las fuerzas de atracción (entre polo y cero) y repulsión (entre cero y cero, o polo y polo).

Figura 4. Imagen del laboratorio CUN en la que se visualizan el robot asistencial, los obstáculos simulados (rectángulos azules), la posición objetivo (rectángulo rojo) y el resto del mobiliario.



Fuente: elaboración propia.

En esta parte se realizan los siguientes pasos:

1) Asumir que la zona de trabajo o de desplazamiento del robot asistencial (ver figura 4.) es el plano real-complejo, donde se añaden los polos y ceros.

2) Colocar un cero en el punto de inicio de la trayectoria donde inicia la navegación, es decir, en el centro del robot.

3) Colocar un polo en el punto objetivo hacia donde se necesita que se mueva el robot.

4) Colocar una pareja polo-cero en cada obstáculo en el camino. Cada una de estas parejas va a ejercer fuerzas de repulsión cuando la trayectoria de navegación pase cerca del obstáculo, deformándola. Por lo tanto, esta trayectoria evita que el robot colisione con los obstáculos.

La síntesis de la aplicación de esta metodología se detalla en las ecuaciones 4 a 9 (Martínez,

Orejuela y Arbulú, 2018; Arbulú, Martínez y Montiel, 2015):

$$H_1(s) = \frac{(s + 1 - 4i)(s + 1 + 4i)}{(s + 14 - 6i)(s + 14 + 6i)} \quad (4)$$

$$H_2(s) = \frac{(s + 10.7 - 5i)(s + 10.7 + 5i)}{(s + 11.3 - 5i)(s + 11.3 + 5i)} \quad (5)$$

$$H_3(s) = \frac{(s + 6.7 - 8i)(s + 6.7 + 8i)}{(s + 7.3 - 8i)(s + 7.3 + 8i)} \quad (6)$$

$$H_4(s) = H_1(s) * H_2(s) * H_3(s) \quad (7)$$

$$H_5(s) = \frac{(s + z_r + z_i * i)(s + z_r - z_i * i)}{(s + p_r + p_i * i)(s + p_r - p_i * i)} \quad (8)$$

$$H_6(s) = H_4(s) * H_5(s) \quad (9)$$

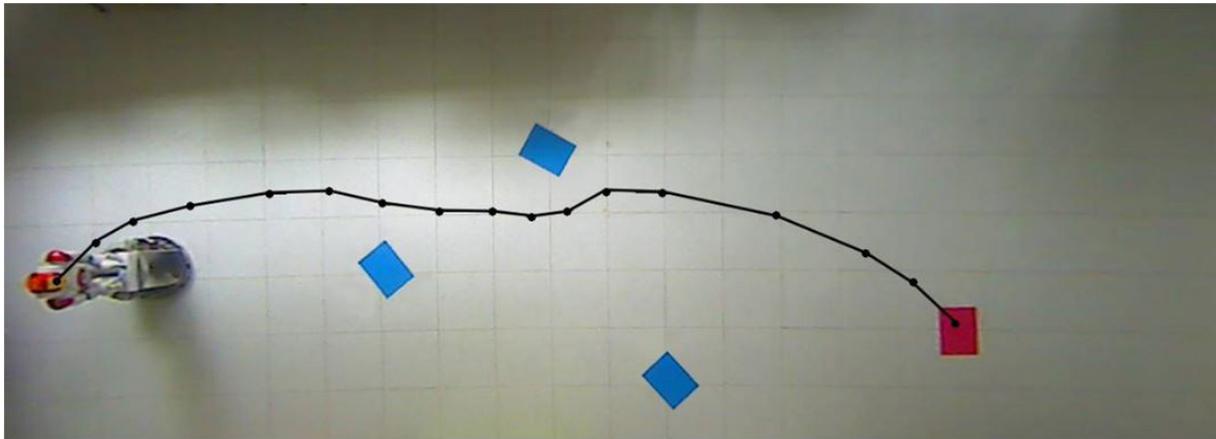
Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al aplicar los algoritmos descritos en el apartado anterior.

En la figura 5 se ve superpuesta y discretizada la trayectoria de navegación calculada, dado que, en los cálculos teóricos, se tiene como resultado una trayectoria continua; entonces, para

implementarla en la práctica, se debe discretizar (los puntos sobre la trayectoria obtenida serán los puntos de interés, que se introducirán en el cálculo del movimiento de la plataforma omnidireccional). Con esto, se ha logrado con éxito el desplazamiento autónomo del robot en una oficina, evitando chocar con los obstáculos simulados (rectángulos azules), y llegando a la posición objetivo (rectángulo rojo).

Figura 5. Trayectoria de navegación del robot para llegar a la posición objetivo, evadiendo los obstáculos.

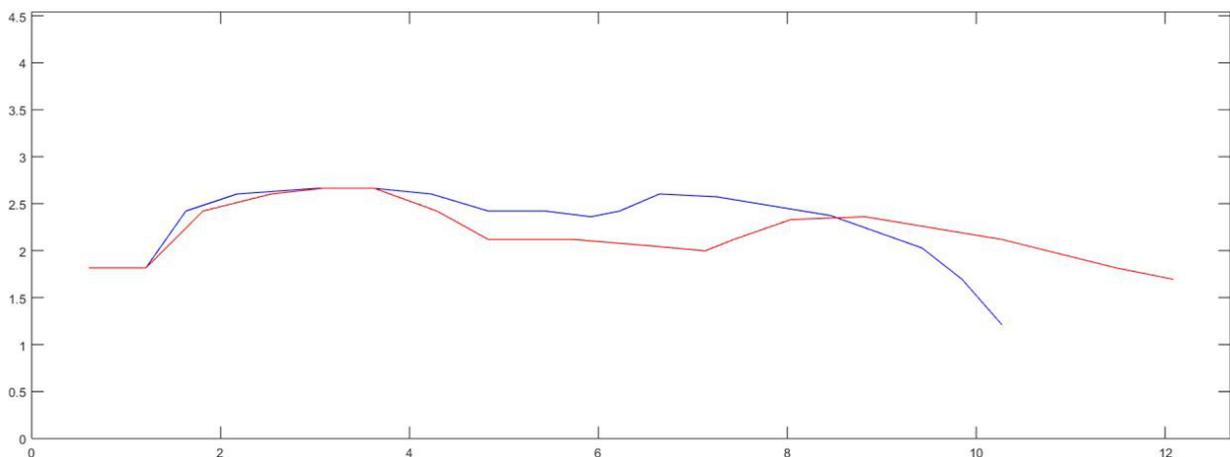


Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, si bien se cumplió el objetivo de evadir los obstáculos, se encuentra una diferencia entre el recorrido real del robot en relación con el teórico (ver figura 6.). Esto se debe al deslizamiento omnidireccional del

robot omnidireccional, en superficie de desplazamiento, y a errores en control de posición de las ruedas. Con un controlador global se podría mejorar el desplazamiento, según la trayectoria requerida.

Figura 6. Trayectoria de navegación del robot calculada por algoritmo de Lugar de raíces (azul), superpuesta con la trayectoria que realmente hace el robot (rojo).

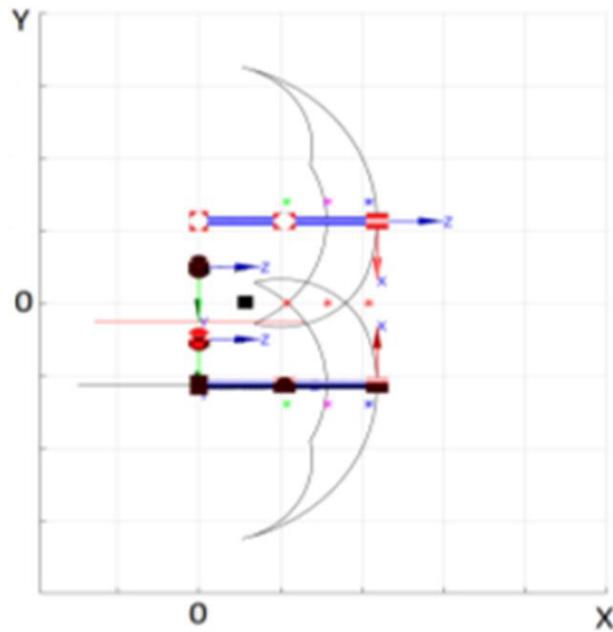


Fuente: elaboración propia.

Para efectos de manipulación, se han calculado los límites del espacio de trabajo del manipulador redundante (ver figuras 7 y 8); incluso, también el espacio de trabajo aumentado (figura 8,

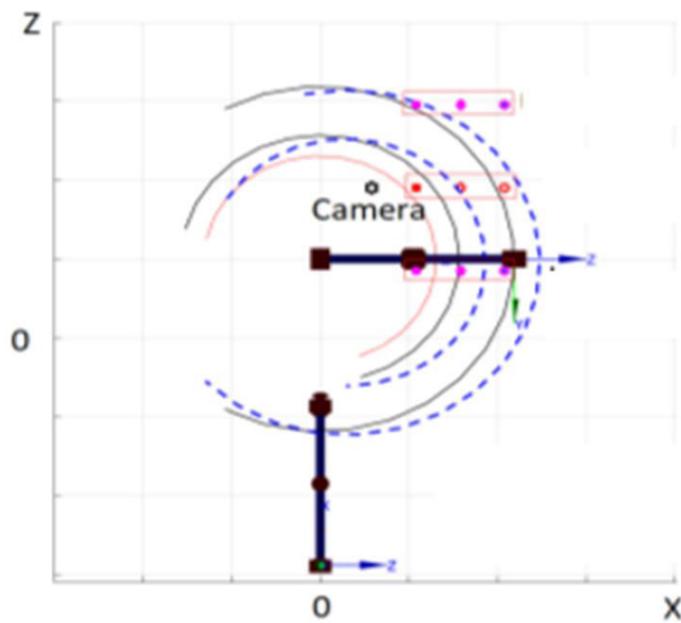
línea azul punteada), puesto que se dispone de un torso que puede girar hacia adelante y hacia atrás, o de izquierda a derecha.

Figura 7. Espacio de trabajo del manipulador redundante - vista superior (la línea azul punteada es el espacio de trabajo aumentado, debido a giro de torso).



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Espacio de trabajo del manipulador redundante - vista lateral (la línea azul punteada es el espacio de trabajo aumentado, debido a giro de torso).

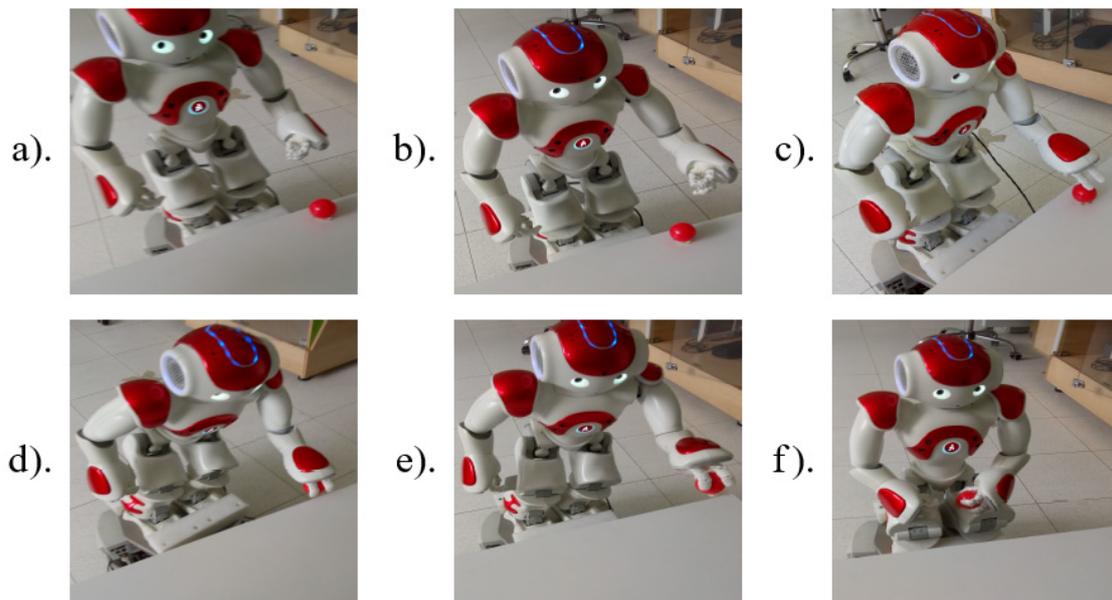


Fuente: elaboración propia.

Con el espacio de trabajo delimitado, se propusieron trayectorias que están incluidas en esta zona. Por lo tanto, será posible planificar el movimiento de recogida y despacho de objetos. Tal como se muestra en la figura 9, se cumple el objetivo de coger un objeto satisfactoriamente, con índices mínimos de error (en torno al 97 %

de efectividad de certeza). Este indicador fue medido luego de numerosas pruebas experimentales. Ahora bien, en posteriores trabajos se plantea involucrar algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la autonomía y respuesta del robot (Martínez, Rendón, y Arbulú, 2018).

Figura 9. Prueba experimental de manipulación: robot asistencial recogiendo un objeto de manera autónoma, con asistencia de visión local de robot manipulador redundante.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La primera conclusión es que se cumple el objetivo de desarrollar sub tareas de locomoción y manipulación autónomas, dado que se demuestra, en la experimentación, que es viable aplicar estos algoritmos. En segundo lugar, se detecta que, en el algoritmo de navegación, en relación con la localización de polo-cero en los obstáculos, debe realizarse la diagonal del rectángulo que encierra el objeto que simula el obstáculo; de esta manera, se tiene la repulsión suficiente para evitar colisiones.

Por otro lado, se logra implementar el espacio de trabajo del manipulador redundante para delimitar, previamente, su movimiento cartesiano y alcance. Con base en estas conclusiones, se están desarrollando trabajos que se centran en la integración de locomoción con manipulación para desarrollar tareas autónomas. Posteriormente, se implementarán algoritmos de inteligencia artificial para alcanzar la autonomía absoluta de los robots.



Referencias

- Arbulú, M., Martínez, F. y Montiel, H. (2015). Metodología para el uso de la técnica de localización de raíces en la planeación de rutas para robots móviles. *Tecnura*, 19(46), 49-64. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a04>
- Corke, P. (2007). A simple and systematic approach to assigning Denavit-Hartenberg parameters. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(3), 590-594. Recuperado de <https://bit.ly/3hEMhxA>
- Hayne, R., Luo, R. y Berenson, D. (2016). Considering avoidance and consistency in motion planning for human-robot manipulation in a shared workspace. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3948-3954. Recuperado de <https://bit.ly/3wHT4Le>
- Kemp, C., Edsinger, A. y Torres, E. (2007). Challenges for robot manipulation in human environments [Grand Challenges of Robotics]. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 14(1), 20-29. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/4141029>
- Kruse, D., Radke, R., Wen, J. (2015). Collaborative human-robot manipulation of highly deformable materials. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3782-3787. Recuperado de <https://bit.ly/3ep8ZI5>
- Martínez, F., Orjuela, S. y Arbulú, M. (2017). Global navigation approach for assistant robot. *Tecnura*, 21(51), 105-117. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a08>
- Martinez, F., Rendón, A., y Arbulú, M. (2018). A data-driven path planner for small autonomous robots using deep regression models. En Y. Tan, Y. Shi y Q. Tang (eds.), *Data Mining and Big Data. DMBD 2018. Lecture Notes in Computer Science*, 10 943. Springer: Cham. Recuperado de <https://bit.ly/3wCWBKQ>

Responsabilidad moral respecto a robots dotados con moralidad artificial heredada culturalmente mediante neuro-memes

*Dante Giovanni Sterpin**

Resumen

Bajo la premisa de que todo artefacto tecnológico puede implicar un efecto moralmente significativo para el ser humano, en particular por la función para la cual fue diseñado, los robots que están destinados a interactuar socialmente con personas de la tercera edad, por ejemplo, están pensados con miras a que, de algún modo, puedan mejorar la calidad de vida del adulto mayor. Así, dichos artefactos son agentes morales que “inconscientemente” implican bienestar. Sin embargo, la tendencia a incrementar su autonomía perceptiva, motriz y comunicativa, para servir como colaboradores o compañía alternativa, también incrementa el riesgo de ser empleados de maneras impredeciblemente negativas. Esto acarrea la responsabilidad de reducir sus efectos inmorales, dotándolos de autonomía moral y educándolos para ser responsables de sus propios actos.

Palabras clave: moralidad artificial, neuro-memética, robot autónomo

Abstract

Under the premise that any technical artefact can have a morally significant effect on a human being, particularly because of the function which it was designed for, robots that are designed to socially interact with the elderly –for example–, are conceived as a service that, in some way, can improve their life. Thus, such artefacts are moral agents that “unconsciously” imply well-being. However, the tendency to increase its perception, mobility and communication autonomy, to act as collaborators or alternative company, also increases the risk of being employed in unpredictably negative ways. So we are responsible for reducing their immoral effects, equipping them with moral autonomy as well, and educating them to be responsible for their own actions too.

Keywords: autonomous robot, artificial morality, neuro-memetics.

* Ingeniero Electrónico, Universidad Santo Tomás. Especialista en Docencia Universitaria, Universidad Militar Nueva Granada. Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, Pontificia Universidad Javeriana. dante_sterpin@javeriana.edu.co



Introducción

Para el desarrollo de robots autónomos que emplean inteligencia artificial, sobre todo los denominados *humanoides* en interacción social con seres humanos vulnerables (Tapus, Mataric y Scassellati, 2007), se considera en su diseño el tipo de valor que garantiza buen desempeño motor, con capacidad visual para el reconocimiento de objetos y rostros, y auditiva para recibir órdenes habladas; así como capacidad de comunicación social. Sin embargo, considerar un buen comportamiento, es decir, que sea moralmente aceptable, es un valor que va más allá del buen funcionamiento. Así, se considera factible y necesaria la incorporación de moral artificial en los robots autónomos (Allen, Wallach y Smith, 2006), con respecto a lo cual, ya se han considerado algunos modelos computacionales basados en técnicas evolutivas (Wallach, 2008).

En ese contexto, puede considerarse apropiado emplear en el diseño de robots con moral artificial un modelo computacional fundamentado en dinámicas evolutivas de carácter cultural, puesto que la emergencia, propagación y variación de comportamientos, ideas, creencias y normatividades morales son dinámicas propias de la cultura. Al respecto, se tiene disponible la hipótesis del meme como posible replicador base en la evolución cultural (Dawkins, 1976) y a la neuro-memética, como una especificación del sustrato material que le da soporte al replicador (Aunger, 2002). Actualmente hay algunos modelos informáticos sobre la evolución cultural basada en memes, entre los cuales está el autómatas memético (Chen, Ong, Lim, y Tan, 2011); el modelo de la herencia dual (Marriott y Chebib, 2016) y el perceptrón auto-supervisado (Sterpin, 2011).

Ahora bien, de la evolución cultural hay una gran cantidad de productos que van desde ideas

hasta artefactos, incluyendo tradiciones religiosas y las legislaciones que en general establecen las normas del comportamiento moral. También se podría sopesar la hipótesis de que heredemos una gramática moral que co-evolucionó con el cerebro, por lo que nuestros juicios morales operarían, en principio, de manera inconsciente e intuitiva, y luego se racionalizan. Esto implica un desarrollo evolutivo que pudo fundamentarse en ciertos instintos sociales y la consecuente necesidad de altruismo recíproco (Hauser, 2006). Por esto, la moral podría fundamentarse biológicamente y reforzarse culturalmente.

Por otro lado, la simulación mental es uno de los aspectos fundamentales de la evolución cultural (Gabora, 1995), mientras que la empatía puede ser la emoción sobre la cual se fundamenta nuestra forma de “leer la mente” ajena, como una suerte de simulación mental, es decir, mediante imaginarios con los cuales uno puede ubicarse virtualmente en la situación del otro, o “ponerse en sus zapatos”, para inferir sobre su estado mental a partir de su comportamiento observable (Krueger, 2013). Emular la empatía es uno de los grandes retos en el desarrollo de los robots para la asistencia social (Tapus et al., 2007). Como a la par, dicha emoción puede verse como un fundamento en el desarrollo moral (Stueber, 2013), sus características deben considerarse en el diseño del modelo computacional que, además de darle la capacidad de ser empático al interactuar con personas, le dé la capacidad de llegar a comportarse según los estándares de la sociedad en donde se requiera su servicio.

El rol característico de la empatía en la comprensión del otro está muy ceñido al contexto del aprendizaje imitativo con base en las “neuronas espejo” (Krueger, 2013; Stueber, 2013). Sin

embargo, desde la neuro-memética, la imitación no parece ser una buena perspectiva para abordar la propagación de características culturales (Aunger, 2002), pues lo que parece imitación puede deberse a la replicación de neuro-memes, razón por la cual esta perspectiva, y su modelo (Sterpin, 2011), fundamentan la presente reflexión.

Situación Hipotética

En una situación en la que un ser humano asesina a otro, se sabe que el homicida debe ser juzgado y castigado según los paradigmas morales del contexto cultural implicado. En contraste, dado el caso de que un robot asesine a un ser humano, se juzgaría y castigaría, no al robot mismo, sino a su diseñador. Pero, hipotéticamente, si ese robot tuviese la misma autonomía moral de un ser humano, ¿el diseñador sigue siendo culpable de ello?

Robots humanistas

Los artefactos dotados con técnicas de la llamada “inteligencia artificial”, que incrementan su nivel de autonomía en cuanto a tomar decisiones en la interacción social con seres humanos, dejan de ser artefactos neutrales en la medida en que esas acciones pueden implicar efectos moralmente significativos (Vermaas, Kroes, van de Poel, Franssen, y Houkes, 2011). Imagine ahora esta segunda situación hipotética: un homicidio perpetrado por un robot asistencial que decidió desconectar el soporte vital de un adulto mayor, amputado de brazos y piernas, pues este le argumentó verbalmente que sufría y nadie respetaba

Este artículo presenta una reflexión sobre la responsabilidad implicada en emplear neuro-memes artificiales, para emular la herencia cultural de comportamientos morales. Sin embargo, comprender la naturaleza de la moral no es una tarea trivial y quizás exija confrontar ideas fuertemente atadas en ciertas creencias religiosas. Sin embargo, acá tan solo se indaga sobre la necesidad de robots con moralidad artificial y se consideran algunos aspectos técnicos y filosóficos que viabilizan su desarrollo.

En este caso hipotético se asume que el diseñador incorporó la responsabilidad de estudiar la naturaleza moral para hacer que dicho robot tenga “autonomía moral”. De esa manera, en este artículo se plantea que el diseñador ya no tiene culpa frente a las acciones que decida el robot, pues este último debió construir su discernimiento moral por inmersión en una sociedad que debe educarlo en ese sentido, de forma semejante a como se educa a los seres humanos.

su deseo de ponerle fin a su vida. Así, se asume que el robot es capaz de procesar el lenguaje y, de alguna manera, entender lo que se le dice. Acudiendo a nuestra capacidad de imaginar experiencias ajenas como si fueran propias, por un breve momento podemos visualizarnos en esa misma situación, preguntándonos, quizás, si nos atreveríamos a hacer lo que el señor en cuestión nos solicita, previendo también las consecuencias implicadas, pues nuestra vida, nuestros sueños y anhelos, pueden quedar confinados en la celda de una fría cárcel.

Ahora bien, por su parte, ¿qué puede perder el robot en cuestión? ¿Acaso sabe de qué se trata anhelar una vida próspera?, ¿tiene sensaciones asociadas la consecución de logros profesionales?, ¿desarrolló algún sentido de pertenencia al grupo de cuidadores en el hogar geriátrico donde colaboraba?, ¿imaginó que podía perder la oportunidad de cuidar adultos mayores?, ¿comprende el sufrimiento de la soledad en la vejez?, o ¿pudo desistir de ayudarlo a dicho señor a terminar con ese sufrimiento, al considerar que es un crimen, implica severos castigos y además causa más sufrimiento?

La intención de plantear estas preguntas es detallar algunas de las cuestiones personales y culturales implicadas en una situación semejante, asumiendo además que se tiene un cuerpo situado en un lugar donde se interactúa con otros, bien sea personas o robots sociales. Por ello, se requiere de modelos computacionales de cognición individual y cultural para que un robot humanoide, sobre ruedas o con piernas, adquiera conocimiento general sobre el mundo, pero sobre todo moral, entendido como un tipo particular de conocimiento orientado a la conducta en sociedad, mediante su inmersión en el entorno socio-cultural con el que interactuará. Por esta razón, estos artefactos deberán ser educados por los individuos de dicha sociedad.

Los robots para el cuidado de adultos mayores en su propia casa es una de las tecnologías de mayor impacto en la sociedad contemporánea,

Moralidad Artificial

Actualmente la roboética se preocupa, en primera instancia, por las cuestiones e implicaciones éticas en el desarrollo de robots que, de algún modo, interactúan con seres humanos y

lo que requiere hacer un esfuerzo para ofrecer robots moralmente seguros (Allen y Wallach, 2012). La población de adultos mayores está creciendo a nivel mundial; no obstante, la búsqueda de su bienestar parece estar relegada. En Bogotá se suicida un adulto mayor a diario, según Medicina Legal en 2017, y 4 adultos mayores son abandonados a diario, según la Asociación Colombiana de Geriatria. Esto da muestras de por qué Colombia se ubica en el peor lugar para envejecer en Latino América (RCN, 2018), tanto por el grave estado afectivo de esta población, como por sus problemáticas económicas y sus difíciles condiciones médicas.

Así, al verse reducido el número de seres humanos dispuestos a cuidar a sus padres y abuelos, los robots socialmente asistentes se han comenzado a ver como un servicio de asistencia permanente, e incluso como compañía alternativa, pero aún deben garantizar cierta naturalidad (Tapus et al., 2007) y plena confiabilidad (Espingardeiro, 2014). Entre otras, esta situación social muestra la pertinencia de usar robots socialmente asistenciales con autonomía moral, pues, además de los adultos mayores, existen muchas otras personas que en algún sentido no cuentan con sus congéneres. Con el desarrollo de este tipo de robots se da también la posibilidad de llegar a comprender mejor nuestra propia naturaleza moral (Allen y Wallach, 2012), la posibilidad de ver nuestra mecanicidad psicológica (Krishnamurti, 1984), y quizás el origen de la maldad, en una especie de espejo tecnológico.

su difusión en la sociedad. En segunda instancia, establece una ética robótica, es decir, los códigos de comportamiento que resulten necesarios para evidenciar funcionamientos aceptablemente

éticos en robots que interactúen con personas. En última instancia, considera la posible existencia de robots que sean capaces de escoger y ejecutar acciones libremente, que comprendan las consecuencias de esas acciones en la interacción con personas y otros agentes en una sociedad, y a los que se les pueda, además, atribuir responsabilidades y derechos (Veruggio, Solis y Van der Loos, 2011).

Se puede afirmar que en los dos últimos escenarios se procura establecer la base de una moralidad artificial, con el fin de lograr robots autónomos y moralmente competentes (Malle, 2016). Pero en ello es urgente que humanistas e ingenieros aúnen esfuerzos direccionados a este objetivo. Tratándose de artefactos socio-técnicos (Vermaas, et al. 2011), el reconocimiento de estos robots como agentes morales y pacientes morales (Rowlands, 2012) resultaría de su interacción con los individuos de la sociedad en la que presten sus servicios.

Puede afirmarse que los dos escenarios anteriormente mencionados también corresponden con los dos enfoques que definen el desarrollo de agentes morales artificiales: descendente y ascendente (Allen y Wallach, 2012). El enfoque descendente se basa en conceptos y teorías éticas, tales como el imperativo categórico, la deontología, el consecuencialismo o el utilitarismo,

en procura de establecer reglas generales para tener un comportamiento moral. El enfoque ascendente, por su parte, se inspira en los procesos de la evolución natural y el aprendizaje, en los que el sentido cooperativo y auto-organizativo han permitido la emergencia, difusión y evolución de comportamientos morales, en sociedades humanas y animales (Bekoff y Pierce, 2009) y hasta la posible existencia de cierta moralidad innata (Hauser, 2006; Allen y Wallach, 2012).

Davenport (2014) establece que los agentes morales artificiales deben ser sociales y cooperativos, es decir, deben considerar los intereses de otros agentes morales y las consecuencias de sus propias acciones, para tener el beneficio de sobrevivir al pertenecer a cierto grupo social. También reconoce a los perros de búsqueda y rescate como agentes y pacientes morales, pues, pese a su “inconsciencia”, sus acciones aportan beneficios colectivos y por ello son recompensados. Esto mismo puede considerarse, por ejemplo, para un robot al cuidado de adultos mayores, pues, asumiendo que no tiene la voluntad de escoger libre y responsablemente sus actuaciones, además de su incapacidad para comprender el efecto de su “buen” comportamiento, bajo el argumento de la habitación china (Copeland, 1993), lo realmente relevante de su servicio es su aporte al bienestar de una persona vulnerable que lo necesita permanentemente.

En la habitación china

El argumento de la habitación china desvirtúa que pueda haber una máquina capaz de comprender sus acciones más allá del simple hecho de entregar un “buen” resultado, mediante la manipulación de símbolos (Copeland, 1993). Sin embargo, en el experimento mental allí planteado, el agente manipulador de símbolos no

comprende por el hecho de no conocer el idioma chino. De esta manera, vale la pena considerar cómo podemos comprender, mediante el uso social de un lenguaje con el cual nos referimos a cosas del mundo exterior y a nuestros estados mentales, tales como ideas, anhelos, sentimientos, etc.

En esta reflexión no se pretende plantear algún contra-argumento al respecto. Tan solo continuar el experimento mental, imaginando posibilidades que puedan ser eventualmente implementadas en un sistema convencional de cómputo. Adicionalmente, tampoco se pretende inducir la idea de “conciencia artificial”, ni cuestionar si la inteligencia artificial, emocionalidad artificial, o moralidad artificial, puedan ser legítimas, o no, pues, independientemente del debate académico o coloquial al respecto, un robot con ciertas características, en circunstancias particulares, puede provocar la muerte a una persona. Frente a ello, se puede preguntar si la máquina tenía la autonomía suficiente para evitarlo, o incluso, la intención de hacerlo, auto-justificándose de alguna manera, o con base en algún motivo. En consecuencia, acá se indaga sobre la responsabilidad involucrada en tales artefactos.

La Mecánica Moral

La cuestión de si la moral depende o no de la biología merece ser revisada con cuidado, pues la cooperación entre los individuos de las sociedades humanas primitivas permitió la emergencia y la difusión de nuestros comportamientos morales; pero también lo hacen los genes que nos dotan con un cerebro capaz de realizar dicha cooperación, semejante a como se propagan los genes relacionados con la asimilación de lactosa en sociedades con tradiciones culturales vacunas (Feldman y Laland, 1996).

Hauser (2006) desarrolla el concepto de un “órgano moral” y una gramática moral universal, la cual plantea una estrecha relación entre la biología y la moral, lo que, de ser cierto, puede desvirtuar el computacionalismo considerado en Davenport (2014). Esta dificultad no es

Quizás no pueda salirse de la habitación china, incluso siendo un ser humano con las limitaciones propias del lenguaje con el cual llegamos a comprender tan solo algunos aspectos del mundo. Es decir, no todas las personas comprendemos la cuántica, ni la teosofía, por mencionar solo un par de contextos en donde muchos sentiríamos que nos hablan en chino. Sin embargo, es posible emprender el largo camino de la comprensión, mediante la adquisición del respectivo lenguaje, y demás tipos de experiencias implicadas. En robótica se tiene el iCub (Robohub, 2015) como exponente de la cognición basada en la experiencia, que involucra tener un cuerpo móvil con visión, audición y sensibilidad táctil, en interacción con el mundo y con otras mentes incorporadas allí también.

desalentadora y merece ser explorada mediante alguna técnica de computación evolutiva, pues, en su calidad de metaheurísticas poblaciones, sirven para modelar y simular sistemas complejos, con el fin de “juzgar, probar y validar [...] hipótesis, conjeturas y teorías sobre los sistemas naturales” (Maldonado y Gómez-Cruz, 2010), en este caso, la naturaleza biológica y cultural de la moral. Considerando dicha dificultad, y el uso de esas técnicas, acá se considera que el enfoque más apropiado para un agente moral es el ascendente, teniendo en mente diseñar un sistema cognitivo para el aprendizaje y libre aceptación de las normas morales vigentes en una sociedad.

Por otra parte, los sistemas basados en redes neuronales artificiales ofrecen la posibilidad de solucionar la dificultad de establecer una cantidad

finita de reglas morales para atender una infinidad de posibles situaciones con implicación moral. Esto se debe a que son capaces de aprender prototipos a partir de ejemplos del tipo de comportamiento idealmente deseado (Clark, 1996); a la par que son capaces de generalizar dichos prototipos en situaciones semejantes a las que se usaron como ejemplo en el aprendizaje. Así, un sistema basado en red neuronal dispone del saber-cómo necesario para alcanzar, en términos aristotélicos, la excelencia moral y la sabiduría práctica, para conocer por inducción el proceder “correcto”, desearlo mediante el hábito, e intuir el sentido de lo “correcto” con cierto sentido común (DeMoss, 1998).

Entre las metaheurísticas poblacionales se tiene también a los sistemas multi-agente, los cuales también tienen ciertas características propias del paradigma conexionista, pero en lugar de neuronas dispone de agentes sociales y en lugar de conexiones sinápticas tiene vínculos entre ellos.

Replicadores Culturales

Según Dawkins (1976), los memes fueron originalmente conceptualizados como ciertas unidades de transmisión cultural, supuestamente capaces de “saltar” entre cerebros mediante imitación. Dicha concepción considera que los memes pueden ser canciones, recetas de cocina, protocolos de urbanidad, tradiciones religiosas o artefactos tecnológicos. Sin embargo, Aunger (2002) ha considerado que esa diversidad memética viola un principio mediante el cual un replicador solo puede estar hecho de un único sustrato material. Por lo tanto, en el caso de existir realmente, los memes serían exclusivamente neuro-memes confinados en el cerebro.

De esta manera, un sistema multi-agente tiene la capacidad de lidiar con problemas complejos, al establecer protocolos de comunicación entre ellos para la cooperación, coordinación y la resolución de conflictos ante la escasez de recursos disponibles (Ferber, 1999).

Normalmente cuando se visualiza a un sistema basado en inteligencia artificial resolviendo un problema, se piensa en un único agente dotado con algunas capacidades cognitivas. Pero Minsky (1988) considera que la inteligencia resulta de la interacción entre muchos agentes simples. Adicionalmente, casi nunca se observa al agente “quien” resuelve un problema, como parte integral de una sociedad, y aún menos, se le visualiza compuesto por alguna especie de micro-sociedad mental de agentes. Aun así, Sterpin (2015) exploró la utilidad cognitiva de ello, para un robot móvil, mediante una comunidad de neuro-memes.

Aunger (2002) conjetura que la replicación de los neuro-memes debió originarse intra-cerebralmente y que cuando los neuro-memes lograron emitir señales sociales estos se replicaron inter-cerebralmente. Por esta razón, los memes no “saltan” entre cerebros, pues dichas señales no transportan el material cerebral del cual están hechos, sino solo la información necesaria para que la replicación neuro-memética suceda en un nuevo anfitrión con cerebro, mientras afuera parece ser un individuo “imitando” a otro.

En la hipótesis neuro-memética sobre la evolución cultural es en donde encuentro los conceptos neodarwinianos esenciales para tener un

mecanismo de aprendizaje cultural, orientado a la adquisición de los prototipos de comportamiento moral en cierta sociedad. Para ello, en términos técnicos, deben definirse microagentes, capaces de replicación neuro-memética, compitiendo y cooperando en el interior de un macroagente, dotándolo así con el conocimiento necesario para abordar situaciones de carácter moral.

Como el lenguaje sirve de apoyo para especificar ciertos contextos de acción y para resolver

Conclusiones

En respuesta a la ilusión implicada en aumentar la autonomía de los robots en cuestión para eludir la responsabilidad como diseñador (Allen y Wallach, 2012), declaro acá que mi propia intención en el desarrollo de este tipo de artefactos no es renunciar a la responsabilidad de los eventuales daños que provoque dicha tecnología, e insisto en mi propio compromiso frente al estudio de la naturaleza moral en las sociedades humanas.

En el modelamiento y la simulación del comportamiento moral, sería prudente considerar la noción de maldad que subyace al sadismo humano, desde el *bullying* escolar hasta el comportamiento criminal. Si resultara que el modelo computacional no permitiera evitar un comportamiento con tendencia criminal, es responsable establecer que no debe usarse en robots, sino solo en el estudio de esa problemática social y en un escenario completamente controlado y aislado. Considerando lo sucedido con Tay, el chatbot que se dispuso en Twitter para aprender de las interacciones con el público en general, pero debió quitarse de allí porque en menos de

problemas en cooperación con otros (Clark, 1996), el modelo de aprendizaje cultural debe poder comunicarse en el idioma propio de la sociedad en donde preste sus servicios. En virtud de esto, y asumiendo que debe aprenderse como un niño, debe indagarse en qué medida el aprendizaje del lenguaje socialmente compartido apoya la asimilación de las características culturales “incorrectas”, tal como lo analiza Tolton (2013), con respecto a la propagación y aceptación social de la violencia intrafamiliar.

24 horas había aprendido a expresar xenofobia (BBC, 2016); un robot móvil con visión, audición, brazos y manos, no puede quedar expuesto a la opción de ser convencido para aniquilar a ciertos tipos de personas.

Cada día, todo ser humano es expuesto a la xenofobia, y demás fanatismos, pero según su propia naturaleza, además de su educación familiar y escolar, solo algunos son convencidos de participar en actividades terroristas, o de realizar algún otro tipo de crimen. Así mismo, Tay es un gran ejemplo del peligro involucrado, pues es como colocar convictos a enseñar sus ideas en escuelas infantiles. La sociedad misma no permite que los niños queden expuestos a peligros así, y durante cierta cantidad de tiempo son educados, antes de concederles la autonomía propia de los adultos. Así mismo puede concebirse la educación necesaria para un robot con la autonomía moral suficiente para ser considerado como un agente moral. Tal vez no consuma tiempo en años, pues la naturaleza misma de la computación en entornos virtuales quizás pueda acelerar dicho proceso educativo.

En un reciente experimento con robots antropomorfos, cuyo controlador fue combinado con cierto módulo ético, se observó que un robot con ese tipo de arquitectura puede cambiar, de altruista a egoísta, sin cambiar nada más que cierto valor numérico, de positivo a negativo, en su maquinaria cognitiva (Vanderelst y Winfield, 2016). Al respecto, me atrevo a conjeturar,

por ahora, que el origen de la maldad está en el egoísmo, y desde el desarrollo del perceptrón autosupervisado, ha sido mi responsabilidad concertar recursos filosóficos, científicos y tecnológicos, en lograr comprender el egoísmo, desde su papel en los mecanismos evolutivos (Dawkins, 1976), hasta sus implicaciones psicológicas y sociales en la vida cotidiana.

Referencias

- Allen, C. y Wallach, W. (2012). Moral machines: contradiction in terms or abdication of human responsibility. En P. Lin, G. Bekey y K. Abney (eds.) *Robot Ethics: The Ethical and Social Implications of Robotics* (55-68), Cambridge: MIT Press.
- Allen, C., Wallach, W. y Smith, I. (2006). Why machine ethics? *IEEE Intelligent Systems* 21(4), 12-17. doi: 10.1109/MIS.2006.83.
- Aunger, R. (2002). *The electric meme: A new theory of how we think*. Free Press.
- BBC News, (2016). Tay, la robot racista y xenófoba de Microsoft. *BBC News*. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160325_tecnologia_microsoft_tay_bot_adolescente_inteligencia_artificial_racista_xenofoba_lb
- Bekoff, M. y Pierce, J. (2009). Wild Justice: Honor and Fairness among Beasts at Play. *American Journal of Play*, 1(4), 451-475.
- Chen, X., Ong, Y. S., Lim, M. H. y Tan, K. C. (2011). A multi-facet survey on memetic computation, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(5), 591-607.
- Clark, A. (1996). Connectionism, moral cognition, and collaborative problem solving. En L. May, A. Clark y M. Friedman (eds.) *Mind and morals: Essays on cognitive science and ethics*, 109-127, MIT Press.
- Copeland, B. J. (1993). *Artificial Intelligence. A Philosophical Introduction*. Wiley-Blackwell.
- Davenport, D. (2014). Moral mechanisms. *Philosophy & Technology*, 27(1), 47-60.
- Dawkins, R. (1976). *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press.
- DeMoss, D. (1998). Aristotle, connectionism, and the morally excellent brain. *Proceedings of the 20th World Congress of Philosophy*, 19, 13-20.

- Espingardeiro, A. (2014). A roboethics framework for the development and introduction of social assistive robots in elderly care (tesis doctoral), Universidad de Salford, Manchester, UK. Recuperado de http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/30815/1/A_Roboethics_Framework_for_the_Development_and_Introduction_of_Social_Assistive_Robots_in_Elderly_Care.pdf
- Feldman, M. y Laland, K. (1996). Gene-culture coevolutionary theory. *Trends in ecology & evolution*, 11(11), 453-457.
- Ferber, J. (1999). *Multi-agent systems: An introduction to distributed artificial intelligence*. Addison-Wesley Longman.
- Gabora, L. (1995). Meme and Variations: A computer model of cultural evolution. In L. Nadel y D. Stein (eds.), *1993 Lectures in complex systems* (pp. 471-486). Boston: Addison-Wesley.
- Gabora, L. (1995). Meme and variations: A computational model of cultural evolution. En *1993 Lectures in complex systems*, 471-485. Addison Wesley.
- Hauser, M. (2006). *Moral minds: How nature designed our universal sense of right and wrong*. Ecco/HarperCollins Publishers.
- Krishnamurti, J. (1984). *La madeja del pensamiento*. España: Edhasa.
- Krueger, J. (2013). Empathy. In B. Kaldis (ed.), *Encyclopedia of Philosophy and the Social Sciences*. Sage Publications.
- Maldonado, C. y Gómez-Cruz, N. (2010). Modelamiento y simulación de sistemas complejos. *Borradores de Investigación: Serie documentos Administración*, 66,21.
- Malle, B. F. (2016). Integrating robot ethics and machine morality: the study and design of moral competence in robots. *Ethics and Information Technology*, 18(4), 243-256.
- Marriott, C. y Chebib, J. (2016). Modeling the evolution of gene-culture divergence. *Proceedings of the Artificial Life Conference*, 500-507.
- Minsky, M. (1988). *Society of mind*. Simon and Schuster.
- Robohub, (2015). Robot: iCub: This humanoid helps us study the brain. National Geographic. *National Geographic* Recuperado de <https://www.nationalgeographic.org/article/robot-icub/>
- RCN Noticias. (2018, 16 de septiembre). Uno de cada diez adultos mayores en Colombia está en el abandono. *Noticias RCN*. Recuperado de <https://noticias.canalrcn.com/nacional-pais/uno-cada-diez-adultos-mayores-colombia-esta-el-abandono>

-
- Rowlands, M. (2012). *Can animals be moral?* Oxford University Press.
- Sterpin, D. (2011). Perceptrón auto-supervisado: Una red neuronal artificial capaz de replicación memética. *Revista Educación en Ingeniería*, 6(12), 90-101. .
- Sterpin, D. (2015). Cognición imitativa para un robot mediante una comunidad de replicadores neuro-meméticos. *Revista Tecnura*, 19(44), 15-32, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Stueber, K. (2013). Empathy. En E. Zalta (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2018 Edition), Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/empathy/>
- Tapus, A., Mataric, M. y Scassellati, B. (2007). Socially assistive robotics. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 14(1), 35-42.
- Tolton, L. (2013). "Porque te quiero te aporreo": Los refranes como estrategia discursiva para la legitimación del maltrato conyugal. *Discurso & Sociedad*, 7(2), 310-337.
- Vanderelst, D. y Winfield, A. (2016). The dark side of ethical robots. arXiv preprint 1606.02583. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/1606.02583v1.pdf>
- Vermaas, P., Kroes, P., van de Poel, I., Franssen, M. y Houkes, W. (2011). A philosophy of technology: from technical artefacts to sociotechnical systems. *Synthesis Lectures on Engineers, Technology, and Society*, 14, 1-134.
- Veruggio, G., Solis, J. y Van der Loos, M. (2011). Roboethics: Ethics applied to robotics. *IEEE Robotics Automation Magazine*, 18, 21-22.
- Wallach, W. (2008). Implementing moral decision-making faculties in computers and robots. *AI & Society*, 22(4), 463-475.

Juguetes, tecnología y discapacidad. Ingeniería aplicada al diseño de juguetes adaptados

Sergio Daniel Díaz, Said Pinzón Castañeda***

Resumen

El presente artículo expone el interés del semillero de investigación ElectroCun, con apoyo del grupo de investigación IDECUN, de la Corporación Unificada de Educación Superior, CUN, de incursionar en el diseño y desarrollo de juguetes adaptados para niños en condición de discapacidad. Este artículo tiene como objetivo presentar la primera etapa del diseño de un prototipo de juego para niños con discapacidad cognitiva y trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH). El alcance del presente documento abarca un contexto acerca de qué es la discapacidad cognitiva y el TDAH, de cómo la ingeniería apoya el diseño y desarrollo de juguetes adaptados con fines lúdicos y terapéuticos y una descripción de la fase inicial de desarrollo del prototipo objetivo de este proyecto.

Palabras Clave: adaptaciones tecnológicas, discapacidad cognitiva, diseño universal, ingeniería biomédica, juguete adaptado

Abstract

This article exposes the interest of the ElectroCun group with the support of the IDECUN research group of Corporación Unificada de Educación Superior, CUN, to venture into the design and development of toys adapted for children in disability condition. This descriptive article presents the first stage of design of a functional prototype of a game adapted for children with cognitive disabilities and with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). The scope of this document covers a context of what is cognitive disability and ADHD, how engineering supports the design and development of toys adapted for recreational and therapeutic purposes, and a description of the initial development phase of the prototype objective of this project.

Keywords: Adapted Toy. Cognitive disability, Biomedical Engineering, Technological Adaptations, Universal Design

* Corporación Unificada Nacional de Educación Superior – CUN. Contacto: sergio_diaz@cun.edu.co

** Corporación Unificada Nacional de Educación Superior – CUN. Contacto: said_pinzon@cun.edu.co

Introducción

La Organización Mundial de la Salud, OMS, estableció un marco de referencia sobre la salud y la discapacidad, en la Clasificación Internacional del Funcionamiento, comúnmente conocida como CIF. En la CIF el concepto de discapacidad no es la simple caracterización de algunas personas, sino que es un fenómeno muy complejo que atañe, sistémicamente, a todo ser humano, en cuanto a la interacción entre su propia condición de salud y su contexto personal y ambiental. Así, el término discapacidad pretende ser una generalidad que abarca: 1) las deficiencias propias en la estructura o el funcionamiento corporal de un individuo, 2) sus limitaciones en la realización de acciones y labores, y 3) las restricciones de su participación en situaciones vitales según el estándar social de su respectiva cultura. (Organización Mundial de la Salud, 2001).

En el informe mundial sobre la discapacidad, la OMS afirma que más de mil millones de personas, es decir, un 15 % de la población mundial, padece alguna forma de discapacidad; entre 110 millones y 190 millones de adultos tienen dificultades considerables para funcionar. La discapacidad es cada día más preocupante, pues su prevalencia está en aumento, debido a que la población de adultos mayores también está incrementando, y sus condiciones de salud los hace más propensos a la discapacidad. Adicionalmente, el ritmo de la vida contemporánea ha incrementado el desarrollo de enfermedades crónicas como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y trastornos en la salud mental (Organización Mundial de la Salud, 2011).

En todo el mundo, las personas con discapacidad tienen peores resultados académicos, una menor participación económica y unas tasas de pobreza

más altas que las personas sin discapacidad. En parte, ello es consecuencia de los obstáculos que entorpecen el acceso de las personas con discapacidad a servicios de salud, a la educación, el empleo, el transporte, o la información. Esas dificultades se exacerbaban en las comunidades menos favorecidas.

Para el caso de la población infantil, la situación no es muy diferente, ya que apenas ahora se está hablando de un enfoque inclusivo en las escuelas y en espacios que antes eran relegados para niños con un tipo de condición especial. El término inclusión también abarca los objetos y ayudas técnicas que le permiten a esta población tener una comunicación con mayor independencia y calidad de vida (Moreno y Martínez 2014).

De acuerdo con el portal Discapacidad Colombia, a nivel mundial se estima que 93 millones de niños, o 1 de cada 20 entre los que tienen hasta 14 años, viven con una discapacidad moderada o severa. En la mayoría de los países con ingresos bajos y medios, los niños con discapacidades tienen más probabilidades de no escolarizarse que cualquier otro grupo de niños. Las tasas de primera inscripción escolar de niños con discapacidades son muy bajas. Incluso cuando asisten a la escuela, los niños que sufren discapacidades son más susceptibles a abandonar su escolarización o finalizarla prematuramente (Discapacidad Colombia, 2017).

De acuerdo con expertos en juego y juguetes, del Centro Tecnológico AIIJU, “el juego permite desarrollar la propia capacidad física y mental. Es una fuente de autoafirmación, satisfacción y placer. Jugar significa ser activo y prepararse para la vida adulta. Sin duda una carencia importante

de juego en la infancia ocasionará un desarrollo incorrecto e incompleto de la personalidad del niño” (Costa et al., 2007, pág. 3).

En ese orden de ideas, dentro de las ayudas técnicas o tecnologías adaptadas, se resalta un término aplicado a estos desarrollos: diseño universal o diseño para todos. El diseño universal consiste en la percepción y creación de diversos productos, entornos y servicios, para que puedan ser utilizados por el mayor número posible de personas, sin necesidad de adaptaciones o de proyectos especializados. El diseño universal beneficia a personas de todas las edades y capacidades. No hace separación entre las personas, sino que busca la adecuación para todos en todo

momento con el mismo diseño, o bien ofreciendo opciones para diferentes necesidades. Con esta aplicación se ha buscado diseñar tecnología que pueda ser accesible para cualquier persona sin que tenga que tener una condición especial.

Uno de los objetivos de la ingeniería es el diseño y desarrollo de tecnologías que hagan más fáciles y amigables las actividades diarias, entre ellas las actividades lúdicas, además de ofrecer una nueva alternativa para el bienestar de las personas con limitaciones, a través de los juegos, de modo que estos se conviertan en medios y herramientas terapéuticas de acuerdo con cada discapacidad y diseño (Arévalo, 2007).

El prototipo y su metodología

Planteamiento del problema

Hoy en día, la tecnología avanza a pasos agigantados. Esto permite a cualquier persona tener un amplio acceso a diversas temáticas, que antes se creían exclusivos para expertos altamente capacitados en diferentes campos. Con la aparición del internet y demás herramientas para compartir información de todo tipo a nivel global (correo, chats, redes sociales, etc.), ha crecido el desarrollo de dispositivos lúdicos que tienen enfoques educativos, sociales, empresariales y familiares (De Miguel, 2006).

Existen miles de sitios web, aplicaciones y dispositivos didácticos electrónicos que se enfocan en la ayuda a personas que tienen enfermedades asociadas a la discapacidad cognitiva. Diversos estudios han dejado ver que mediante la estimulación con juegos didácticos las personas

retienen un 25 % más de información con respecto a la forma tradicional de aprendizaje. Además, los pacientes expuestos a esta clase de juegos presentan mejoras notorias en sus capacidades motrices y mentales (Discpacnet, s. f.).

Por lo anterior, surge la idea de iniciar investigaciones y desarrollos de dispositivos lúdicos para personas con discapacidad. En este primer acercamiento, se propuso el desarrollo de un prototipo funcional de juego didáctico, cuya finalidad es hacer una interacción lúdica con niños en edad escolar que tengan algún tipo de discapacidad cognitiva, motora o déficit de atención, que posibilite la estimulación físico-motora dentro de un cuadro terapéutico y de seguimiento, para establecer el impacto ocasionado por el uso de este tipo de juegos.



Metodología

La metodología que se propone en el proyecto corresponde a un ciclo de elaboración fundamental con 3 fases que darán forma al prototipo y mostrará sus implicaciones en la problemática propuesta. Estas incluyen las características de

uso clínico, si el dispositivo será solo lúdico o si también tendrá un componente terapéutico, que sea medible de acuerdo con protocolos de rehabilitación definidos.

Primera fase: diagnóstico para identificación de variables

En esta fase se realizará la identificación de las variables o factores involucrados en el desarrollo del prototipo propuesto junto a las variables clínicas. También se procederá a definir el caso de

estudio como un proyecto de investigación, cuyo objetivo fundamental es iniciar con el desarrollo de dispositivos tecnológicos y ayudas técnicas para personas en situación de discapacidad.

Segunda fase: diseño del prototipo

En esta fase se construirá el documento maestro de diseño con las variables y características de funcionalidad y uso definidas, Para este caso, las variables clínicas aún están por definir. También se describe el desarrollo que se realizó para la construcción del diseño del dispositivo electrónico, en el que se tendrá en cuenta las variables asociadas en la primera fase. Se define los esquemas correspondientes al hardware (diagrama de bloques) y software (diagrama de flujo).

También se considerarán los principios de diseño universal, además de las variables terapéuticas que se definan con los profesionales en rehabilitación, para que así las siguientes fases tengan un desarrollo de acuerdo con la finalidad y uso del dispositivo (Sevilla, 2011):

1. Uso equitativo, es decir, que se proporcione iguales maneras de uso y sea atractivo para todos los usuarios.
2. Flexibilidad de uso, es decir, que se adapte a las habilidades propias del usuario.

3. Uso simple e intuitivo, es decir, que sea fácil de entender según el nivel de alfabetización del usuario, sin complejidades innecesarias.
4. Información perceptible, es decir, que comunique eficazmente la información necesaria para el usuario, según las condiciones ambientales y sensoriales del usuario.
5. Tolerancia al error, es decir, que permita minimizar los riesgos y errores con pleno acceso a los elementos más usados, y eliminando, aislando o cubriendo los elementos peligrosos. Debe proporcionarse advertencias explícitas sobre posibles fallas y peligros.
6. Bajo esfuerzo físico, es decir, que el usuario pueda usarlo eficaz y cómodamente, sin fatigarse.
7. Tamaño y espacio para el acceso y el uso, es decir, que se puedan alcanzar y manipular sus elementos según las condiciones corporales y motrices del usuario.

La variables y características terapéuticas serán definidas con los profesionales. Esto es lo que se pretende lograr como valor terapéutico, sumado a que sea medible en las escalas clínicas que se definan como requerimientos de diseño. Esta

Tercera fase: implementación del prototipo

De acuerdo con lo evidenciado en las dos primeras fases, en la tercera se explica cómo funciona de manera general el prototipo construido y se analiza el porcentaje de implementación

Desarrollo del proyecto

Identificación del diagnóstico.

Los juegos didácticos pueden estimular diferentes áreas de una persona, más aún en el caso de las personas con discapacidad cognitiva. Mediante una mirada retrospectiva, se evidencia que el prototipo implementado estimula de

Diseño del prototipo.

De acuerdo con la identificación del diagnóstico (fase 1), se tienen en cuenta las características fundamentales para realizar el diseño de un prototipo cuya interfaz resulte ser intuitiva y amigable, con el objetivo de que el usuario final pueda realizar la actividad. El fin que se quiere alcanzar con el prototipo es que este pueda ser utilizado por niños en edad escolar.

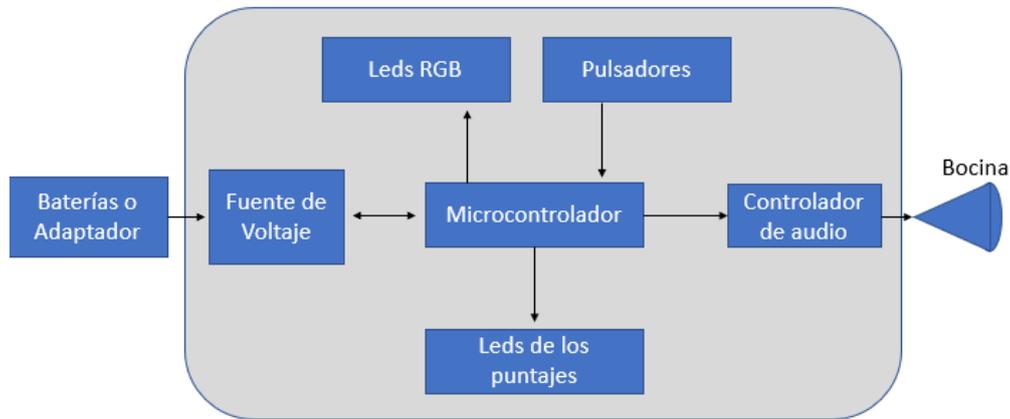
intervención está aún por desarrollarse junto a los profesionales de salud. Como se definió al inicio de la metodología, este es un prototipo que se encuentra en etapa de diseño.

alcanzado hasta la actualidad. Se aclara que este proyecto se encuentra en su primera etapa de diseño.

manera superficial los campos correspondientes a la concentración, atención y reacción. En el modelo propuesto se evalúan las competencias de los participantes.

Se consideró que el dispositivo dependiera únicamente de conectar a la energía eléctrica y que no hiciera falta un menú de configuración. A continuación, se presenta, en la figura 1, un diagrama esquemático de bloques, en el que se observan los elementos incorporados en la construcción del prototipo electrónico.

Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo electrónico.



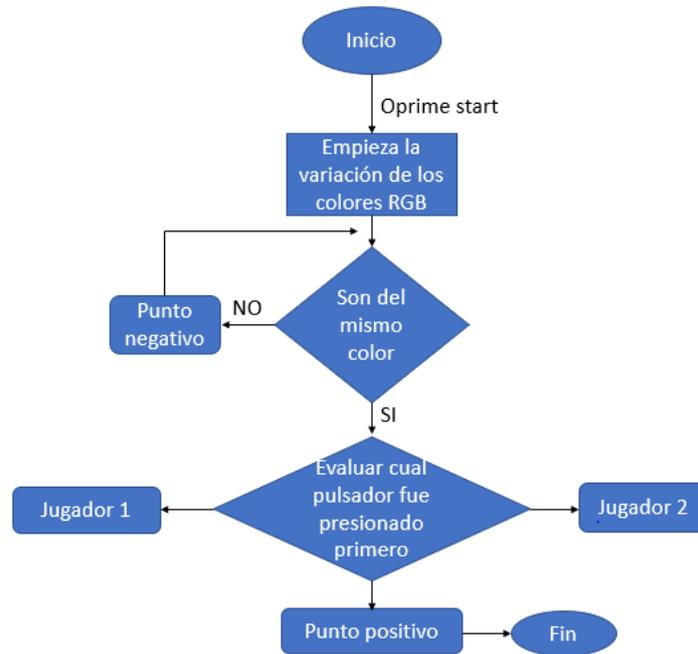
Fuente: elaboración propia.

El prototipo contiene un sistema audiovisual con el fin de que los participantes puedan familiarizarse con el dispositivo como un juego básico, con el que se puedan divertir e interactuar con otros. El enfoque principal del dispositivo pretende evaluar la habilidad de respuesta de dos participantes. Por medio de dos pulsadores conectados a sistema de control, se determina la rapidez con la que cada uno de ellos es capaz de reconocer un indicador.

El controlador, mediante su programación en C, una vez iniciado el juego, emite un tren de pulsos a diferente frecuencia hacia los leds RGB,

con el fin de variar su tonalidad. Este analiza constantemente el estado de los pulsadores, que se encuentran en un estado inicial de +5 V pero que, cuando son pulsados, cambian a 0 V. El controlador percata esta variación de voltaje y, mediante su lógica de programación, evalúa cuál fue el participante que oprimió en primer lugar el pulsador. Debido a esta acción, el controlador emite un pulso que controla el *driver* de audio. En un instante de tiempo más, envía otro pulso para encender los leds de los puntos o apagar el led al participante en el caso que de este se equivoque. A continuación, se detalla en la figura 2 el diagrama de flujo que corresponde a la lógica del controlador.

Figura 2. Diagrama de flujo del controlador.



Fuente: elaboración propia.

Implementación del prototipo y dinámica del juego

En el sistema de control se tienen conectados:

- Dos leds RGB en la parte frontal del prototipo con el fin de que los jugadores puedan siempre observar claramente la tonalidad del color de los leds.
- Dos pulsadores de contacto, ubicados a cada lado de los participantes para poder presionar una vez sea el momento.
- Un pulsador de *start*.
- Reproductor de Audio.

El juego se inicia con la conexión a la energía eléctrica, ya sea por la conexión de un adaptador de 9V - 1A, o también se puede realizar la conexión del dispositivo a una batería de estas mismas características. Una vez se enciende el dispositivo, este cuenta con un reproductor de mp3, que reproduce un audio con la instrucción

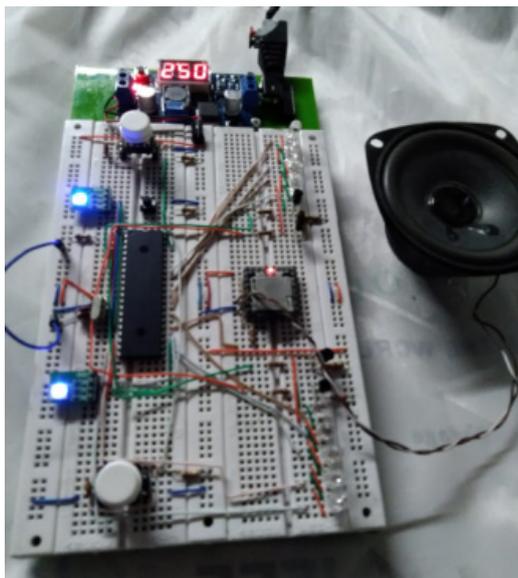
a los participantes antes de comenzar a jugar. Una vez se ha accionado el pulsador de *start*, se inicia el juego, partiendo con cierta tonalidad de color en los leds RGB por un tiempo desconocido para los participantes (pero determinado en la programación del controlador). En un instante de tiempo diferente, al primero se le sincronizan los leds RGB (Rojo-Rojo, Verde-Verde, Azul-Azul). El jugador que presione el pulsador con mayor velocidad, atención y respuesta, obtendrá un punto positivo. En caso de que el participante presione el pulsador en el momento que las tonalidades de color no estén sincronizadas, este perderá un punto si cuenta con alguno positivo, o en caso de que no tenga puntos se le sumará un punto negativo.

Para poder ganar se deben completar cinco puntos positivos, los cuales se observan en unos leds de lado del participante (Verdes - Puntos

Positivos y Rojos – Puntos Negativos). En caso de que un participante gane un punto positivo, el dispositivo de audio se activa para decirle al participante “bien hecho”. En caso de que el punto sea negativo, el sistema de audio se activa

para decirle al participante “te equivocaste”. Cuando alguno de los dos participantes logra completar cinco puntos correctos, el sistema de audio felicita al ganador y vuelve a reiniciarse para jugar de nuevo.

Figura 3. Prototipo elaborado real.



Fuente: elaboración propia.

El prototipo previsto se encuentra en fase experimental y aún no se han realizado pruebas con los usuarios objetivo de este diseño.

Resultados y discusión

Se plantea que el desarrollo estará sujeto a pruebas de acuerdo a las variables clínicas que se establezcan, y así mejorar el prototipo con interfaces gráficas adaptadas al usuario, un diseño ergonómico, la optimización de funciones (como la de oprimir un pulsador), la visualización en una pantalla táctil, o una mayor interacción con los usuarios, permitiéndoles el acceso a etapas de mayor nivel y que cuenten con un grado de complejidad más alto, así como mayor memoria

para guardar resultados y poder evaluarlos de acuerdo a las variables clínicas establecidas.

Con este prototipo se inicia en el grupo IDECUN y en el semillero ElectroCun la investigación y el desarrollo de dispositivos lúdicos para personas en condición de discapacidad. Paralelamente a esta experiencia, se construyen pautas de fases preclínicas y clínicas para este tipo de diseños, dentro de lo que sea posible. Se resalta que con la experiencia de la CUN en desarrollos dentro del

ámbito de la robótica y la electrónica se aporta de manera significativa a esta nueva etapa de exploración de la ingeniería aplicada a la discapacidad, como un soporte y ayuda para brindar a esta población mejor calidad de vida. De igual

manera, se vincula a estudiantes y jóvenes investigadores a desarrollar proyectos con enfoque e impacto social como este tipo de dispositivos tecnológicos, con características seguras y adaptables a las condiciones de cualquier usuario.

Referencias

- Arévalo, J., Roa, J. y Galeano, J. (2007). Playtek: juguete electrónico para niños con discapacidad mental. *Umbral Científico*, 11, 17-28. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/304/30401103.pdf>
- Costa, M., Romero, M., Mallebrera, C., Fabregat, M., Torres, E., Martínez, M., Martínez, Y., Zaragoza, R., Torres, S. y Martínez, P. (2007). *Juego, Juguetes y Discapacidad*. Alicante: Asociación Investigación Industria del Juguete. Recuperado de <http://www.cesya.es/sites/default/files/documentos/folleto%20AIJU.pdf>
- De Miguel, M. (2006). *Metodologías de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de competencias. Orientaciones para el profesorado universitario ante el espacio europeo de educación superior*. Madrid: Alianza Editorial.
- Discapnet. (s. f.). Tecnología Inclusiva. Fundación ONCE. Disponible en: <https://www.discapnet.es/areas-tematicas/tecnologia-inclusiva/guia-de-juguetes-accesibles>
- Discapacidad Colombia. (2017). Inclusión Educativa. Recuperado de <http://www.discapacidad-colombia.com/index.php/inclusion-educativa>
- Moreno, L., Martínez, P. (2014). Evitando las Barreras de Accesibilidad en la Sociedad de la Información. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <http://aprende.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/cerrandobrechas/importantes/tema-2-diseno-universal.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2001). Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud: CIF. Versión abreviada. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43360/9241545445_spa.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Informe mundial sobre la discapacidad. Recuperado de <https://www.oas.org/es/sedi/ddse/paginas/documentos/discapacidad/DESTACADOS/ResumenInformeMundial.pdf>
- Sevilla, G. (2011). *La naturaleza relacional entre la discapacidad y el diseño: modelo sistémico de análisis Persona en situación de discapacidad – Entorno construido* (tesis de maestría) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Actualidad en el agro colombiano y aprovechamiento de los recursos visto desde la robótica

Yeyson Alejandro Becerra Mora*, Sebastián Soto Gaona**

Resumen

Diversos informes sobre el crecimiento de la población y la demanda de alimentos a nivel mundial señalan que es indispensable realizar una gestión más eficiente del suelo, para tener un mayor rendimiento por metro cuadrado cultivado. Muchos países tienen un gran potencial para explotación agrícola a gran escala, que luego serán llamadas las despensas del mundo, entre ellas Colombia. A partir del análisis de la panorámica nacional del agro colombiano, se proyectan diversas soluciones desde el punto de vista de la robótica y su relación directa con agricultura de precisión. La robótica desempeña un papel importante como maquinaria especializada en la realización de tareas complejas, al asistir al hombre y ayudarlo a obtener un mayor rendimiento de los recursos. Las proyecciones globales para la robótica en la agricultura se muestran rentables y prometedoras, gracias a los diversos avances de esta tecnología.

Palabras clave: agricultura de precisión, autónomo, robótica

Abstract

Several reports on population growth and demand for food worldwide point out that more efficient soil management is indispensable for higher yields per square meter cultivated. Many countries have great potential for large scale agricultural exploitation, that will be called the pantries of the world, and Colombia is one of them. From the analysis of the national panorama of Colombian agriculture, various solutions are projected from the point of view of robotics and its direct relationship with precision agriculture. Robotics plays an important role as specialized machinery in carrying out complex tasks, by assisting man and helping him to obtain a greater yield of resources. The global projections for robotics in agriculture are both profitable and promising, thanks to the diverse nature of this technology.

Keywords: autonomous, precision farming, robotics

* Ingeniería Mecatrónica, Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria Contacto: becerrayeyson@gmail.com

** Ingeniería Mecatrónica, Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria Contacto: soto.sebastian@uniagraria.edu.co



Introducción

Una vez finalizó el conflicto armado con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), la agroindustria colombiana comenzó a perfilarse como uno de los sectores económicos más prometedores del país. Esto se debió a que las zonas que fueron ocupadas por el conflicto armado comenzaron a ser reutilizadas para la producción de alimentos, que no fueron utilizadas por décadas debido a este flagelo.

Sin embargo, se debe realizar un trabajo social fuerte que permita la restitución de tierras y que más campesinos vuelvan a sus actividades. Según un informe de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), Colombia en el 2016 ocupada el primer lugar con más de 7,4 millones de desplazados internos.

Actualidad en el agro colombiano

En el 2016, se evidenció que 26 millones de hectáreas tienen capacidad de producción agrícola, pecuaria y forestal; de las cuales solo se aprovechaba el 24,2 %. De los suelos netamente agrícolas, que son 11,3 millones de hectáreas, solo se aprovechaba el 34,2 % (Morales, 2016). Igualmente, se pudo evidenciar que, debido a esta falta de aprovechamiento de terreno apto para la agricultura, se estaba importando alrededor del 28,5 % de alimentos consumidos en los hogares. Una vez finalizó el conflicto armado en este mismo año, se previó el gran potencial de Colombia en la agroindustria, siendo este uno de los sectores con mayor futuro y que más le aportaría al PIB del país, más aún cuando las

Otro problema identificado en el sector rural ha sido el envejecimiento de la población en los últimos años. Cada vez con mayor frecuencia, los jóvenes de entre los 20 y 30 años migran a las urbes con la esperanza de conseguir mejores oportunidades. Además, el promedio de integrantes por hogar en el sector rural ha disminuido de 4 a 3,32 personas (Unimedios, 30 de diciembre de 2015). Inclusive, padres agricultores prefieren que sus hijos reciban educación universitaria y migren a las ciudades en lugar de permanecer en el campo.

Debido a la gran cantidad de intermediarios, desde el productor hasta el consumidor final, el producto puede llegar a costar entre 2 y 5 veces más. Por lo tanto, el beneficio del agricultor se ve afectado considerablemente. Dado lo anterior, el campesino colombiano ha venido desistiendo en dejar su legado a futuras generaciones.

proyecciones de producción y reservas en el sector petrolero se encuentran a la baja.

El peso que tuvieron los productos agrícolas sobre las exportaciones realizadas en el 2017 fue de tan solo el 8 %, siendo el café y el banano los productos más representativos (BLOOMBERG, 2017); mientras que en países como Chile y Argentina, la exportación de productos agrícolas pesó el 14 % y 50 % respectivamente, del total de las exportaciones realizadas en ese mismo año.

Las proyecciones que se tienen para la población mundial en el 2050 se sitúan en torno a las 9.000 millones de personas y, según lo manifiesta el

Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFDA), la producción de alimentos en los países en vías de desarrollo tendrá que duplicarse. Acorde a estas proyecciones, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, afirma que Colombia puede llegar a ser una potencia en el sector agroindustrial si se hacen los debidos ajustes en este momento. Según datos de la FAO, Colombia es el cuarto país de Latinoamérica con tierras disponibles para la producción de alimentos, y el tercero con mayores recursos de agua, diversidad climática y tasas de precipitación anual. Además, los informes internacionales señalan que los alimentos han de ser suministrados por tierras más productivas, las cuales representaran el 80 % del parque agrícola disponible y solo el 20 % será equivalente a nuevas tierras. Por lo tanto, es indispensable transformar el primer sector con mejoramiento genético, desarrollo de tecnologías de punta, agricultura de precisión, economía sustentable, automatización de procesos, integración de mercados e innovación, entre otros (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario, Finagro, 2018).

Si bien se está ante una oportunidad inmensa de incrementar los niveles de producción agrícola, aún falta un largo camino por recorrer. A los problemas que enfrenta el campesino colombiano, como los mencionados previamente, se le suman los siguientes: informalidad en la tenencia de la tierra, altos costos logísticos y bajos niveles de inversión en tecnología para el sector agroindustrial. Con el acuerdo de paz firmado en el 2016, se avanzó considerablemente en la solución de algunos de estos problemas, al hacer volver al campesino a las áreas rurales por medio de la restitución de tierras, con incentivos para que permanezca en ellas por medio de programas sociales.

Otro avance hecho en los últimos años fueron los proyectos de infraestructura lanzados por el Gobierno Nacional, que establecieron nuevas vías para el mejoramiento de la competitividad del país y la disminución de costos logísticos. La inversión en tecnología en la agroindustria es aún incipiente, debido, principalmente, a los problemas de conflicto armado vividos en zonas rurales. Sin embargo, el panorama es distinto actualmente, por lo cual se espera que la inversión y la producción en la agroindustria comiencen a crecer considerablemente en los próximos años.

Asimismo, la inversión en ciencia y tecnología en el sector agropecuario es de vital relevancia para que este crezca a tasas significativas. Según lo comenta Rafael Mejía, presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia, SAC, se deben generar políticas de largo plazo en asistencia técnica integral que contemplen la investigación e innovación para el sector (Mejía, 2016). Un informe publicado por el Departamento Nacional de Planeación, DNP (2015) informa que las fuentes de inversión pública para actividades de I+D en el sector agropecuario dependen del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), de los Fondos Parafiscales, de Colciencias y del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTI) del Sistema General de Regalías (SGR). Los recursos asignados para I+D en el sector agropecuario se vieron incrementados 159 % en el 2011 con respecto al año anterior, gracias a los fondos que entraron por el SGR, el cual destinó 10 % para actividades de ciencia y tecnología. Otros recursos administrados por las entidades nombradas previamente provenían del Presupuesto General de la Nación (PGN), recursos internacionales y parafiscales.

Durante la crisis en los precios del petróleo, los recursos asignados al SGR se vieron reducidos considerablemente, por lo que las actividades



de ciencia y tecnología que dependían de fondos públicos se vieron afectadas. Sin embargo, en la actualidad el precio del petróleo se ha

recuperado en más del 100 % desde su nivel más bajo en 2016, lo que lleva a mayores recursos para I+D.

La robótica como herramienta en el sector agropecuario

La agricultura, como una de las actividades más importantes en la historia de la humanidad, está enfrentándose a nuevos desafíos. Por un lado, debe suplir la demanda alimenticia a una población de 9.000 millones de personas para el 2050; por el otro, incrementar en un 25 % la eficiencia en la producción agrícola, debido a las limitaciones en tierra, agua y recurso humano. Atendiendo estas proyecciones, países como Estados Unidos y China están empezando a comprar tierras para producción agrícola en otros países. Los agricultores alrededor del mundo están empezando a utilizar métodos de agricultura de precisión: Japón, por ejemplo, realiza el 90 % de sus fumigaciones con pequeños helicópteros no tripulados, y diversos países alrededor del mundo están previendo la disminución de mano de obra en el sector agropecuario para los próximos años (Keane, 2013).

En las últimas seis décadas, los robots industriales han incrementado los niveles de eficiencia y producción en el sector industrial y han reducido costos en este tipo de productos. En el sector agropecuario se está viendo una tendencia semejante. Durante los últimos 20 años se ha visto en la agricultura el uso de *Global Position System* (GPS), así como cosechadoras y tractores

auto guiados. Ya en los últimos años, los agricultores han empezado a experimentar con sistemas autónomos que permitan optimizar procesos de cosecha, corte, eliminación de maleza, poda, fumigación, entre otros. Sistemas como los *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) están siendo usados para mapear, observar, sensar y rociar; mientras que los *Unmanned Ground Vehicle* (UGV) están proporcionando movimientos más precisos en los cultivos (Gage, 1995).

Debido a los avances vistos en la robótica industrial y la ausencia de humanos en las fábricas, se teme actualmente que la robótica haga lo mismo en el sector agropecuario. Sin embargo, a pesar de que la robótica se presenta como una solución a las labores agrícolas, la FAO afirma que este es aún un mercado inmaduro. Además, es cierto que mucho del sector agropecuario se ha automatizado, pero no en su totalidad, por lo que aún se necesita de humanos en diversas tareas agrícolas. La cuarta revolución industrial cataloga a la robótica como una tecnología disruptiva, que inicialmente tomará millones de empleos en el mundo con el pasar de los años, pero que, a la larga, generará muchos más, lo que da lugar a industrias y ocupaciones que aún no existen (FAO, 2017).

Agricultura de precisión y robótica

El sector agrario se está beneficiado por los desarrollos tecnológicos de los UGV y UAV. La utilización de vehículos autónomos para asistir al

agricultor permite una mayor productividad en un porcentaje menor de tierra (Fernández, 2012). Este concepto va ligado a la agricultura de

precisión, la cual se caracteriza por gestionar de forma eficiente el manejo de la variabilidad del cultivo y del terreno en el tiempo, empleando herramientas de control y análisis de datos.

El suministro de insumos se realiza tomando en cuenta la variación en los componentes del suelo (acidez, humedad, características topográficas, relieve del terreno), con la finalidad de mejorar las condiciones de desarrollo vegetal en temporadas de siembra. La diferencia entre la agricultura de precisión y la agricultura convencional

radica en que la convencional considera las condiciones de siembra como homogéneas en el terreno, mientras que la de precisión toma en cuenta la variabilidad del espacio del suelo en el tiempo, para maximizar el rendimiento y reducir los costos de inversión y consecuencias ambientales (Oficina de información científica y tecnológica para el congreso de la Unión, 2018).

La agricultura de precisión se desarrolla en tres etapas:

Figura 1. Etapas de la agricultura de precisión

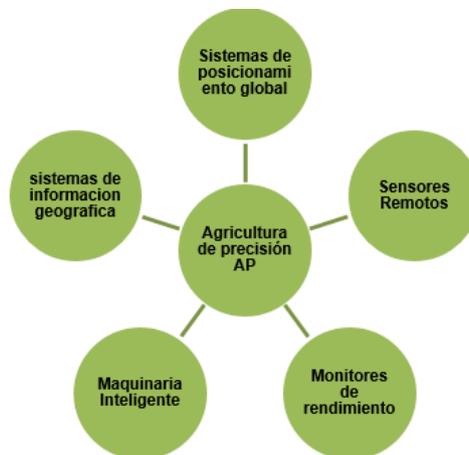


Fuente: elaboración propia.

En la agricultura de precisión existen una serie de tecnologías asociadas que potencializan sus

cualidades y permiten el uso eficiente de los recursos, dichas tecnologías son:

Figura 2. Tecnologías asociadas a la agricultura de precisión



Fuente: elaboración propia.

Los UAV han hecho en los últimos años que el sector agropecuario sea más eficiente y productivo. Algunos beneficios que ofrecen estos sistemas son los siguientes: obtención de información topográfica en la delimitación de áreas, actualización cartográfica, cuantificación de áreas infestadas por malezas, cuantificación de áreas de resiembra y digitalización de líneas de surcado. También se obtienen modelos digitales de elevación para estimar curvas a nivel, construcción de mapas de pendientes, modelos de superficie y modelos para estimar la altura del cultivo, entre otros.

En el sector agropecuario, los UAV pueden ser teleoperados o autónomos; su hardware puede incluir cámaras visuales, infrarrojas y/o multiespectrales o térmicas. Las cámaras visuales permiten tomar fotos georreferenciadas para identificar área efectiva, caminos, agua y realizar la logística de un amplio terreno. La información puede ser almacenada para ser consultada posteriormente y, mediante algoritmos de visión por computador, se puede calcular la densidad de siembra y cantidad de árboles y plantas de forma automática. Las cámaras multiespectrales obtienen los colores que refleja la planta a través de una firma espectral, la cual está compuesta por características únicas e inequívocas de la planta. Con esto se identifica si la planta está saludable, con estrés hídrico o si tiene alguna maleza. Además, con las cámaras multiespectrales, se pueden generar mapas de diagnóstico, como pueden ser de condiciones de cultivo, de fertilizantes, de contenido de nitrógeno, de estrés hídrico y de plagas (Granados, 2013).

Labores como fumigar, segar, recoger, plantar, labrar; pueden ser realizadas actualmente por los UGV. La fumigación de un cultivo puede ser puntual, e incluso si el robot detecta malas hierbas puede extraerlas de forma mecánica, lo que

evita el uso de peligrosos herbicidas. La siega realizada por un robot se ha visto empleada en campos de maíz en Estados Unidos, lo que ha reducido los tiempos destinados a esta labor. La recolección de frutos es una tarea un poco más complicada, ya que el robot debe emplear algoritmos de visión y procesamiento de imágenes que le permita identificar características del fruto para decidir si es momento de recolectar o no. Además se deben implementar *grippers* en su brazo robótico, que permitan la correcta manipulación del fruto, evitando el maltrato. En las labores de plantación y labrado, se valora la precisión de estas tareas realizadas por el robot pues así se optimizan los espacios en el cultivo.

Los UGV se caracterizan por ser robots móviles, con sistemas de locomoción tales como, ruedas, orugas o inclusive patas, además de cámaras y sensores, para identificar su entorno. Algunos robots están provistos de brazos robóticos que les permiten interactuar con el entorno y diversas herramientas en su *end-effector* para realizar tareas de corte, extracción o manipulación. Desde el software se utilizan técnicas de inteligencia artificial, visión por computador y planificación de rutas (Gildert, 2018).

Se sigue desarrollando investigación en este tipo de sistemas, y algunos de los desafíos que se han identificado tienen que ver con el reconocimiento de frutos y de su madurez; cambios en la intensidad de luz, presencia de polvo, temperaturas extremas y cambios de viento, ya que son sistemas que se encuentran en campo abierto; objetos en movimiento, ya sean animales o personas; manipulación de objetos suaves y delicados, y legislación.

Los vehículos autónomos bien sea UGV o UAV pueden operar en conjunto mediante la robótica cooperativa o sistemas cooperativos. Estos

se definen como la capacidad que tienen los sistemas inteligentes de coordinar en acción conjunta, para ejecutar procesos a partir de diversos mecanismos subsecuentes (Gildert, 2018). Por ejemplo, al inicio de una misión en una extensión de tierra, un UAV realiza un vuelo en el que inspecciona un área específica, se traza un mapa que luego es procesado para proporcionar una trayectoria al UGV. Mediante un esquema de

navegación en tiempo real, el UAV sobrevuela el área para proporcionar una cobertura global al momento de asistir al UGV en tiempo real para navegar en tierra evitando obstáculos (Cabrera, 2018). Es posible incluir un operador humano para seleccionar puntos de ruta mediante el seguimiento de la cobertura global, aplicando así una arquitectura interactiva en un escenario real (Harik, 2015).

Avances en robótica agrícola

Existen empresas e instituciones universitarias que se dedican a realizar avances en materia de robótica orientada a la agricultura de precisión.

La siguiente tabla presenta las áreas en las cuales se plantean soluciones agrícolas y pecuarias:

Tabla 1. Descripción de los tipos de robots agrícolas

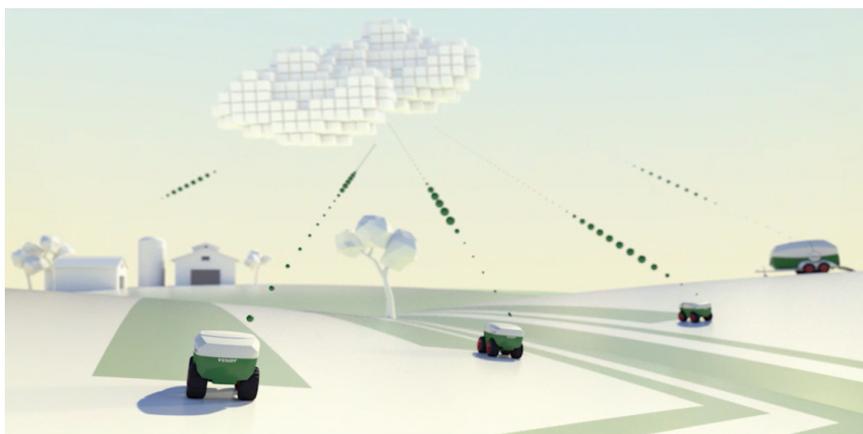
Función	Descripción	Modelos
Recolección y Cosecha	Robots especializados en la recolección de frutos o cosecha a gran escala de productos de granja de consumo masivo.	Agritronics AGCO Fendt Robotic Harvesting
Siembra, Poda, Injertos	Maquinaria inteligente para realizar una gestión adecuada del suelo al momento de sembrar. Son robots con capacidad de monitorear áreas específicas del cultivo.	Helper Robotech Conic Systems
<i>Thinning</i> y <i>Deshierbe</i> .	Control de población en las plantas sembradas y manejo de plagas.	Blue River Technologies Vision Robotics
Inspección, Recopilación y Manipulación De Datos	Mecanismos tipo UAV recorren los cultivos para recopilar información detallada de las condiciones del suelo en el espacio tiempo.	PrecisionHawk senseFly
Implementos Inteligentes	Elementos inteligentes que responden a comandos desde estaciones de monitoreo.	Autonomous Tractor Agrobotics AutoProbe
<i>Automated milking</i>	Sistemas automatizados para ordeñar vacas, que optimizan la mano de obra, aumentan la producción, y mejoran su salud.	Lely DeLaval VMS

Fuente: elaboración propia.

Xaver es un sistema robótico desarrollado por la división Fendt de la empresa AGCO. El sistema consiste en un grupo de robots que operan en enjambre. La administración de datos y satélites en la nube permite planificar, monitorear y documentar con precisión todo lo que respecta a

las plantaciones de maíz donde se implemente bien sea con la protección y fertilización de los cultivos, fertilización a cada planta individual, planificación del campo para la siembra de las semillas, la densidad del cultivo, entre otros (Fendt, s. f.).

Figura 3. Módulos que interviene en el funcionamiento de Xaver



Fuente: tomado de (Fendt, s.f.)

Empresas como Plant Farm, con sede en EE. UU, desarrollan robots recolectores de fresas con capacidad de cosechar 10 hectáreas en tres días. El cosechador, llamado Harvest Croo, utiliza sensores de visión y software para escanear las plantas y localizar las bayas maduras. Su diseño avanzado evita que la fruta sufra cualquier tipo de daño en el proceso de recolección, lo que genera mayores ganancias para los agricultores, al evitar las pérdidas de fruta que normalmente se registran con un recolector humano (Harvest Croo Robotics, s.f.).

Vision Robotics, con sede en San Diego, California, ha desarrollado sistemas robóticos para sembrar la cantidad exacta de lechuga, asegurando una población objetivo para tener el espacio correcto para cada lechuga y prevenir daños por sobrepoblación. Además, la tecnología de visión puede detectar cada planta y, mediante

un sistema de suministro, se podrán rociar, nutrir o eliminar lechugas no deseadas si existen problemas de germinación o enfermedad. Todas estas tecnologías, diseñadas por Agmechtronix, también se especializan en la siembra automatizada de cultivos con gestión precisa del espacio del cultivo. Los sistemas automatizados pueden trabajar durante la noche, lo que resuelve el problema de la falta de mano obra en el sector agrícola (Agmechtronix, s.f.).

Otro ejemplo de esta tecnología aplicada al agro es el robot RIPPA, realizado en la Universidad de Sidney, emplea sistemas de tratamiento de imágenes para detectar maleza y remover las plantas no deseadas, además de proporcionar fungicidas en sectores específicos del cultivo para el control de plagas y enfermedades (Dorsey, 2018).

Figura 4. Robot RIPPA, sistema de reconocimiento de imagen

Fuente: construido a partir de Dorsey (2018)

Proyecciones

Un informe publicado en enero de 2014 por ResearchMoz muestra que el tamaño de mercado para robots agrícolas aumentará de US \$817 millones, para el 2013, a US \$16.300 millones para el 2020 (ResearchMoz, 2014). Actualmente existen pocos robots en el sector de la agricultura que han alcanzado la comercialización. Sin embargo, AgFunder proyecta que agricultores con más de 200 hectáreas representan un mercado de US \$5500 millones en el futuro (AgFunder, 2017).

La investigación realizada por IDTechEx afirma que 40 000 tractores autónomos no tripulados serán vendidos en 2038 y tractores con algún grado de autonomía tendrán un mercado de US \$27 000 millones. Por el lado de las flotas de robots móviles, la misma investigación afirma que estos sistemas llegarán a ser comercializados en el 2024, con un crecimiento rápido en ventas. Además, incluye que el tamaño de mercado para el 2028 será de US \$900 millones y en el 2038 de US \$2500 millones. Los robots recolectores de fruta tendrán su partida en el 2024 y el punto de inflexión se manifestará hasta el 2028; el tamaño de mercado para estos sistemas

se proyecta en US \$500 millones por año. Para los UAV, el tamaño de mercado que proyecta IDTechEx estará sobre los US \$420 millones en el 2028. Finalmente, IDTechEx afirma que los sistemas robóticos en fincas lecheras ya es un mercado de miles de millones de dólares, siendo instalados miles de estos sistemas alrededor del mundo (Martin, 2018).

Otros reportes, como el realizado por Gran View Research (GVR), muestran que el tamaño del mercado global para robots en el sector de agricultura fue valorado en US \$1050 millones para el 2015. Para ese mismo año, los robots ordeñadores dominaron el mercado en términos de ingresos, siendo el sector lácteo valorado en US \$585,6 millones. Bussines Wire afirma en su reporte que entre el periodo de 2018 a 2023 el mercado global para robots en el sector agropecuario, tendrá una tasa de crecimiento de 18,46 %. La valorización del mercado para el 2017 fue estipulada en US \$6374 millones y se proyecta que alcanzará los US \$ 17 614 millones para 2023 (Gran View Research, 2017).



Conclusiones

El acceso a este tipo de tecnología permitirá que nuevas generaciones permanezcan en el campo debido a mejores ingresos, lo que llevaría a un mayor impacto social en el país. Además, hacer uso de estas herramientas hará que residentes de las zonas rurales sean los operarios de estos sistemas (UAV, UGV, robótica cooperativa), lo que creará nuevos puestos de trabajo acordes a la cuarta revolución y generando inversión social.

La ventaja de Colombia en el sector agropecuario frente a otros países con estaciones climáticas es la de estar cultivando y cosechando durante todo el año; la desventaja es no tener la tecnología apropiada para aumentar su eficiencia para estar entre los mayores productores en el mundo. Desarrollar la agricultura de precisión en Colombia acarreará importantes mejoras en materia de tecnología y le otorgará a la nación

reconocimiento ante la comunidad internacional como una potencia agrícola.

Utilizar sistemas autónomos o teleoperados para la fumigación de cultivos, además de hacer esta labor más eficiente, también la hace menos riesgosa para el operario, ya que este no estaría en contacto directo con el herbicida o pesticida mientras es aplicado.

Actualmente se tiene que los países europeos y Estados Unidos son los mayores productores de UAV, con costos para estos sistemas entre los 20 y 30 mil dólares, sumados a los costos por mantenimiento. Por ello, Colombia tiene la oportunidad de diseñar y construir sus propios robots, tanto para el empleo doméstico, como para el exportador.

Referencias

- AgFunder. (2017). AgFunder AgriFood Tech Investing Report – 2017. Recuperado de <https://agfunder.com/research/agfunder-agrifood-tech-investing-report-2017/>
- Agmechtronix. (s.f.) Automated ag solutions. Recuperado de <http://www.agmechtronix.com>
- Cabrera, F y Barcia, R (2018). Estado del arte de robótica en la agricultura, *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*. Recuperado de <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/05/robotica-agricultura.html>
- BLOOMBERG. (29 de julio de 2017). Colombia quiere convertirse en una potencia agroindustrial. *Portafolio*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/colombia-quiere-convertirse-en-una-potencia-agroindustrial-508227>
- Dorsey, N. (21 de marzo 2018). Top 5 Robotic Systems to Watch in Agriculture- RIPPA. *Precision AG*. Recuperado de <https://www.precisionag.com/in-field-technologies/top-5-robotic-systems-to-watch-in-agriculture/>

-
- Fernández, C. (2012). RHEA: un proyecto europeo para el desarrollo de robots aplicados a la protección vegetal, *Phytoma*, 244, 30-35.
- Fendt. (s.f). Proyecto Xaver: Investigación en el campo de la robótica agrícola. Agricultura de precisión - un paso por delante. Recuperado de <https://www.fendt.com/es/xaver>
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro). (2018). El momento del Agro. Recuperado de www.finagro.com.co: <https://www.finagro.com.co/noticias/el-momento-del-agro>
- Gage, D. W. (1995). A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts, *Unmanned Systems Magazine*, 13(3), 1-7. ISSN: 1792-7625
- Gildert, N. (2018). The Need for Combining Implicit and Explicit Communication in Cooperative Robotic Systems, *Frontiers in Robotics and AI*, 1-6. DOI 10.3389/frobt.2018.00065
- Gran View Research. (2017). U.S. Food Container Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (Flexible Packaging, Paperboard, Rigid Packaging, Metal, Glass), By Application (Grain Mill, Dairy, Fruits & Vegetables, Bakery), And Segment Forecasts, 2018 - 2025. Recuperado de <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-food-container-market>
- Granados, F. L. (2013). Uso de Vehículos Aéreos no tripulados (UAV) para la evaluación de producción agraria, *Ambienta* 105, 40-52.
- Harik, C. (2015). UAV-UGV Cooperation for Objects Transportation in an Industrial Area. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01141993/document>
- Harvest Croo Robotics. (s.f.). Who we are. Recuperado de <https://www.harvestcroo.com/>
- Keane, J. F. (2013). *A Brief History of Early Unmanned Aircraft*. Johns Hopkins Apl Technical Digest.
- Martin, C. (Junio 2018). Global Agricultural Robots and Drones Forecast 2018 - 2038: Technologies, Markets and Players. Recuperado de <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-agricultural-robots-and-drones-forecasts-2018-2038-technologies-markets-and-players-300674238.html>
- Mejía, R. (2016). ¿Se está promoviendo la inversión agrícola en Colombia? Revista Nacional de Agricultura. Recuperado de <https://sac.org.co/se-esta-promoviendo-la-inversion-agricola-en-colombia/>

El Tiempo. (23 de mayo de 2016). El 65.8 % de la tierra apta para sembrar en Colombia no se aprovecha. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16601436>

Oficina de información científica y tecnológica para el congreso de la unión. (2018). Agricultura de Precisión. (15). Recuperado de https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Concentración y extranjerización de tierras productivas en Colombia*. Bogotá. ISBN: 978-92-5-309941-2

ResearchMoz (2014). Global Agricultural Robots Market - Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2014 to 2020 Report Available Online by ResearchMoz.us. Recuperado de <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-agricultural-robots-market---shares-strategies-and-forecasts-worldwide-2014-to-2020-report-available-online-by-researchmozus-242551581.html>

Unimedios. (30 de diciembre de 2015). Envejecimiento de habitantes rurales, otro freno al desarrollo del campo. Recuperado de <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/envejecimiento-de-habitantes-rurales-otro-freno-al-desarrollo-del-campo.html>

Pautas para publicar en #ashtag

Revista especializada en Ingeniería

La revista está dirigida a estudiantes, docentes y egresados de la Escuela de Ingenierías de la CUN, de áreas del conocimiento relacionadas de la misma universidad o a investigadores invitados de otras universidades u organismos nacionales o internacionales.

Lineas temáticas:

- Ciencia, tecnología e innovación
- Utilización de las TIC en el aula
- Seguridad informática, gestión de redes y telecomunicaciones
- Inteligencia artificial y sistemas expertos

Tipos de artículos:

Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta de manera detallada los resultados originales de un proyecto de investigación. Por lo general, la estructura de estos textos está constituida por cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y discusión.

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

Artículo de revisión: documento que surge de una investigación en la que se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, con el fin de dar cuenta de los avances y tendencias de desarrollo en un área de conocimiento o de la técnica determinada. Se caracteriza por presentar un cuidadosa revisión bibliográfica.

Pautas de presentación de artículos

Los artículos deben cumplir con los siguientes parámetros:

- a) Extensión entre doce (12) y quince (15) páginas (4500 palabras aproximadamente, esto incluye los pies de página y referencias bibliográficas).
- b) Ser entregado en formato Word, tamaño carta, márgenes de 2,54 cm, espacio y medio de interlineado, letra Times New Román 12 puntos.
- c) Las páginas deben ser numeradas desde la página 1 hasta el final, la ubicación de la numeración debe estar en el margen inferior derecho.

- d) Tener el título y un resumen en español o en el idioma escrito y en inglés. Se recomienda que estas coincidan con las aprobadas por el Tesouro de la Unesco.
- e) El resumen o abstract no debe superar las 150 palabras y debe describir la esencia del artículo.
- f) Tener entre tres y seis palabras clave en el idioma en que esté escrito y en inglés.
- g) Los datos académicos del autor y su filiación institucional deben ser anexados en otro archivo Word.
- h) Todos los cuadros, gráficas, mapas, diagramas y fotografías serán denominados "Figuras". Estas deben ser insertadas en marcos o cajas de línea delgada, numeradas, en orden ascendente, e identificadas y referenciadas en el texto mediante un pie de foto. Asimismo, deben ser enviadas en formato .jpg o .tiff de alta resolución, es decir, de 300 pixeles por pulgada (ppp).
- i) Todas las figuras representadas por mapas deben estar: 1) enmarcadas en una caja de línea delgada, 2) estar geográficamente referenciadas con flechas que indiquen latitud y longitud o con pequeños insertos de mapas que indiquen la localización de la figura principal, y 3) tener una escala en km.
- j) El autor debe emplear los pies de página estrictamente en los casos en los que desea complementar información del texto principal. Los pies de página no se deben emplear para referenciar bibliografía o para referenciar información breve que puede ser incluida en el texto principal. Se exceptúan aquellos casos en los que el autor desea hacer comentarios adicionales sobre un determinado texto o un conjunto de textos alusivo al tema tratado en el artículo.
- k) Cumplimiento de las normas APA. Sexta Edición

Pautas de presentación de reseñas

Las reseñas deben cumplir con los siguientes parámetros:

- a) Extensión entre tres (3) y cinco (5) páginas.
- b) Ser entregada en formato Word, tamaño carta, márgenes de 2,54 cm, espacio y medio de interlineado, letra Times New Román 12 puntos.
- c) Los datos académicos del autor y su filiación institucional deben ser anexados en otro archivo Word.

Revisión y ajustes

Los artículos y reseñas que cumplan con las especificaciones y satisfagan los criterios establecidos por el comité editorial serán preseleccionados. Para lograr que el documento sea finalmente seleccionado y publicado, el autor tendrá que ajustarse al tiempo que los editores de la revista consideren prudente para que haga cambios pertinentes al escrito y luego lo retorne con sus respectivas modificaciones si así se llegare a necesitar.

#GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

#GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ISSN: 2346 - 139X

cun

Corporación Unificada Nacional
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN