

SUCRE **REVIEW**

N° 01

ISSN 2697-360X



CONSEJO EDITORIAL

DIRECTOR GENERAL: Ing. Santiago Illescas PhD
Editora: Karla Jaramillo
Editores de Sección: Freddy Auqui, Diego Bonilla
Editor Técnico: Edwin Casteló
Editora Académica: Paulina Tapia, Fabricio Tipantocta

Comité Científico: Dra. Betsi Fernández
Dr. Argenis Perdomo
Dr. Gustavo Hernández
Dr. Leonardo Carvajal

Equipo Técnico:
Diagramador: Diego Bonilla
Evaluadores pares: Katherine Guzmán, María José Anrango,
Fabricio Tipantocta, Flor Tipán, Edison Coral,
Gladys Herrera, Geovanny Pacheco, Flavio López,
Darwin Cuasapáz, Oscar Gómez, Alexandra Erazo,
Patricio Anchatipán, Christian Llumiquinga, Javier
Cajas

Traductores: Irene Barreiros, Carlos Quillupanqui, Richard
Coba.

**COORDINACIÓN
GENERAL:** Anabel Portero

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLOGICO SUCRE

Quito – Ecuador

ISSN 2697-360X



EDITORIAL

Estimadas y estimados lectores:

Un aspecto fundamental a ser considerado dentro del accionar académico es el trabajo interdisciplinario como factor que aporta de manera significativa en la toma de decisiones para afrontar y resistir a los desafíos ambientales, sanitarios, técnicos y tecnológicos que impone la sociedad posmoderna ultra industrializada e híper comunicada.

La Tierra en las últimas décadas se ha visto afectada por un cúmulo de problemas ambientales y sanitarios como el calentamiento global producto de los gases invernaderos, el cambio climático por la alta concentración de CO₂, la contaminación de toda índole, la deforestación, los incendios incontrolables (caso puntual de la selva amazónica brasileña), el desperdicio de agua, la sobre explotación de recursos naturales y el uso poco recomendado de las tecnologías y de la información. Esta problemática ha servido como detonante, para que, la academia busque soluciones de una manera integral, viable y alternativa. Siendo necesario abordarla desde los enfoques multi, inter y transdisciplinario; que están orientados al trabajo cooperativo y a la investigación de innovación.

Por tanto, estos enfoques han permitido a que la investigación no se centre en una sola disciplina, sino más bien, ha logrado que las diferentes ramas del conocimiento se centren en un solo tópico, es decir, un grupo de profesionales de distintas áreas de investigación trabajando en sinergia bajo un solo objetivo, el de mejorar los procesos de la industria y del consumo, para contribuir al cuidado y mejora de la calidad de vida del planeta.

Este cambio de paradigma en la investigación, lleva a la academia hacia la reflexión, donde los aportes de diferentes aristas del conocimiento hacen gran diferencia en el desafío de la toma de decisiones, ante las problemáticas apremiantes que se viven en la coyuntura global. Desde esta posición holística es de suma importancia apostar por la integración entre los diferentes grupos de profesionales e investigadores que con el trabajo en conjunto se generarán espacios de diálogo investigativo, que obtendrán mejores resultados en cuestión manejo de recursos y sobre todo del tiempo.

El primer número de la Revista "Sucre Review" se propone profundizar en la construcción de esta nueva mirada hacia lo holístico, analizar los avances relacionados con las investigaciones en materia de preservación y cuidado del medio ambiente, mejoramiento de la calidad de vida de grupos vulnerables y el manejo óptimo de la tecnología.

Por ello, resultan de sumo interés los estudios e investigaciones realizadas en la presente revista, ya que, aportan desde la visión holística alternativas viables que se pueden implementar en miras de una relación más estrecha y amigable con la sociedad y la naturaleza.

Los aportes expuestos en este número son trabajos de investigación realizados por docentes y autoridades del Instituto Superior Tecnológico SUCRE, que han sido presentados en simposios, conferencias, encuentros académicos y en las mismas aulas de clase. Generando de esa forma sinergia entre los diferentes campos de investigación, lo cual ha permitido que se perfeccione los procesos en la búsqueda de información y que a la vez los actores se sirvan del conocimiento producido. Es decir, generar conocimiento a través del paradigma de lo holístico.

Finaliza la sección editorial, invitándoles a los docentes y autoridades del Instituto SUCRE a que envíen sus investigaciones y producciones científicas para el próximo volumen número 2 de la Revista "Sucre Review".

CONTENIDO

EDITORIAL	4
Desafíos de la Formación Técnica y Tecnológica en el Siglo XXI	7
Propuesta de Mitigación de Huella de Carbono e Hídrica en el Instituto Superior Tecnológico Sucre	22
Métodos Alternativos para el Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador	31
Síntesis Ultra-asistida y Actividad Antibacterial de Nanopartículas de Plata Estabilizadas con Ácido Gálico y Quitosano	44
Estimulación de Motricidad Fina con Videojuego en Paciente con Hemiparesia Izquierda	56
Diseño e Implementación de un Polisomnógrafo, con Transmisión de datos Inalámbricos.....	65

Desafíos de la Formación Técnica y Tecnológica en el Siglo XXI

Santiago Illescas Correa, PhD
sillescas@tecnologicosucre.edu.ec
Rector del Instituto Superior Tecnológico Sucre
Rector del Instituto Superior Tecnológico Consejo Provincial de Pichincha
Rector del Instituto Superior Tecnológico Cinco de Junio
Rector del Instituto Superior Tecnológico Andrés F. Córdova
Quito, Ecuador

Resumen

En los últimos años, la República del Ecuador ha fundamentado la base de su desarrollo en las reformas de su Constitución (2008), y la normativa de los diferentes sectores, y la ha acompañado de una gran inversión en el proceso de modernización del Estado, además de formular políticas encaminadas a satisfacer servicios públicos que lleguen de forma tangible a la ciudadanía. Sin embargo, no se ha podido evidenciar éxitos significativos en la implementación del Plan Nacional de la revalorización de la formación técnica y tecnológica; no se ha podido desarraigar la burocracia que aún persiste en las instituciones públicas, así como la insatisfacción de la ciudadanía por los servicios públicos recibidos. El objetivo del presente artículo es sintetizar las diversas actuaciones y reformas llevadas a cabo dentro de la formación técnica y tecnológica (FTT) en la educación superior ecuatoriana. Previamente, se analizarán las principales teorías que sustenten el paradigma de la formación técnica y tecnológica, al relacionar los diferentes enfoques de la gestión pública neweberiana con la nueva gestión pública, lo cual permitirá entender la razón de cada una de las políticas públicas o cambios que han tenido lugar en la educación superior pública. Esta interesante experiencia brinda un importante insumo para la toma de decisiones, y correctivos necesarios para que el órgano rector de la política pública en el ámbito de la educación superior, pueda alcanzar una verdadera transformación de la Educación Superior en el Ecuador, que garantice los derechos de la ciudadanía de una Educación Superior de calidad, independientemente del tipo o línea política del gobierno que administre dicho Estado.

Palabras Claves: *Formación técnica y tecnológica, nueva gestión pública, neweberianismo, políticas públicas.*

Abstract

During the last few years, the Republic of Ecuador has based its Development phase on various reforms in its Constitution (2008), and the regulations of the different sectors, and by significantly investing in the modernization of the State, in addition to directing policies to satisfy public services that are also tangible to the citizens. Nevertheless, it has not been possible to reach significant successes by implementing the National Plan for the revaluation of technical and technological training; it has not been possible to uproot the bureaucracy that still persists in the public institutions, and put an end to the subsequent citizen dissatisfaction regarding the provision of public services.

The aim of this article is to synthesize the diverse actions and reforms carried out within the technical and technological education in Ecuadorian higher education. Previously, the main theories that support the technical and technological training paradigm will be analyzed, relating the different approaches of the Neoweberian public management with the new public management, which will allow the understanding of the reason for each of the public policies or changes that have taken place in public higher education. This interesting experience provides an important input for a decision making and corrective measures, so that the governing body of public policy in the field of higher education can achieve a true transformation of Higher Education in Ecuador, which guarantees the rights of citizenship about the quality Superior Education of, regardless of the government type or political line in place.

Keywords: technical and technological training, new public management, neo-weberianism, public policies.

1. Introducción.

La Educación Superior en Ecuador, a partir de la Constitución del 2008, ha vivido importantes acontecimientos, los cuales han servido para optimizar los recursos con los que cuentan las Instituciones de Educación Superior -IES y a su vez, para alcanzar los planes del Ejecutivo a nivel gubernamental. Se inscribe en el Registro Oficial el Suplemento 298, el 12 de octubre del 2010, la denominada Ley Orgánica de Educación Superior- LOES dando inicio a la transformación de la educación superior en el país.

En los últimos años a nivel de América Latina y en Ecuador se han producido importantes cambios referentes a la Administración Pública, debido a los altos índices de corrupción, ineficiencia, ineficacia, y el uso indecoroso de los recursos del Estado. En este contexto, el presente trabajo se centra en un análisis de las diversas actuaciones y reformas llevadas a cabo dentro de la formación técnica y tecnológica (FTT), en la educación superior ecuatoriana, con políticas encaminadas a satisfacer las necesidades de la ciudadanía y el cumplimiento de los objetivos nacionales de desarrollo que se plasmaron en el Plan Nacional Toda una vida.

Para dar cuenta de este proceso, necesariamente debemos remitirnos a la parte teórica relacionada con el neoweberianismo y la nueva gestión pública, que son planteamientos teóricos que en el Ecuador se han adoptado dentro de las Reformas Constitucionales. Estas reformas surgieron en el contexto del modelo neoliberal, que a través de las recetas del Consenso de Washington, se iniciaran cambios de ajuste fiscal, reducción del tamaño del Estado, se impulsó la privatización, y la apertura comercial, sin embargo, estas modificaciones no dotaron al Estado de capacidades administrativas que permitan la implementación de una Nueva Gestión Pública-NGP, y en casos como el Ecuador, se profundizaron los niveles de desigualdad e inequidad, asentando las brechas entre pobres y ricos (Bresser L. 2011).

La principal hipótesis de trabajo es que los modelos de gestión pública, en el Ecuador han sido difusos dentro de las instituciones públicas, no permitiendo alcanzar un Gobierno eficiente y eficaz, además no se ha podido desarraigar

la corrupción presente en las instituciones públicas, así como la insatisfacción de la ciudadanía por la calidad de los servicios públicos recibidos, en especial en las IES públicas.

Es de tal forma que este artículo se dirige al análisis teórico del neoweberianismo como un modelo caduco, proteccionista (tradicional de sustitución de importaciones), que busca el desarrollo de la industria mediante la intervención del Estado; y por un sobreendeudamiento externo y el surgimiento de la NGP, modelo que recoge varios principios del modelo gerencial del sector privado, buscando cambiar el modelo burocrático weberiano del Estado (Arellano, 2004).

Posteriormente, nos adentramos en el análisis de los principales desafíos de la formación técnica y tecnológica, a través de la revisión de sus principales variables que afectan o atañen la educación superior pública, partiendo de los marcos institucionales y legales vigentes. No abordamos en detalle cada medida de política pública, sino más bien nos interesa mayormente su carácter o contenido. En la parte final de este artículo se presentan las conclusiones del estudio, específicamente lo relacionado con perspectivas del tema de la Formación Técnica y Tecnológica en el Ecuador, en cuanto a lecciones aprendidas que podrían servir de referentes para otras experiencias en materia de políticas públicas.

Dentro de los principales logros o avances que ha podido evidenciar la Formación Técnica y Tecnológica en el Ecuador son:

- Inclusión en la LOES
- Inclusión en el Plan Nacional de Desarrollo
- Reglamento de la Educación Superior de la FTT
- Plan de Revalorización de la FTT
- Plan de Educación y Formación Técnica Profesional
- Autoridades nombradas por concurso público
- Incremento de la matrícula ISTT Públicos
- Incremento de la oferta académica

La inclusión de la FTT, en la LOES del 2018, permite que los títulos de técnicos superiores o de tecnólogos sean reconocidos como títulos de tercer nivel, además de incluir un subsistema propio de la formación técnica y tecnológica que permita el desarrollo y la revalorización del mismo en el ámbito social.

La inclusión en el Plan Nacional de Desarrollo, permite que la FTT sea una de las políticas públicas priorizadas por el gobierno de turno, y facilite el desembolso ágil de recursos con el fin de garantizar una educación superior de calidad.

El Reglamento de la Educación Superior de la FTT, aprobado por el CES, permite que las IES puedan trabajar en el fortalecimiento Institucional, enfocándose en brindar una educación superior de calidad y pertinente con las necesidades socio productivas del país.

El Plan de Educación y Formación Técnico Profesional, se enmarca en la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, declarado política pública del gobierno ecuatoriano que garantiza una educación de calidad e inclusiva para todos, además, de la articulación de la educación y formación técnica formal, no formal e informal.

En el año 2017, el órgano rector de la política pública en el ámbito de la educación superior, llevo a cabo el concurso de mérito y oposición para rectores y vicerrectores de los institutos superiores públicos, permitiendo garantizar una estabilidad en la gestión de las IES públicas del país y lograr consigo el cumplimiento de diferentes objetivos y metas trazadas por el gobierno nacional.

En los últimos años, se ha podido evidenciar un aumento paulatino en la matrícula de los Institutos de Educación Superior públicos, rescatando la gratuidad de la educación superior y ofreciendo una nueva opción de formación para los bachilleres de la República del Ecuador.

Finalmente, es importante resaltar el incremento en la oferta académica de los diferentes institutos superiores públicos, con el fin de dar nuevas y pertinentes opciones para los bachilleres en función de las verdaderas necesidades del mercado laboral.

Dentro de los principales retos o desafíos latentes de la Formación Técnica y Tecnológica en el Ecuador son:

- Gobernanza (Autonomía)
- Articulación entre la educación técnica y la FTT
- Articulación entre la industria y la FTT
- Calidad y garantías de calidad (RMU/TICS/Infraestructura/currículo)
- Status

La gobernanza, permitirá que el modelo de gestión que busca alcanzar la eficiencia y eficacia de las políticas públicas, así como el impacto de los resultados en la sociedad. Permita una gestión más ágil, sin mucho entramado burocrático que lo único que hace es entorpecer la gestión institucional, permitiendo de mejor manera enfrentar a la IES con factores negativos y también positivos, en épocas donde el Estado mantenía poder y control de varias situaciones, en el afán de mantener la estructura y conllevar un bienestar que se encontraba casi invisible; producto de la crisis, el rol proteccionista que mantenían los Estado para aquellos inicios, incitó a buscar nuevos medios que canalizaran mejoras en la sociedad (Arrellano, 2004).

Permitiendo que los Institutos optimicen los recursos (productividad), mejorando la asignación y uso de los recursos en función de los resultados, puedan innovar, fortalecer los recursos tecnológicos, información y comunicación, además de transparentar la gestión, rendición de cuentas y participación ciudadana en el control de los recursos públicos, con el fin de garantizar la calidad en la prestación de servicios de la FTT.

La articulación entre la educación técnica y la FTT, permitirá que los bachilleres técnicos que es un gran porcentaje de la población estudiantil,

puedan continuar con sus estudios superiores y de esta forma dar una continuidad a la formación profesional técnica, respondiendo a las necesidades reales de la ciudadanía, la cual se muestra aun crítica e inconforme con el modelo único del BGU.

La articulación entre la industria y la FTT, permitirá que el modelo burocrático weberiano actual (centralizado, gestión orientada hacia dentro, ausencia de procesos de evaluación y mejora continua, uso ineficiente de los recursos), se convierta en un modelo caduco ya que el Estado demanda respuestas mediante bienes y servicios de calidad, que generen un impacto social que cambie las condiciones precarias de vida de la población (CLAD, 1998). Es ahí donde surge la necesidad de implantar una NGP orientada a una Administración Pública descentralizada y desconcentrada que permita acercar la industria con la FTT y la ciudadanía y con ello responder de manera efectiva y ágil a las demandas sociales locales, implementación de técnicas de evaluación y mejora continua, transparencia de la gestión, participación ciudadana en los espacios de toma de decisiones y planificación, gestión agregadora de valor, que incluya principios de eficacia, eficiencia, efectividad, calidad, productividad, integridad, transparencia, tecnologías de la información y conocimiento (CLAD, 2008).

La calidad curricular y del entorno de aprendizaje, garantizara un modelo de gestión orientado a la búsqueda de la eficiencia, eficacia y resultados que brinden servicios de calidad a los ciudadanos haciendo efectivo el goce de sus derechos, sin perjuicio de las condiciones económicas y políticas de los involucrados. Propendiendo alcanzar verdaderos resultados con huella social, participación ciudadana y democracia, para contribuir indirectamente a descentralizar objetivos y responsabilidades con el fin ulterior de llegar a evaluar el desempeño de quienes ejercen la FTT.

Finalmente, es indispensable revalorizar la formación técnica y tecnológica, se convierta en una opción real y formal de formación y eliminar la discriminación de la población que opta por este tipo de formación más especializada y enfocada en el saber hacer en la sociedad mejorando el status, o el reconocimiento social de los mismos por la sociedad en general.

Para que su revalorización sea exitosa, debe ser flexible, permitir cambios y reformulaciones; además contar con un compromiso y gestión del cambio, apoyo y compromiso político, iniciativa y compromiso del nivel directivo, tiempo, adaptación al entorno, visión global, implementación en territorio, desarrollo equilibrado y sostenido, análisis y uso de la información, capacitación, aprendizaje, planes por resultados.

2. El neweberianismo y la nueva gestión pública

Para 1916 Henry Fayol enfoca su análisis a la estructura de la administración como el conjunto de actividades que fuerza a las empresas en cinco funciones básicas: producción, ventas, finanzas, personal y seguridad con autonomía propia. Este modelo es aplicado por Max Weber, a las organizaciones del sector público y sustentado en una estructura organizacional jerárquica y

vertical con departamentos y personal dividido por la especialización de funciones, fue denominado como modelo burocrático.

El modelo empresarial basado en la división del trabajo funcionó mientras las empresas tenían la potestad de manipular el mercado, escenario en el cual el cliente se limitaba a consumir lo que el mercado le ofrecía sin tener opción de elegir. No obstante, durante los años posteriores a la segunda guerra mundial, los principales países como Gran Bretaña, Francia y Estados Unidos, reconocieron la importancia de estabilizar los tipos de cambio para fomentar el comercio internacional (Weber, 2006).

Esta apertura del mercado mundial condujo a los países y empresas a desarrollar formas de producción de bienes y servicios enfocadas a satisfacer las necesidades y gustos de los clientes. Además, al existir un tipo de cambio fijo ya fue imposible para las empresas manipular los precios, por lo tanto, la forma de optimizar los costos de producción constituyó un reto importante.

En cuanto al papel del Estado como un productor de bienes y servicios públicos, se puede anotar que en América Latina, las desigualdades de la renta en la sociedad del siglo XIX y parte del siglo XX provocaron que a partir de los años 50 del último siglo se aplique una política pública de proteccionismo a través de la industrialización dirigida por el Estado, es decir su intervención intentando enmendar los fallos del mercado. La intervención del Estado también implicó la implementación del modelo de gestión burocrático planteado por Weber.

El neoweberianismo viene de la concepción neomarxista, sus características en los procesos sociales son: tensiones, diferencias y contradicciones. Por tanto, se reconoce que dentro de las profesiones hay conflictos e intereses, cada una lucha por una identidad propia, por profesionalizarse, por ser reconocida y con poder.

Ni el Estado intervencionista ni el neoliberal ayudaron a desarrollar una Administración Pública orientada a satisfacer la demanda ciudadana. De ahí la necesidad de desarrollar una Nueva Gestión Pública, basado en la lógica gerencial, basada principalmente en la optimización del gasto público, la mejora de la productividad de bienes y servicio públicos, y en el perfeccionamiento del desempeño de los servidores públicos (Prats C., 1998). La Nueva Gestión Pública plantea reemplazar el modelo burocrático basado en la planificación, la centralización y el control directo, por una gerencia pública basada en una racionalidad económica que busca eficiencia y eficacia (Rhodes, 2014).

Bajo estos preceptos la Nueva Gestión Pública, ha sido implementada por la mayoría de países de América Latina. Cabe destacar que este tipo de modelo parte de la evolución del modelo de gestión burocrático tradicional; esto como respuesta a la crisis del Estado que busca romper con los paradigmas burocráticos, pasando de una administración del Estado interna (de oferta) a una administración externa y participativa (de demanda) (Marchan, 2011).

Adicionalmente, en el modelo burocrático tradicional las Instituciones de Educación Superior (IES), estaban enfocadas en las necesidades internas, el rol, las funciones y responsabilidades de sus servidores, no se consideraba la opinión de los usuarios, por lo que no se atendían las demandas reales de los ciudadanos (BID: 2010).

El nuevo modelo de gestión busca orientar a las IES públicas, hacia los resultados, para lo cual introduce algunas reformas estructurales en la gestión como son la medición, evaluación e impacto de los resultados, participación ciudadana y transparencia, calidad, cantidad y oportunidad en la entrega de los bienes y servicios. La gestión para resultados entonces plantea un nuevo papel del órgano rector de la política pública de educación superior, el cual estaría llamado a mejorar la eficiencia, eficacia y calidad de la formación técnica y tecnológica; y optimizar el desempeño de los docentes y servidores públicos para el logro de resultados que satisfagan las necesidades de la ciudadanía (Thorp, 1998).

Existe un proceso de reforma y de fortalecimiento de la FTT que busca mejorar la gestión institucional: desde finales de la década anterior, y con mayor énfasis a partir de 2015, la mayoría de los países han emprendido cambios institucionales que apuntan a una educación superior orientada a resultados. En general, el espíritu de estas innovaciones es estimular la eficiencia y la eficacia de la FTT, promover la transparencia de la gestión de los recursos y estimular la participación de la comunidad académica en las políticas públicas. No obstante, todavía se observa una gran distancia entre los marcos legales e institucionales existentes en los países y su implementación práctica, pues aún no se han efectuado muchos de los cambios previstos en las nuevas normas (BID, 2018).

Es importante señalar que, desde un punto de vista semántico, el resultado es el efecto y consecuencia de cualquier acción. Así, el resultado de un ajuste presupuestario será el grado de aproximación que se alcance entre ingresos y gastos. En un plan de reducción de personal, será la disminución que se consiga en el número de empleados. En la gestión, tanto pública como privada, toda acción realizada en cualquier nivel y sobre cualquier situación o factor, produce un resultado. Este modelo toma en cuenta esta premisa en la medida en que busca que las acciones públicas logren un buen o el mejor resultado (CLAD, 2007).

Con esto se define que este tipo de políticas públicas conlleva a tomar decisiones sobre una base de información confiable acerca de los efectos que la acción gubernamental tiene en la sociedad (BID, 2010). Este tipo de estrategias dentro de la educación superior busca mejorar la eficiencia y eficacia de las políticas públicas, orientando sus esfuerzos hacia los resultados de la gestión de las diferentes IES, tomando en cuenta los distintos elementos del ciclo de gestión (planificación, presupuesto, gestión financiera, gestión de proyectos, monitoreo y evaluación) para que el gobierno logre los resultados esperados.

Para la implementación del modelo es necesario que se cumplan los siguientes requerimientos:

- Democracia
- Entorno institucional estable
- Seguridad jurídica
- Control social
- Cultura de valor público
- Estabilidad institucional
- Reconocimiento de la función de gestión
- Reconocimiento y aceptación del modelo
- Valores institucionales y profesionales
- Sistemas de sanciones e incentivos
- Disponibilidad y uso de la información
- Desarrollo sostenido

La implementación del modelo de gestión, conlleva un cambio fundamental en las maneras de pensar, actuar y administrar del sector público en especial de las IES públicas. La naturaleza integradora de todo el ciclo de la gestión que aporta este instrumento afecta a todas las instituciones en todos sus niveles, y transforma la cultura de las organizaciones. (CLAD: 2007).

3. Desafíos de la formación técnica y tecnológica

El mundo está cambiando apresuradamente de la mano de:

- Sociedades del Conocimiento
- Tecnología
- Globalización
- Participación en redes sociales

Los objetivos formativos de la FTT deben estar enmarcados en los enfoques desde las perspectivas académicas, profesional y personal de las personas que optan por este tipo de formación.

La formación técnica y tecnológica en el siglo XXI debe estar enmarcada en generar en los estudiantes competencias en fusión de los diferentes campos de la formación: hacer, ser, conocer y el ser en el mundo,

El hacer es importante, ya que formamos empresarios que tengan iniciativa, creatividad y visión de futuro.

El ser es importante, ya que permite desarrollar el sentido humanista de los estudiantes resaltando los valores, la reflexión y principalmente el contacto humano.

El Conocer es importante, ya que permite que el estudiante desarrollo sus habilidades técnicas que le permitan al mercado desarrollarse de forma polivalente, con conocimiento científico y técnico, teniendo presente la conceptualización y la metodología de los diferentes procesos que lleva la industria.

El Ser en el mundo es importante, ya que permite en el estudiante desarrollar un criterio global que le permita la adaptación a los diferentes cambios

tecnológicos, la movilidad del conocimiento en el mundo y la solidaridad de compartir los mismos con el único fin de seguir enriqueciendo su conocimiento.

Al querer conceptualizar el término competencia, la literatura nos puede proporcionar muchos de ellos, pero que se entiende en sí por competencia al conjunto de conocimientos, saber hacer, habilidades y aptitudes que permiten a los profesionales desempeñar y desarrollar estudios de trabajo en los niveles requeridos para el empleo, o como lo resalta Rial (2000) la capacidad individual para emprender actividades que requieran planificación, ejecución y control autónomo.

La Sociedades del Conocimiento

En la actualidad estamos presenciando un desacople entre la industria y la FTT que genera diferente tipo de brechas, las mismas que no son cubiertas por la oferta académica que presentan las diferentes IES dentro de las dos convocatorias anuales del sistema de educación superior.

La FTT a través de un título certifica el conocimiento entregado, pero no necesariamente la capacidad de aplicación o utilidad del mismo, la industria requiere de profesionales capaces y competentes.

Dentro de las competencias que se requiere en el siglo XXI, se puede resaltar:

Manera de pensar

- Creatividad e innovación,
- Pensamiento crítico, resolución de problemas y toma de decisiones

Manera de Trabajar

- Comunicación
- Colaboración y trabajo en equipo

Herramientas de Trabajo

- Alfabetización informacional
- Alfabetización Digital

Vivir en el Mundo

- Ciudadanía, local y global
- Responsabilidad personal y social.

La Tecnología

En la actualidad, estamos viviendo diferentes o las tecnológicas, pero es importante realizarnos las siguientes preguntas:

Sabemos muy bien enseñar: “lo que es la tecnología”

¿Enseñamos el uso y la aplicación de la tecnología...?

¿Enseñamos a adaptarse a las nuevas tecnologías...?

¿Enseñamos a agregar valor a las empresas donde participamos...?

El impacto de las tecnologías de la información y comunicación (TICs) en el desarrollo científico y técnico de la sociedad; Las necesidades de información; Las tecnologías se convierten en herramientas: nuevas estrategias, nuevos productos y servicios de información

El reto de las tecnologías en la actualidad es que cambie el rol del docente dentro de las aulas, que pase de ser un orador a ser un facilitador del conocimiento, el nuevo rol del estudiante que deje de ser un sujeto pasivo sino pase a ser un agente activo, creativo, abierto al cambio comprometido con la excelencia y la ética profesional.

La Globalización

En el caso de América Latina y el Caribe (ALC) los países emprendieron un proceso de reforma del Estado provocado básicamente debido al agotamiento del modelo de sustitución de importaciones, imperante desde los años cincuenta, que impulsó el desarrollo de la capacidad industrial de los países mediante la intervención estatal y la crisis de la deuda externa que impactó gravemente la economía de la región.

Dentro de las principales tendencias en la actualidad tenemos la privatización de la FTT pública, la misma que a través de un proceso de degeneración y desprestigio de la formación pública, acciones neoliberales hacen que se disminuya el accionar e impacto de la formación pública.

Las reformas producidas en el contexto del surgimiento del modelo neoliberal y de los cambios que experimentaban los Estados de los países desarrollados, priorizando la dimensión financiera de la crisis e iniciando cambios orientados al ajuste fiscal, la reducción del Estado y la apertura comercial.

El desarrollo de nuevas concepciones de la FTT permite que el estudiante sea visto o considerado como un profesional especializado en el campo de formación, el mismo que está en la capacidad de resolver problemas en el campo laboral.

El desarrollo de nuevas tecnologías permite que todos los miembros de la comunidad académica se involucren y sean actores importantes en la generación de conocimiento y el mismo pueda ser aplicado o incida en la política pública local y nacional.

Como se lo menciono anteriormente la globalización permite demandar un nuevo rol del maestro y estudiante, en un trabajo de doble vía en el que el maestro se convierta en un verdadero facilitador del conocimiento y el estudiante en ese verdadero agente activo que demanda conocimiento mismo que lo comparte y lo redistribuye en la sociedad.

El Acceso a la información ha dado un cambio sustancial en la generación de conocimiento y la formación formal permitiendo a los involucrados acceder de cualquier parte a las diferentes bibliotecas o repositorios digitales a nivel global, coadyuvando en la colonización cultural insertando en la psiques de

muchos estudiantes estereotipos extranjeros o costumbres diferentes a las que se desarrolla en el ámbito local.

Finalmente, la globalización, ha permitido que día a día se vayan generando nuevas carreras profesionales, en función de los diferentes avances tecnológicos y diferentes necesidades de la ciudadanía y el mercado en general.

La Participación en redes sociales

Las redes sociales o social media se ha vuelto una parte integral de nuestras vidas, quienes sienten más sus efectos probablemente son los estudiantes, actualmente el *96% de los estudiantes usan Facebook*, lo que no queda claro es que si este *impacto es positivo o negativo*.

Los estudiantes y docentes se actualizan gracias a las noticias en las redes, *gran parte de la información de las redes sociales no es contrastada o verídica y se presta para la interpretación del público, lo que permite generar una ciudadanía selectiva frente a tanta información*.

La participación en redes sociales puede generar factores positivos como reconocimiento institucional, pero también factores negativos o crisis Institucionales, a través de contenido sensacionalista vulnerable para toda la comunidad académica

Las redes sociales en la actualidad se han convertido en los principales medios de comunicación por el público que se involucra que está en uso común de las nuevas tecnologías, además de convertirse en un canal directo de Información que permite a la comunidad académica estar involucrada e inmersa dentro de los diferentes eventos y acontecimientos que desarrolla el instituto en tiempo real o just in time.

El giro que toma el Estado es trascendental para un correcto desarrollo, ya que cambia del riguroso control de los procesos a un control de los resultados. Así, en alineación con las políticas que propenden al bienestar y mejoras continuas, se busca dar los resultados esperados a una ciudadanía que cada vez solicita un mejor uso de sus tributos fiscales, traducidos en una provisión de servicios eficientes y oportunos: no con esto deja de ser importante el cómo se hace, pero si se prioriza el que se haga.

Se evidencia una lógica burocrática enraizada en la mayoría de Instituciones públicas del Estado, ya que es visible que aún son los políticos quienes definen la política pública: quienes la ejecutan son la burocracia, la controla -muy escasamente- la Asamblea Nacional, y en última instancia la ciudadanía administra dicha política pública. Si aplicáramos en su totalidad el Modelo, el ciudadano sería protagonista en la formulación, ejecución y evaluación de la política pública.

Para la implementación del Modelo en el Ecuador se requiere analizar los requerimientos básicos de la democracia, en un régimen constitucional con las funciones del Estado.

- El entorno institucional estable. - a partir del 2005 se ha sentido un retorno a la democracia y a la estabilidad institucional, aunque aún hay muchas variaciones, pero cada vez son menores.
- La seguridad jurídica. - aquella que se garantiza con la expedición normativa que cada vez tenga menos cambios, reformas, y que no deje vacíos legales.
- El control social. - constituye el quinto poder del Estado, así como todo un sistema que promueve la Participación Ciudadana.
- La cultura de valor público. - quizá en este campo no se ha avanzado significativamente, debido a que la idiosincrasia local no contempla que el dinero público le pertenece a los ciudadanos en general, y por lo tanto hay corresponsabilidad en su gestión y administración del bien público.
- El reconocimiento de la función de gestión. - aunque hay muchas instituciones públicas que ya han logrado implementar procesos de gestión institucional, la mayoría de ellas quizás persiguen el camino de retorno, debido a la equivocada decisión en el uso del modelo de gestión -a pesar de las directrices claras de mediano y largo plazo que traza el Plan Nacional Toda una Vida.
- El reconocimiento y aceptación del modelo. - no todas las instituciones del Gobierno Central tienen la firme convicción que este modelo es exitoso; consecuentemente, tienden a disfrazar los resultados y su manejo con otras herramientas que no se ajustan a las directrices nacionales.
- Los valores institucionales y profesionales. - la ética en la actualidad es el valor más cuestionado, y será con justa razón lo que menos se ha logrado en el actual proyecto político; no se demuestra transparencia y cero corrupción en su gestión, al contrario, se tiene la percepción de que existe más corrupción y mayor número de involucrados que en administraciones anteriores, durante las cuales unos pocos se llevaban todo.
- El sistema de sanciones e incentivos. - si bien existen sanciones en la actualidad, no se aplican en la Administración Pública, ya que no ha logrado ser materializada y por lo tanto, aunque existen buenas iniciativas de incentivos, estas no llegan o no se cumplen en la actualidad.

Además de lo analizado, en el Ecuador se debe desarrollar un sistema de monitoreo y evaluación que le permita visibilizar si en realidad existe un avance en la FTT. Otro factor indispensable es el incremento del gasto público, el cual ha crecido a cifras que no soporta la economía ecuatoriana y no se puede evaluar su eficiencia, eficacia y calidad.

4. Conclusiones:

El órgano rector de la política pública de educación superior, debe tener un plan estratégico, participativo y operativo. Debe tener una Planificación Estratégica, que le permita responder a la pregunta *A dónde queremos ir*, partiendo de una visión clara del futuro por lo menos a mediano plazo, y planteando objetivos. La situación de estanflación (recesión e inflación) de la economía latinoamericana y del Ecuador, sumada a la crisis de la deuda pública de América Latina a comienzos de la década de 1980, lleva a configurar una reacción en contra del papel del Estado en el desarrollo.

El órgano rector es responsable de lograr que los recursos invertidos en las reformas de la formación técnica y tecnológica sean implementados de forma efectiva y eficiente, garantizando que los diferentes indicadores tales como: calidad, pertinencia, infraestructura, tecnología, currículo y talento humano, sean redistribuidos y considerados de forma equitativa a lo largo de todo el territorio ecuatoriano.

Los indicadores son claves para medir resultados: no sólo porque sin indicadores no se puede apreciar desviaciones respecto al logro deseado, sino también porque no se podría observar si la dirección seguida es la adecuada. Sin embargo, no se trata de tener múltiples indicadores, sino de precisar cuáles son los necesarios con el fin de garantizar una educación superior de calidad y con pertinencia con las necesidades del sector socio productivo del país.

Lo que queda de todo el proceso de implementación de las políticas públicas en el Ecuador, es de consolidar un modelo de calidad que funcione articuladamente y que tenga como foco el desarrollo de las y los estudiantes y la pertinencia del sistema de formación técnica y tecnológica. En definitiva, el Ecuador ha manifestado avances en las diferentes reformas de la FTT. Sin embargo, esto no es suficiente, por lo que aún atravesamos una fase inicial de implementación de este modelo.

Es claro que las diferentes reformas de la FTT han fortalecido la educación superior en el Ecuador. No obstante, se hace preciso reforzar la participación ciudadana y transparencia de la gestión, en base no sólo al acceso virtual, sino también con la formación de veedurías ciudadanas con más ahínco de realizar sus labores. Si bien la participación ciudadana es reconocida en la actual Constitución del Ecuador y leyes, ésta no es ejercida en su totalidad, lo que ocasiona un debilitamiento en la Gestión de las instituciones. Además, requiere instalar capacidades en todos los niveles del sistema de la Formación técnica y tecnológica, en particular en todos los Institutos Públicos, permitiendo mayor aceptabilidad y sostenibilidad en la política pública.

El Ecuador debería concentrar sus esfuerzos en desarrollar un sistema de monitoreo y evaluación, que le permita identificar si los objetivos y las metas del plan de gobierno se están alcanzando o no. Paralelamente, analizar la calidad del gasto público y medir el impacto social y mejorar sus políticas e instrumentos de disciplina fiscal. Adicionalmente, es crucial avanzar en la consolidación de un presupuesto por resultados, en el control y seguimiento a través de indicadores que midan la calidad, e impacto social que generan las políticas públicas. Se debería estandarizar todos los procesos administrativos de todas las instituciones, evitando a la vez procesos engorrosos e innecesarios. Es recomendable el fortalecer y ampliar el Gobierno Electrónico en todas las instituciones del Estado, y crear una cultura de transparencia, acceso a la información, participación ciudadana y uso de TICs (Uña, 2010).

Como ya se ha dicho, la gestión de las políticas públicas debe dar un giro y pasar de ser de una forma vertical y atomizada a una forma de gestión horizontal y colaborativa que persiga una verdadera transformación de los

servicios públicos que proporciona el Estado, facilitando a los involucrados (servidor público) capacidad de análisis, alternativas y la toma de decisiones para que los productos o servicios sean accesibles de forma equitativa, para propender al cumplimiento de los objetivos planteados en el Plan toda una Vida.

Bajo estas condiciones, es imperante implementar dentro de las diferentes IES la disciplina y la corresponsabilidad, con el fin de que todos los miembros de la comunidad académica estén involucrados y sean partícipes activos en la transformación de la educación superior del país. Aun así, los esfuerzos son válidos ya que están encaminados a conseguir la eficiencia y eficacia de los servicios públicos en favor de todos los ciudadanos.

La adopción de cualquier modelo, cuando se estructura y se proyecta metas reales y alcanzables, trae consigo perspectivas y cambios positivos. Este ideal se percibe en el Ecuador: muchas situaciones en el campo productivo, financiero, entre otros han cambiado y transformado vidas, instituciones, objetivos, misiones, visiones. Se debe complementar la formación de conocimientos con el desarrollo de competencias que permitan aplicarlo.

Finalmente, el modelo de Gestión que adoptaron las diferentes Instituciones de Educación Superior en el Ecuador, no fue lo que realmente se requería, pero sí nos canaliza a seguir innovando y mejorando, con miras a cumplir con el diseño del sistema completo. Se requiere de académicos que entiendan, valoren y respeten las dinámicas de la industria, acompañados de un conocimiento práctico de sus procesos, pero además se requiere de una industria que respete, valore y esté dispuesta a trabajar con la academia. Es vital mantener una sinergia con las políticas públicas que proporcionen bienestar a la sociedad, naturaleza, medio ambiente y todo lo que nos rodea, logrando una verdadera convivencia sustentable y armónica, tal como lo establece la Constitución de la República del Ecuador del 2008.

Bibliografía:

Arellano David. (2004). La nueva gestión pública: ¿Dónde está lo nuevo? Bases para el debate de la reforma administrativa. David Arellano (editor), Más allá de la reinención del gobierno: fundamentos de la nueva gestión pública y presupuestos por resultados en América Latina, México, Centro de Investigación y Docencia

Académica (CIDE).

Banco Interamericano de Desarrollo-BID, (2010). *La gestión para resultados en el desarrollo: avances y desafíos en América Latina y el Caribe*, BID.

Banco Interamericano de Desarrollo-BID/CLAD, (2018). *Modelo Abierto de Gestión para Resultados en el Sector Público*, BID/CLAD.

- Bresser Luiz. (2011). La reforma del Estado en los años noventa: lógica y mecanismos de control, en Jefatura de Gabinete de Ministros. Presidencia de la Nación Argentina, Lecturas sobre el Estado y las Políticas Públicas. Retomando el debate de ayer para fortalecer el de hoy, Buenos Aires, Proyecto de Modernización del Estado, pags. 259 a 281.
- Carlos Marchan, (2011). Modelo de Gestión y Organización por Procesos, Ecuador, IAEN.
- Consejo Latinoamericano de Administración para el Desarrollo -CLAD (1998). *Una Nueva Gestión Pública para América Latina*, CLAD.
- Consejo Latinoamericano de Administración para el Desarrollo -CLAD (2008). *Carta Iberoamericana de Calidad en la Gestión Pública*, CLAD.
- Prats Joan i Catalá. (1998). Administración Pública y desarrollo en América Latina. Un enfoque neoconstitucionalista, Revista Reforma y Democracia, Caracas, Consejo Latinoamericano de Administración para el Desarrollo (CLAD), Número 11, junio de 1998, pags. 1 a 22.
- Rhodes, R.A.W. (2014). Recovering the craft of public administration in network governance, IPSA, Montreal 2014.
- Thorp Rosemary. (1998). Crecimiento mediante deuda, desastre y reorientación después de 1973, Progreso, Pobreza y exclusión. Una Historia Económica de América Latina en el siglo XX, Washington, Banco Interamericano de Desarrollo, capítulo 7.
- Uña Gerardo. (2010). «Gestión por Resultados y Presupuesto Basado en Resultados ¿son sinónimos?; Sistemas de gestión que generan Presupuesto Basado en Resultados: Principales definiciones conceptuales; Sistemas de gestión que generan las bases técnicas para implementar el Presupuesto Basado en Resultados», en Gerardo Uña, El Presupuesto Basado en Resultados.
- Administración Financiera, Santiago de Chile, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES)-Comisión Económica para América Latina (CEPAL), pags. 6 a 11; y 20 a 23.
- Weber Max (2006). La dominación legal con un aparato administrativo de carácter burocrático, Max Weber, Sociología del Poder. Madrid, Alianza Editorial.

Propuesta de Mitigación de Huella de Carbono e Hídrica en el Instituto Superior Tecnológico Sucre

Alexandra Erazo^a, Flavio López^b
aerazo@tecnologicosucre.edu.ec, flopez@tecnologicosucre.edu.ec
a Carrera de Gestión Ambiental, b Carrera de Electricidad Industrial
Instituto Superior Tecnológico Sucre, Quito, Ecuador

Resumen

El cálculo de la huella de carbono y agua constituye una herramienta práctica para determinar las emisiones e identificar fuentes, buscando proponer sistemas de mitigación. Este estudio representa de manera visible la situación ambiental del ITS-Sucre en donde se evidencia el manejo inadecuado de recursos convirtiéndose en un fundamento de concienciación para la comunidad educativa sobre buenas prácticas ambientales. Valorando adecuadamente los recursos naturales como: energía eléctrica, agua potable, papel y plástico, los se contabilizaron las emisiones de gases efecto invernadero GEI, que se generan a partir de las actividades en la institución. Después de conocer estas emisiones, se diseñó e implementa un plan para poner en práctica acciones para su disminución. El impacto ambiental que produce la institución será medido llevando a cabo un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), para calcular la huella de carbono, y la huella hídrica para identificar el volumen de agua utilizada. Los resultados que arrojó el proyecto sirven para implementar estrategias que permitan crear una cultura de ahorro tanto energético como del recurso agua. Los resultados obtenidos indicaron que, a partir de los cálculos realizados para determinar la huella de carbono, las emisiones indirectas que provienen de emisiones indirectas son las responsables de la mayor generación de CO₂, lo que indica que el consumo de energía eléctrica es el alcance que produce el 95% de los GEI, seguido del uso y consumo de papel y plástico con el 4,7% del total de las emisiones. El objetivo de esta investigación es implementar una metodología basada en la norma internacional ISO/IEC 27001:2013 para la gestión de riesgos de información del proceso de titulación de Sucre Instituto Superior Tecnológico de la ciudad de Quito, para dar cumplimiento al acuerdo N° 166 emitido por la Secretaría Nacional de la Administración Pública SNAP sobre el Esquema Gubernamental de Seguridad de la Información. El proyecto se sustenta en la inexistencia de una Gestión de Riesgos de Seguridad de la Información, evidenciada a través de estrategias de seguridad de información ineficaces. El marco teórico analiza tanto normas de gestión de seguridad de la información como metodologías internacionales de gestión de riesgos de información. El proyecto es de intervención porque actúa materialmente de manera directa sobre un problema específico y la investigación es de tipo aplicada, cuasiexperimental, de nivel aplicativo, porque opera variables. El resultado del diagnóstico inicial de seguridad de la información en Sucre, de 13% de conformidad respecto a ISO 27001, evidencia la poca importancia que recibía. Un procedimiento metodológico para la gestión de riesgos de información se adaptó y validó en el instituto, lo cual arrojó un nivel de conformidad de 38,7%. Este trabajo propone las bases para futuras iniciativas en seguridad de la información que puedan ser implementadas en otros institutos tecnológicos superiores.

Palabras claves: Huella de carbono, huella hídrica, sistema de mitigación, buenas prácticas ambientales, IST-Sucre

Abstract

The calculation of the carbon and water footprint is a practical tool to determine emissions and identify sources, seeking to propose mitigation systems. This study represents in a visible way the environmental situation of the IST-Sucré where the inadequate management of resources is evidenced becoming a foundation of awareness for the educational community about good environmental practices. Appropriately assessing natural resources such as electricity, drinking water, paper and plastic, the GHG greenhouse gas emissions were accounted for, which are generated from the activities in the institution. After knowing these emissions, a plan is designed and implemented to implement actions to reduce them. The environmental impact produced by the institution will be measured by carrying out an inventory of greenhouse gas (GHG) emissions, to calculate the carbon footprint, and the water footprint to identify the volume of water used. The results of the project serve to implement strategies that create a culture of both energy saving and water resources. The results obtained indicated that from the calculations made to determine the carbon footprint, the indirect emissions that come from indirect emissions are responsible for the greater generation of CO₂, which indicates that the consumption of electrical energy is the scope that produces 95% of GHGs, followed by the use and consumption of paper and plastic with 4.7% of total emissions.

Keywords: *Charbone field, hydric field, mitigation system, good environmental practices, IST Sucre*

Introducción

El cambio climático es un problema ambiental que surge a inicios de la época industrial en donde el ser humano empieza hacer uso de los recursos naturales para producir y satisfacer sus necesidades, ejerciendo presión sobre dichos recursos y generando un desbalance en el ambiente provocando conflictos y que en la actualidad han incrementado la necesidad de implementar estrategias que ayuden a identificar las causas de estas emisiones, tratando de establecer medidas de mitigación y compensación a esta problemática, implementado estrategias como el cálculo de la huella de carbono y la huella hídrica (Santamaría, 2014).

Estos instrumentos de cálculo representan el soporte para la toma de decisiones sobre las mejoras con las que se procura mitigar el impacto ambiental provocado por actividades antrópicas. Estas herramientas al ser aplicadas emiten valores que alerten a la comunidad educativa la cual establecerá responsabilidades compartidas lo que genera un cambio y compromiso frente a este problema ambiental (Alcaraz, 2014).

El cálculo de la huella hídrica es un instrumento de análisis sobre el consumo de agua potable, las actividades que se desarrollan en la institución están relacionadas al uso excesivo de este recurso. Con la medición de huella hídrica se identifican los impactos ambientales que esto genera, sin embargo esta adquiere una visión más amplia que muestra que la institución carece de conocimientos

frente al tema y no existe la conciencia sobre el uso adecuado de este recurso natural (Esagua, 2015).

Se evidencia una demanda creciente para la evaluación de huella del agua, este líquido es esencial para la producción industrial, agrícola y la seguridad alimentaria. Es el elemento vital de los ecosistemas, incluyendo bosques, lagos y pantanos. Sin embargo, nuestros recursos de agua dulce están disminuyendo a un ritmo alarmante. La creciente escasez de agua es ahora uno de los principales desafíos para el desarrollo sostenible. Un reto cada vez más relevante con la creciente población mundial, con estándares de calidad de vida más altos, cambios en las dietas y la agudización del cambio climático por las actividades generadas por el ser humano. Existen instituciones que se encuentran trabajando en esta problemática de manera voluntaria sobre la huella hídrica y las consecuencias que trae consigo el no tener clara la situación ambiental por la que está pasando en la actualidad con el consumo excesivo del recurso hídrico debido al cambio climático Luis Castelli (2013).

Metodología

ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en el Instituto Superior Tecnológico Sucre, ubicado en las calles Av. 10 de Agosto 2627 y Luis Mosquera Narváez, durante el período 2017-2018. La población está compuesta por estudiantes, docentes y personal administrativo existiendo una población de 900 personas en la sede norte.

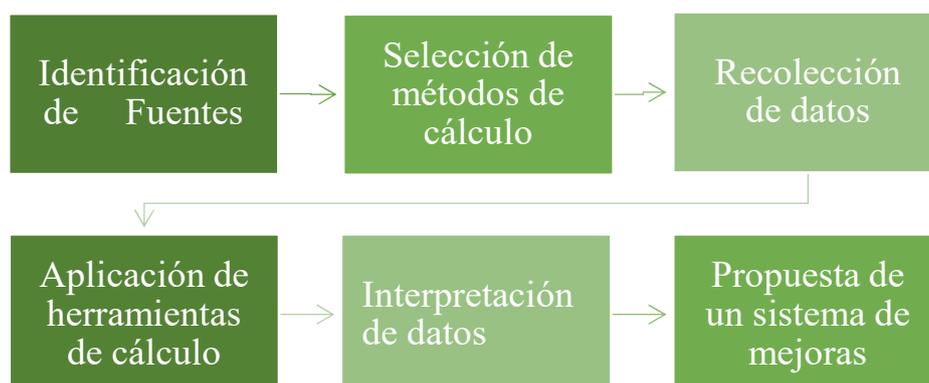
CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR SUCRE

El cálculo de la huella de carbono se establece siguiendo las metodologías presentadas por las normas ISO 14064:2015, ejecutadas en tres fases: Identificación de las fuentes de emisión, recopilación de datos y el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (César Espíndola, 2012).

IDENTIFICACIÓN Y CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Para realizar el cálculo de huella de carbono y con relación a las etapas, en este estudio se emplea la metodología de Metrología (2013), basada en la Norma ISO 14064:2015 representada en la Figura 1.

Figura 1. Metodología aplicada para la identificación y cálculo de emisiones de GEI



Dentro de la identificación de las fuentes de emisiones de GEI se encuentran los siguientes alcances:

Alcance 1: Dentro de este alcance se encuentran las emisiones directas provenientes del transporte. Para este caso de este estudio no se considera al transporte ya que el lugar de estacionamientos es pequeño y solo dos vehículos se parquean de forma permanente siendo muy pequeñas las emisiones en este caso, dejándolo para una segunda etapa.

Alcance 2: Las emisiones indirectas son aquellas que proceden de la electricidad consumida por una organización (César Espíndola, 2012), para este caso la energía eléctrica proviene del sistema interconectado de la Empresa Eléctrica Quito, la cual es consumida en los equipos eléctricos que se encuentran instalados en la institución.

Alcance 3: Son consideradas como emisiones indirectas la gestión de residuos sólidos

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO ENERGÍA ELÉCTRICA, PAPEL Y PLÁSTICO

Para el cálculo de la huella de carbono de energía eléctrica se basa en la fórmula constante en la ecuación 1 (ec. 1), obtenida de Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016).

$$HC = DA \times Fe \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

HC → Huella de Carbono (t CO₂)

DA → Datos de la actividad, cantidades obtenidas para la obtención de información sobre

Consumo de energía en la institución.

Fe → Factor de emisión de electricidad.

De la misma forma que en el cálculo de la huella de carbono para la energía eléctrica, en el cálculo de la huella de carbono del plástico y del papel se emplea la fórmula constante en la ecuación 1 (ec. 1), tomando en cuenta el factor de emisión correspondiente a cada actividad.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para el análisis de los datos se utilizó la estadística descriptiva, como por ejemplo medidas de tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar y Coeficiente de Variación), utilizando el software PAST v. 2.50 (Hammer et al., 2001). Para comparar las medias entre las variables, se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney, con nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Los datos fueron procesados en el software PAST v. 2.50 (Hammer et al., 2001).

Resultados

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, PLÁSTICO Y PAPEL

Para el cálculo de la huella de carbono de energía eléctrica se utilizó la fórmula constante en la ecuación 1 (ec. 1), donde:

DA= Consumo total CO₂eq del año 2017 = 52.382 kW/h (facturación mensual del consumo de energía eléctrica en el ITS-Sucre).

Fe= Factor de emisión de electricidad = 0.290 KgCO₂/kW/h (constante obtenida de Oficina Española de Cambio Climático, 2016).

HC → Huella de Carbono (t CO₂).

$$HC = 52382 \frac{kW}{h} \times 0.290 \frac{KgCO_2}{kW/h}$$

$$HC = 15.191,00 tCO_2$$

Para el cálculo de la huella de carbono del plástico se utilizó la fórmula constante en la ecuación 1 (ec. 1), considerando que el consumo total del 2017 fue de 4,732 botellas.

DA= Peso Total: 123.3 Kg.

Fe= Factor de emisión del plástico PET = 2.538 KgCO₂/Kg (constante obtenida de Parra, 2014).

$$HC = 123.3 Kg \times 2.538 \frac{KgCO_2}{Kg}$$

$$HC = 312.8 tCO_2$$

Para el cálculo de la huella de carbono de papel se utilizó la fórmula constante en la ecuación 1 (ec. 1), considerando que el consumo total del 2017 fue de 102 resmas.

DA= Peso Total: 234.6 Kg.

Fe= c = 1,84 KgCO₂/Kg (constante obtenida de Oficina Española de Cambio Climático, 2016).

$$HC = 234.6 Kg \times 1.84 \frac{KgCO_2}{Kg}$$

$$HC = 431.7 tCO_2$$

En la Tabla 1 se indica que en el ITS-Sucre, durante el período entre enero a diciembre 2017, generó 15.935,2 tCO₂, destacando que la energía eléctrica fue responsable por el 95,3% de las emisiones y la generación de residuos sólidos 4,67%.

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR POBLACIÓN ITS-SUCRE 2016-2017

Como se observa en la Figura 4, a partir del mes de julio de 2016 hubo un incremento de 80 a 100 personas en el ITS-Sucre, debido a que el personal administrativo pasa a ocupar las dependencias del Instituto. A partir de este mes en adelante el incremento de personas fue aumentando hasta llegar a 900 personas en el 2017, entre personal administrativo, personal docente y estudiantes (Fig. 5).

Se observa que el consumo de energía eléctrica en 2016 presentó un valor medio de $4.370,7 \pm 373,0$ kW/h (Coeficiente de Variación CV = 8,5%), y en el año de 2017 un valor medio de $4.366,1 \pm 7764,1$ kW/h (CV = 17,5%), no habiendo sido constatadas diferencias significativas entre ambas medias ($p > 0.05$). Cabe destacar, que aun cuando no hubo diferencias significativas, el número de personas trabajando en el ITS-Sucré aumentó significativamente entre 2016 y 2017 ($p < 0.05$), indicando, por ende, que en 2017 hubo un consumo más racional de energía eléctrica por parte de la comunidad educativa. Este hecho demuestra que las actividades implementadas en 2017 para la disminución de energía eléctrica en la institución fueron eficientes como, por ejemplo, capacitaciones, charlas, y talleres sobre buenas prácticas ambientales.

CONSUMO DE AGUA POTABLE POR POBLACIÓN ITS-SUCRE 2016-2017

Como se observa en las figuras, el consumo de agua potable en 2016 presentó un valor medio de $464,2 \pm 75,2$ m³ (CV = 16,2%), y en el año de 2017 un valor medio de $358,1 \pm 86,8$ m³ (CV = 24,2%), habiendo sido constatadas diferencias significativas entre ambas medias ($p < 0.05$). Considerando que la población aumento de 100 a 900 personas entre 2016 y 2017, la diferencia detectada entre el consumo de agua potable entre 2016 y 2017, siendo significativamente menor en 2017 ($P < 0.05$), se verifica que en 2017 hubo un consumo más racional de agua potable por parte de la comunidad educativa. Este hecho ratifica que las actividades implementadas en 2017 para la disminución del consumo de agua potable y de la energía eléctrica en la institución fueron eficientes.

Discusión

Según Vilches (2012), el cálculo de la huella de carbono de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito Campus Sur (UPS- Sur) fue de 873,9 tCO₂eq anual, valor que incluye el alcance 1, donde se encuentran las emisiones directas provenientes del transporte, mientras que el resultado de la huella de carbono del ITS-Sucré para 2017 fue de 15.935,2 tCO₂ anual, sin incluir el alcance 1, ya que apenas dos vehículos se parquean de forma permanente en el estacionamiento del instituto, y por lo tanto contribuyen con una emisión de CO₂ irrelevante. Aun considerando esta diferencia, la huella de carbono del ITS-Sucré es 18.2 veces mayor que la de UPS- Sur, con destaque para el consumo de energía, que fue responsable por el 95,3% de las emisiones.

Cabe destacar, sin embargo, que comparando las medias del consumo de energía eléctrica en el ITS-Sucré, entre 2016 y 2017, no hubo diferencias significativas entre las mismas ($p > 0.05$). En contrapartida, el número de personas trabajando en el ITS-Sucré aumentó significativamente entre 2016 y 2017 ($p < 0.05$), indicando, consecuentemente, que en 2017 hubo un consumo más racional de energía eléctrica por parte de la comunidad educativa. Este hecho demuestra que las actividades implementadas en 2017 para la disminución de energía eléctrica en la institución fueron eficientes, como, por ejemplo, capacitaciones, charlas, y talleres sobre buenas prácticas ambientales.

En relación al consumo de agua potable en el ITS-Sucré durante los años 2016 y 2017, se verificó que hubo diferencias entre las medias del consumo, significativamente menor en el año de 2017 ($p < 0.05$). Considerando que el número de personas trabajando en el ITS-Sucré aumentó significativamente entre 2016 y 2017 ($p < 0.05$), verificase que hubo un consumo más racional de agua potable por

parte de la comunidad educativa, corroborando el hecho de que las actividades implementadas en 2017 para la disminución del consumo de agua potable, al igual que para el consumo de energía eléctrica, en la institución fueron eficientes. Estos resultados están de acuerdo con la hipótesis propuesta por García (2013), la cual argumenta que crear escenarios mediante la construcción de procesos generadores de cambios con respecto al consumo de agua potable, a través de la Educación Ambiental, por medio del cálculo de la huella hídrica, permite la elaboración de propuestas para mejorar la interacción persona-recurso agua. Según Arévalo (2009), la huella hídrica es considerada como un indicador de sostenibilidad que ayuda a evidenciar la relación que existe entre hombre-recurso y el uso racional del agua potable.

Como lo expresa Medina (2014), los resultados positivos esperados en un plan de mitigación se encuentran directamente relacionados con la Educación Ambiental, argumentado que el escenario de interacción entre docentes y estudiantes implican transformaciones profundas en el ámbito social, económico y ambiental; que es de donde se deriva todo el comportamiento del ser humano frente al ambiente. Además, según el mismo autor, otro factor a considerar es que toda actividad teórica debe estar anclada a una actividad práctica para fortalecer el conocimiento y obtener cambios comportamentales.

A partir de los resultados comparativos entre los años de 2016 y 2017, concluimos que en el ITS- Sucre las actividades que se encuentran programadas en el Plan de Acción Ambiental, como por ejemplo, capacitaciones, charlas, y talleres sobre buenas prácticas ambientales, han generado cambios en la conducta de estudiantes, docentes y personal administrativo, mostrando interés sobre la sostenibilidad de los recursos naturales.

Conclusiones

Los resultados obtenidos indicaron que, a partir de los cálculos realizados para determinar la huella de carbono en el 2017, las emisiones indirectas que provienen del (alcance 2) son las responsables de la mayor generación de CO₂, lo que indica que el consumo de energía eléctrica es el alcance que produce el 95% de los GEI, seguido del uso y consumo de papel y plástico con el 4,7% del total de las emisiones.

A partir de la comparación estadística entre las medias del consumo de energía eléctrica, consumo de agua potable y el número de personas trabajando en el ITS-Sucre, entre 2016 y 2017, concluimos que en 2017 hubo un consumo más racional por parte de la comunidad educativa, hecho que demuestra que las actividades implementadas en 2017 para la disminución de energía eléctrica y consumo de agua potable en la institución fueron eficientes, como por ejemplo, capacitaciones, charlas, y talleres sobre buenas prácticas ambientales.

El desarrollo de esta investigación en el ITS-Sucre estableció las bases para identificar el escenario adecuado para iniciar el cambio de actitud que la comunidad educativa necesita para avanzar hacia un futuro sostenible. Como sociedad se debe asumir actitudes individuales, así como también colectivas en defensa del ambiente buscando soluciones que impidan su contaminación y degradación, contribución entendida como un proceso continuo de busca de la mejora de la calidad de vida de la población y la protección del medio ambiente.

Referencias

- Alcaraz, A. H. (2014). *Huella de Carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena: En Busca de la Ecoeficiencia*. Obtenido de Huella de Carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena: En Busca de la Ecoeficiencia: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5043/tfm384.pdf?sequence=1>
- César Espíndola, J. O. (10 de Septiembre de 2012). *Huella de Carbono información tecnológica*. Obtenido de Huella de Carbono información tecnológica: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>
- Climatique, C. O. (2015). *CAPITULO II SISTEMAS DE INDICADORES DE CAMBIO CLIMATICO HUELLA DE CARBONO PROTOCOLO DE KYOTO*. Obtenido de Observatorio del Cambio Climático: http://climatique.itccanarias.org/files/Curso%20online/Captulo_2.pdf
- Esagua. (2015). *Huella hídrica, hacia una gestión sostenible de los recursos hídricos*. Obtenido de El valor de la huella hídrica: <http://www.esagua.es/wp-content/uploads/2017/03/Reportaje-huella-hidrica-EsAgua.pdf>
- Frohmann, A. (07 de 03 de 2013). *Cálculo y etiquetado de la huella ecológica CIESPAL*. Obtenido de Huella de carbono e inventarios corporativos": https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/seminario_hc_flacso_argentina-presentacion2_2013.pdf
- Iván Felipe Medina Arboleda, P. P. (2014). La investigación en educación ambiental en América Latina: un análisis bibliométrico. *Revista Colombiana de Educación, N.º 66. Bogotá, Colombia.*, 18.
- Luis Castelli, A. C. (07 de 02 de 2013). *SEMINARIO HUELLA HÍDRICA Y EMPRESAS*. Obtenido de Huella hídrica y agua virtual: http://www.naturalezaparaelfuturo.org/observatorios/Seminario_Huella%20Hidrica%20y%20Empresas.pdf
- MDMQ. (2013). *Informe de Evaluación de la Huella de Carbono y Huella Hídrica del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Quito.
- Metrología, C. E. (2013). *INFORME DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO GEI*. Madrid.
- Natura, F. (2014). El acuerdo de París frente al cambio climático. *MINAMBIENTE*, 60.
- Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). Guía para el cálculo de la huella de carbono para la elaboración de un plan de mejora continua. *Guía para el cálculo de huella de carbono*, 61.
- Øyvind Hammer, D. A. (2001). *Palaeontologia Electronica*. Obtenido de PAST: PALEONTOLOGICAL STATISTICS SOFTWARE PACKAGE FOR EDUCATION AND DATA ANALYSIS : http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Richard Vilches, F. D. (2012). DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR. AÑO BASE 2012. *LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA*, 12.

Sandra Milena García, J. M. (2013). LA HUELLA HÍDRICA COMO UNA ESTRATEGIA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL ENFOCADA A LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO: EJERCICIO CON COMUNIDADES RURALES DE VILLAVICENCIO. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 77.

Santamaría, T. C. (16 de Septiembre de 2014). *Implementación de la metodología de la huella de carbono en los cursos de verano en la Universidad de Cantabria*. Obtenido de Implementación de la metodología de la huella de carbono en los cursos de verano en la Universidad de Cantabria.: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5363/369514.pdf?sequence=1>

UNESCO. (2014). Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura: http://www.urv.cat/media/upload/arxiu/catedra-desenvolupament-sostenible/Informes%20VIP/unesco_etxea_-_manual_unesco_cast_-_education_for_sustainability_manual.pdf

Métodos Alternativos para el Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador

María José Anrango Pavón
manrango@tecnologicosucre.edu.ec
Carrera de Gestión Ambiental
Instituto Superior Tecnológico Sucre, Quito, Ecuador

Resumen

Una consecuencia inevitable de la existencia de los rellenos sanitarios es la generación de lixiviados. Los lixiviados son una importante fuente de contaminación para aguas y suelos si no son tratados adecuadamente. Estos líquidos altamente contaminantes se caracterizan por contener concentraciones elevadas de compuestos orgánicos e inorgánicos, lo que dificulta su tratamiento. En este contexto, el objetivo de esta investigación, es caracterizar el lixiviado del relleno sanitario Romerillos del cantón Mejía, para determinar el grado de biodegradabilidad y con ello establecer técnicas de tratamiento que permitan cumplir con los parámetros establecidos en la normativa, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, Libro IV (TULSMA, 2015). En la caracterización del lixiviado durante dos periodos: invierno y verano, se determinó la relación DBO5/DQO (menor 0,20) indicador que representa la poca biodegradabilidad del líquido. Por esta razón se plantearon tres alternativas para su tratamiento. Los ensayos a nivel de laboratorio se efectuaron con una muestra de 0,5 L, inicialmente se aplicó el tratamiento químico Coagulación – Floculación, con la dosis de 6000 mg/L y 1400 mg/L respectivamente, se logró remover el 75% de la Demanda Química de Oxígeno DQO. El segundo tratamiento fue la Oxidación Avanzada, reacción fenton, con la dosis de H₂O₂/DQO y H₂O₂/Fe⁺ se removió el 90% de DQO. El tercer tratamiento fue la combinación de ambos en donde se obtuvo el 88% de remoción del parámetro; los resultados obtenidos permiten plantear una propuesta de tratamiento integral para mitigar el impacto ambiental causado por los lixiviados en los municipios del Ecuador.

Palabras Claves—*Biodegradabilidad, coagulación, floculación, lixiviados, oxidación avanzada,*

Abstract

An inevitable consequence of the existence of sanitary landfills is the generation of leachates, which are an important source of contamination for water and soil if they are not properly treated; This highly polluting liquid is characterized by high containing concentrations of organic and inorganic compounds, which makes its treatment difficult. In this context, the objective of this work was to characterize the leachate of the “San Romerillos” landfill in the “Mejía” canton, to determine the degree of biodegradability and thereby establish treatment techniques that allow compliance with the established parameters in the current environmental regulations. The characterization of the leachate was carried out during two seasons of the year, winter and summer. The BOD5 / COD ratio (lower 0.20) was determined, which represents the low biodegradability of the liquid, so three alternatives were proposed for its treatment. The tests at the laboratory level were carried out with a sample of 0.5 L, initially the chemical treatment Coagulation -

Flocculation was applied, at a dose of 6000 mg / L and 1400 mg / L respectively, it was possible to remove 75% of the Chemical Demand for Oxygen COD. The second treatment was Advanced Oxidation, fenton reaction, with a dose of H₂O₂ / COD and H₂O₂ / Fe + and 90% of COD was removed. The third treatment was the combination of both, where 88% removal of the parameter was obtained; With the results obtained, a comprehensive treatment proposal is planned to dispose of the treated effluent considering the water quality criteria according to the use of the receiving body.

Keywords — *Biodegradability, coagulation, flocculation, leachate, advanced oxidation.*

Introducción

El manejo de los residuos sólidos urbanos es uno de los problemas ambientales que enfrentan los municipios, no solo en Ecuador sino a nivel mundial. Fruto del incremento demográfico acelerado es el aumento de la generación de residuos sólidos urbanos que sobrepasan su capacidad de manejo, induciendo a la utilización de malas prácticas (botaderos a cielo abierto) y carencias en los segmentos del proceso de gestión (reducción, separación, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final), los cuales representan un riesgo para la salud y calidad de vida de la población y una constante amenaza para los ecosistemas a corto y largo plazo (Palacios & Almeida, 2015).

El impacto ambiental que producen los rellenos sanitarios no solo está asociado a la emisión de gases de efecto invernadero CO₂, sino también a las corrientes líquidas producidas como consecuencia de la infiltración del agua a través de los residuos. En el Libro VI de la Legislación Ambiental Ecuatoriana – TULSMA, se define al lixiviado como: “Líquido que percola a través de los residuos, formado por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías y la humedad de los residuos, por reacción o descomposición de los mismos, que arrastra residuos sólidos disueltos o en suspensión y contaminantes que se encuentran en los mismos residuos” (TULSMA, 2015), (Mendoza & López, 2004).

En este sentido los rellenos sanitarios son los tratamientos más utilizados para la disposición de los RSU, sin embargo, traen consigo la gran responsabilidad del control y tratamiento del lixiviado que se genera por la descomposición de los residuos confinados. Antes del año 2010, en el Ecuador, de un total de 221 municipios, 160 disponían sus desechos en “botaderos a cielo abierto” y los 61 municipios restantes, presentaban manejo de desechos con insuficientes criterios técnicos. En referencia a este panorama, el Gobierno Nacional a través del MAE, crea el PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS (PNGIDS, 2010), con el objetivo de impulsar la gestión de los RSU en los GADs, con un enfoque integral y sostenible (Palacios & Almeida, 2015).

Enmarcado en esta iniciativa, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mejía, sustituyó el botadero a cielo abierto con la construcción del relleno sanitario, que está ubicado a 13 km al sur de la ciudad de Machachi, en él se disponen los residuos sólidos de ocho parroquias de su circunscripción; hasta la actualidad son cinco celdas que se han construido, tres de ellas están en etapa de cierre y las dos

restantes en etapa de operación, es decir reciben desechos. Dado que el proyecto cuenta con licencia ambiental, se ejecuta el Programa de Seguimiento y Monitoreo de Lixiviados, en cuyos resultados se evidencia oportunidades de mejora para el tratamiento de lixiviados. (GADM, 2012).

Los lixiviados generados, son almacenados en piscinas impermeabilizadas, posteriormente se transportan hacia la planta de tratamiento, en donde se logra disminuir el 30% de la demanda química de oxígeno (DQO) mediante un proceso químico; una parte del caudal tratado es descargado hacia las lagunas de fitorremediación y la otra parte recircula al relleno sanitario. Esta técnica empleada es inadecuada porque no se está disminuyendo la cantidad de lixiviado generado, debido a que no cumple con los parámetros establecidos para su descarga; además, al recircularlo se sigue concentrando, lo que genera mayores problemas para un tratamiento posterior (GADM, 2012; Jimenez, 2017).

El lixiviado es un líquido altamente peligroso, se compone de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos; además se clasifica de acuerdo al tiempo de operación del relleno sanitario: jóvenes menor 5 años, intermedios entre 5 y 10 años y maduros mayor a 10 años. Dado que la biodegradabilidad del lixiviado es inversamente proporcional a su edad, los más biodegradables son los jóvenes y menos biodegradables los maduros. Este parámetro se mide mediante el seguimiento de la relación DBO5/DQO. Las relaciones mayores a 0,4 se toman como un indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable; mientras que la relación menor a 0,2 indica que es poco biodegradable; este decrecimiento se debe a que el lixiviado maduro contiene ácidos húmicos y fúlvicos que no son fácilmente biodegradables (Mendoza & López, 2004; Torres-Lozada, Barba-Ho, Ojeda, Martínez, & Castaño, 2014).

El lixiviado del relleno sanitario "Romerillos" fue estudiado por Zaldumbide en su trabajo "Caracterización física de los RSU y química de los lixiviados producidos", en donde se determinó la relación DBO5/DQO superior a 0,4 que corresponde a un lixiviado joven con potenciales características de biodegradabilidad, (Zaldumbide & Oviedo, 2012). Posteriormente Duque en su trabajo titulado "Formulación de una solución melaza-bacterias para el tratamiento de lixiviados" determinó que mediante el tratamiento biológico se logra remover un 20% de la carga contaminante y concluye que es necesario combinar con otros tratamientos para lograr una remoción óptima y descargar el lixiviado según la normativa; las dos investigaciones realizadas, sirvieron de aporte para la correcta operación de la planta de tratamiento en ese entonces; actualmente se evidencia que en el efluente tratado, la mayoría de parámetros que califican la calidad de un lixiviado exceden los límites máximos permisibles (Duque & Carrillo, 2014; Jimenez, 2017).

Mendoza & López, señalan que la tratabilidad de un lixiviado está directamente relacionado con su composición química y ésta a su vez, depende de factores como el tipo de desecho, edad, condiciones ambientales y aspectos técnicos característicos del relleno sanitario; mismo que obligan a que el diseño de una planta de tratamiento tenga gran flexibilidad de funcionamiento; por tanto este trabajo dirige sus esfuerzos hacia diagnosticar condiciones físico - químicas del lixiviado y con los resultados obtenidos evaluar métodos de tratamiento a fin de mitigar el impacto provocado por este líquido (Mendoza & López, 2004).

Para tratar el lixiviado, procesos como la Coagulación - Floculación, son mayormente empleados debido al alto contenido de sólidos suspendidos, la técnica consiste en neutralizar las fuerzas de repulsión de la suspensión coloidal

para desestabilizar y provocar mediante la energía de mezclado la aglomeración que aumenta de tamaño y peso a las partículas y se da paso a la sedimentación, obteniendo como producto un lixiviado clarificado. Una variedad de productos químicos naturales y sintéticos son utilizados en esta técnica ya que aportan carga eléctrica contraria al coloide estableciendo una relación carga/masa que favorecen la floculación (Royer Méndez et al., 2009).

La Oxidación Avanzada, utilizada comúnmente como proceso alternativo y/o complementario a los sistemas convencionales, permite tratar contaminantes resistentes a la biodegradación. Las reacciones involucradas en el proceso poseen mayor factibilidad termodinámica y velocidades de oxidación incrementadas por la participación del radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) quien exhibe alto potencial de oxidación ($E=2,80\text{V}$). Este radical puede ser generado por diversos métodos, como: ozono, peróxido de hidrógeno, fenton, foto-fenton, y procesos fotocatalíticos y es capaz de degradar la materia orgánica de su entorno facilitando la completa mineralización y transformación a moléculas sencillas de CO_2 , H_2O y otros compuestos inorgánicos estables (Salas, 2010), (Rubio-Clemente, Chica, & Peñuela, 2014).

En este contexto, el objetivo del trabajo es evaluar a escala de laboratorio métodos alternativos para tratar el lixiviado proveniente del relleno sanitario Romerillos del cantón Mejía, con el fin de oxidar la materia orgánica y que los parámetros involucrados cumplan con la normativa ambiental vigente para ser descargados hacia un cuerpo hídrico, mitigando la acumulación que representa una fuente de contaminación inminente; los resultados de los métodos evaluados servirán para elaborar una propuesta de tratamiento a esta problemática en cuanto a la gestión de residuos sólidos urbanos en los municipios del país.

Metodología

Área de estudio

Las muestras de lixiviado fueron tomadas de la piscina N.1 del relleno sanitario "Romerillos" ubicado en el cantón Mejía, durante los meses de Febrero – Abril (época lluviosa) y Junio – Agosto (época seca) del año 2017.

Figura 1. Piscina de lixiviados, relleno sanitario Romerillos, cantón Mejía



Figura 2. Piscina de lixiviados, punto de muestreo, medición de parámetros in Situ



Caracterización del lixiviado

Durante el tiempo de muestreo programado, se colectaron muestras compuestas de lixiviado; se analizó *in situ*: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura, con un multiparámetro marca HACH, modelo HQ40d. En los laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la UISEK, se analizaron algunos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, Libro IV (TULSMA, 2015).

En los análisis gravimétricos se determinó, sólidos totales, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, se utilizó la muestra de lixiviado sin dilución. Se realizó diluciones para medir el color real y aparente. La turbidez se midió con el método EPA 800 utilizando el turbidímetro Termo Scientific.

La demanda química de oxígeno, se analizó por el método 5520 C-D y la demanda bioquímica de oxígeno se determinó por el método Winkler realizando diluciones de la muestra original al 0,5% y 1% v/v (APHA, 2012).

Los aniones nitrito, nitrato, nitrógeno de amonio, sulfatos, cloruros, fosfatos; se analizaron realizando diluciones de la muestra original, 1:10; 1:100 hasta 1:1000 respectivamente (APHA, 2012). El nitrógeno total se analizó por el método Kjeldahl con el digestor Berh INKJEL, acoplado la unidad de destilación.

En microbiología se determinó, coliformes totales, se inoculó en el medio de cultivo Levine, se utilizó la muestra original y diluciones, se incubaron las muestras por 48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en la estufa WiseCube, finalmente se cuantificó las colonias resultantes.

Una vez caracterizado el lixiviado se evaluó la relación DBO5/DQO para determinar el grado de biodegradabilidad, el resultado obtenido permitió establecer tres métodos químicos como alternativa para su tratamiento Coagulación – Floculación (C-F), Oxidación Avanzada (Reacción Fenton F) y una Combinación de ambos (CF y F).

a) *Proceso de coagulación - floculación*

En la prueba de jarras Velp Scientific, se realizó los ensayos para clarificar el lixiviado. Se utilizó el coagulante policloruro de aluminio PAC y floculante un polímero de alto peso molecular aniónico. Se evaluaron dosis de 1000 a 7000 mg/L para el floculante y 500 a 1500 mg/L de polímero aniónico.

Mediante la ecuación 1.0 se calculó la cantidad necesaria de cada agente a dosificar en un volumen de 0.5 L de lixiviado

$$\text{Ppm} = \frac{\text{C} \times \text{V}}{\% \cdot 1000000} \quad \text{Ecuación 1.0}$$

Donde:
 C: Concentración
 V: Volumen
 %: Porcentaje
 10000000: Factor de conversion

Debido a la composición variable del lixiviado, cada ensayo de jarras se realizó por triplicado y las dosis se seleccionaron aleatoriamente. El proceso de coagulación – floculación se procedió según la norma ASTM D2030; se agitó durante un minuto a 200 rpm para propiciar el proceso de coagulación, posteriormente se agitó a 50 rpm durante 20 minutos para simular el proceso de floculación, finalmente se dejó sedimentar durante 30 minutos (ASTM, 2013). Del clarificado resultante se tomó una alícuota de 50 mL para analizar los parámetros: pH, color, turbidez y DQO.

b) *Proceso de oxidación avanzada (reacción fenton)*

Por medio de la reacción fenton que se produce en el lixiviado al mezclar peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y sulfato de hierro heptahidratado (Fe SO₄ ·7 H₂O) como catalizador, se oxida la materia orgánica, la cantidad utilizada de reactivos fue calculada con la ecuación descrita por (Rodríguez, Flesler, & Lehmann, 2014).

$$\text{H}_2\text{O}_2 \text{ estequiométrico} = 2,125\text{DQO} \quad \text{Ecuación 2.0}$$

Donde:
 2,125: Cantidad de hidroxilos necesaria para oxidar la materia orgánica
 DQO: Demanda Química de Oxígeno de la muestra original (mg/L)

De la ecuación 2.0 con la densidad del peróxido de hidrógeno al 30% v/v (1,145 mg/L) y el volumen de lixiviado a tratar 0,5 L, se determinó el volumen de H₂O₂ a dosificar; la cantidad de catalizador se determinó, mediante la relación estequiométrica entre reactivos y productos de la reacción fenton; para establecer la dosis necesaria se probó varias relaciones molares H₂O₂/Fe⁺.

c) *Combinación de procesos: coagulación - floculación y reacción fenton*

El clarificado obtenido del experimento de coagulación – floculación inicial, fue sometido a la reacción fenton, con el propósito de bajar todavía más la carga contaminante. Se siguió el mismo procedimiento descrito para la reacción fenton, con la diferencia que se calculó el volumen de H₂O₂ con el resultado de DQO (mg/L) medida en el clarificado.

La cantidad de catalizador FeSO₄.7H₂O, fue probada a diferentes relaciones molares (1:2, 1:10, 1:15, 1:20 y 1:25) hasta obtener la dosis óptima y con el resultado final se analizó pH, color, turbidez y DQO.

Resultados

Caracterización del lixiviado

Tabla 2.

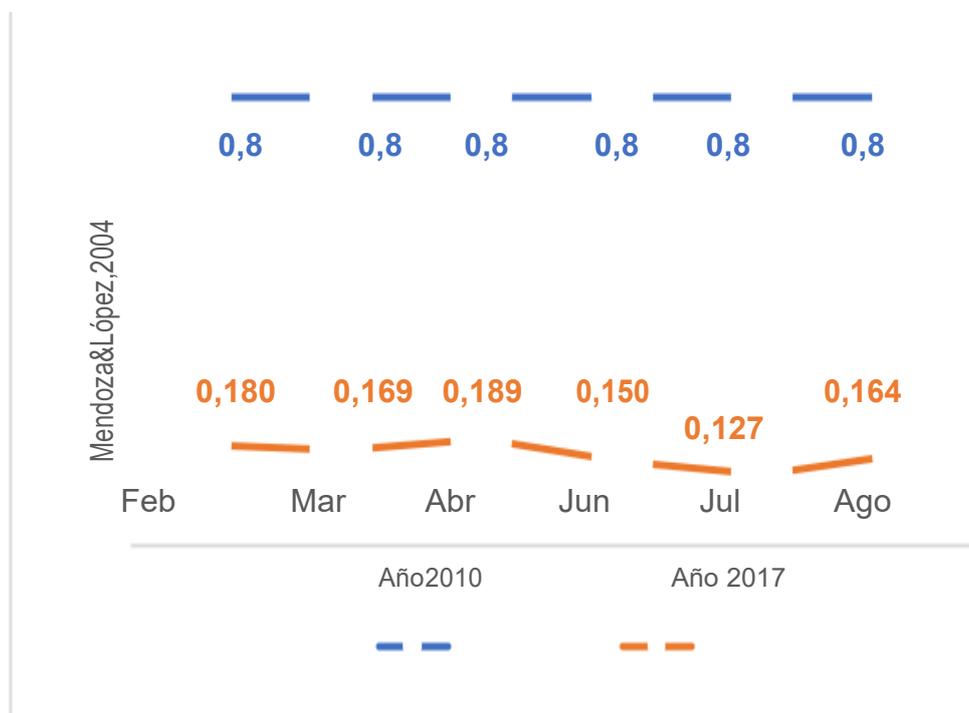
Características promedio del lixiviado en dos estaciones de muestreo, Relleno Sanitario Romerillos, año 2017

Parámetro	Unidad	Época Lluviosa	Época Seca	Tabla 9. TULSMA
pH	Unidad de pH	8,33	8,68	6 - 9
Temperatura	°C	18	20	-
Conductividad Eléctrica	ms/cm	15,18	11,81	-
Color	U Pt-Co	53,33	87,74	
Turbidez	NTU	486,5	661,0	
DBO5	mg/L	505	567	100
DQO	mg/L	2533	3844	200
N- Total	mg/L	1591,51	1626,5	50
N- Amoniacal	mg/L	1432	1463	30
Nitritos	mg/L	445	512	-
Nitratos	mg/L	117,5	98	-
Sólidos Totales	mg/L	9126,11	10 176	1600
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	79	70,8	130
Sulfatos	mg/L	35	55,33	1000
Cloruros	mg/L	3126,67	4267,5	1000
Fósforo Total	mg/L	95,17	45,4	10
Coliformes Totales	UFC/100mL	550	620	1000

Fuente: Elaboración autor

Durante el tiempo de muestreo se realizó el seguimiento de la relación DBO5/DQO para determinar la biodegradabilidad del lixiviado.

Figura 3. Relación DBO5/DQO, grado de biodegradabilidad del lixiviado, Relleno Sanitario Romerillos



Fuente: Elaboración autor

.a) Evaluación del proceso de coagulación - floculación

En el proceso de coagulación – floculación, con las dosis de 6000 mg/L de PAC y 1400 mg/L de polímero aniónico se consigue los mejores parámetros en pH, color, turbidez y DQO. Ver Tabla 3.

Tabla 3.

Medición de parámetros, proceso de Coagulación- Floculación del Lixiviado

Dosis C – F (mg/L)	pH (Unidades de pH)	Color (U Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
1000 – 500	8,5	240	426	2120
250				
0– 1000	8,0	120	250	2050
500				
0– 1200	7,5	65	50	1000
600				
0– 1400	7	25	12	800
7000 – 1500	7,6	57	33	2800

Fuente: Elaboración autor

b) *Evaluación del proceso, oxidación avanzada – reacción fenton*

El volumen de H₂O₂ al 30% está influenciado por la concentración de DQO en mg/L de la muestra; la cantidad de catalizador en cambio se establece de acuerdo a la relación molar H₂O₂/Fe⁺, la relación óptima fue 1:5. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Medición de parámetros en el proceso de Oxidación Avanzada (Reacción fenton)

Relación n H ₂ O ₂ /F e ⁺	pH (Unidades de pH)	Color (U Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
1:1	7,2	65	34	576
1:2	6,9	42	18	448
1:5	7,3	5	2,5	330
1:10	7,5	16	12	380
1:20	7	18	25	620

Fuente: Elaboración autor

c) *Evaluación de la combinación de procesos: coagulación-floculación y reacción fenton*

Al combinar los procesos, se determinó que la cantidad H₂O₂, partiendo del clarificado resultado del proceso de Coagulación – Floculación es menor, dado que el DQO en este producto es también menor, al igual que la cantidad de catalizador. La relación molar H₂O₂/Fe⁺ óptima fue 1:20. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Medición de parámetros, experimento combinación de procesos

Relación H ₂ O ₂ /Fe +	pH (Unidades de pH)	Color (U Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
1:5	6,8	21	10	486
1:10	6,8	17	7	412
1:20	7,1	4	2,5	385
1:25	7,6	9	5	506
1:30	7,5	11	5,8	510

Fuente: Elaboración autor

Discusión

a) *Proceso de coagulación – floculación*

En el proceso de Coagulación – Floculación, se remueve el 75% de la DQO, con una dosis de 6000 mg/L de policloruro de aluminio al 1% y 1400 mg/L de polímero aniónico al 0,1%. El proceso se basa en desestabilizar los sólidos suspendidos para promover su aglomeración hasta lograr la sedimentación (Royer Méndez *et al.*, 2009) la baja concentración que presentan estos coloides 66 mg/L (promedio, época seca y lluviosa), es un indicativo de la baja remoción que se obtiene en el proceso aplicando este método.

Por su parte el pH, Figura 4; se estabiliza en el rango de 7,3 a 7,5 unidades de pH, con la dosis de reactivos aplicada, del mismo modo el color junto y la turbidez se reducen hasta los valores de 25 U Pt-Co y 75 NTU respectivamente, cabe señalar que a mayor cantidad de coagulante – floculante dosificado el comportamiento es diferente, después de haber sobre dosificado el proceso tiende a revertirse.

b) *Proceso de oxidación avanzada – reacción fenton*

La reacción fenton producida por la mezcla de peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro heptahidratado, aumentó el porcentaje de remoción de DQO al 90 %, efectuado bajo condiciones ácidas, relación molar H₂O₂/DQO y H₂O₂/Fe. La relación estequiométrica entre el H₂O₂ y DQO determinan la cantidad de hidroxilos necesaria para oxidar la materia orgánica, las sales de hierro por su parte actúan como catalizador para descomponer al H₂O₂ y generan radicales hidroxilo ·OH, los cuales reaccionan con el hierro remanente en disolución hasta que cambia su estado de oxidación de Fe²⁺ a Fe³⁺ conjuntamente oxida la materia orgánica presente en la muestra a velocidades de reacción de 10⁶ a 10¹² veces más que otros oxidantes.

No obstante, un exceso en la concentración de H₂O₂ no mejora la oxidación de la materia orgánica, al contrario, favorece a la producción de radicales ·OH pero a una velocidad muy lenta y por tanto el Fe²⁺ que se regenera propicia una cascada de reacciones que inhiben la oxidación de la materia orgánica, manifiesta (Salas, 2010) y se comprueba con los ensayos realizados Figura 5, en donde la dosis aplicada de H₂O₂/ Fe²⁺ 1:5 mejora los parámetros de DQO, color y turbidez.

c) *Proceso combinado: coagulación – floculación y reacción fenton*

La eficiencia en el proceso de coagulación – floculación fue mala por lo que se combinó este proceso con la reacción fenton, partiendo de la cantidad de materia orgánica remanente en la muestra, se trabajó con diferentes dosis de H₂O₂ /Fe²⁺, resultando óptima la relación molar 1:20, ya que se removió el 87% de DQO. La dinámica de ambos procesos permite que los parámetros pH, color, turbidez y DQO del lixiviado mejoren, ver Figura 6. Salas, 2010 manifiesta que la combinación de procesos sean estos pretratamientos o post-tratamientos de oxidación avanzada resultan eficientes al momento de efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores.

Conclusiones

La calidad del lixiviado del relleno sanitario Romerillos se relaciona con varios factores como, tipo de desecho, edad de la celda, fases de descomposición bioquímica, aspectos técnicos del relleno sanitario y condiciones ambientales; dado que la precipitación incide sobre el volumen del lixiviado, en época de

invierno parámetros como: color, turbidez, sólidos totales son menores que en la época de verano; por otra parte la edad del lixiviado se evidencia en el pH 8,33 – 8,68 unidades de pH, el carácter ligeramente básico en ambas épocas indica que el lixiviado es maduro y se comprueba que la celda está pasando por la fase metanogénica en donde los ácidos orgánicos se convierten en metano y dióxido de carbono como consecuencia estos valores se incrementan y menos constituyentes inorgánicos quedan en disolución.

La relación DBO5/DQO ubicada en el rango 0,127 – 0,189 caracteriza al lixiviado como un líquido con bajo contenido de materia biodegradable, esta característica se debe a la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos difíciles de degradar por métodos convencionales o biológicos, lo que se requiere de métodos avanzados para disminuir la materia orgánica e inorgánica contaminante presente en el lixiviado del relleno sanitario.

La coagulación - floculación es un proceso que se fundamenta en desestabilizar los sólidos suspendidos presentes en el lixiviado para promover la aglomeración y posterior decantación, resultando un líquido clarificado; con la dosis de 6000 mg/L de PAC y 1400 mg/L de polímero aniónico se remueve el 75% de la demanda química de oxígeno DQO, este rendimiento se considera poco eficiente debido a que la concentración de sólidos suspendidos involucrados en el proceso es baja.

La oxidación avanzada, reacción fenton remueve el 90% de la demanda química de oxígeno DQO, el proceso trabaja con dos reactivos importantes, peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro heptahidratado como catalizador; la relación molar H₂O₂/DQO determina la cantidad de hidroxilos necesarios para oxidar la materia orgánica y la relación H₂O₂/Fe, forma sales de hierro que descomponen al peróxido de hidrógeno para generar radicales (OH) de manera que el hierro se oxida y junto con él la materia orgánica, provocando una disminución en el color, turbidez y DQO del lixiviado.

Debido a que el lixiviado presenta variabilidad en su composición, resulta bastante complejo proponer un solo tratamiento sea este químico, físico o biológico para disminuir la carga contaminante; aunque el proceso de oxidación avanzada (reacción fenton) fue el más efectivo, el proceso presenta inconvenientes en cuanto al empleo de grandes cantidades de catalizador, lo que supone la generación de lodos al momento de la implementación a escala industrial; no obstante estas limitaciones pueden ser superadas mediante la aplicación de sistemas heterogéneos (híbridos), el acoplamiento de procesos avanzados con pre o post tratamientos sería la alternativa más viable para la remoción de contaminantes tóxicos provenientes del relleno sanitario.

Referencias

- APHA, A. P. H. A. A. W. W. A. W. E. F. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Standard Methods*, (102), 541. <https://doi.org/10.2105/AJPH.51.6.940-a>
- ASTM, D. (2013). Standard Practice for Coagulation - Flocculation Jar Test of Water. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/328129512/Coagulation-Flocculation-Jar-Test-of-Water-ASTM-D2035-pdf>

Duque, C., & Carrillo, I. (2014). *FORMULACIÓN DE UNA SOLUCIÓN MELAZA-BACTERIAS PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE MACHACHI CANTÓN MEJÍA.*

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL. Retrieved from http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4671/1/56631_1.pdf

GADM, M. (2012). *PLAN ESTRATÉGICO PARTICIPATIVO INSTITUCIONAL.* Retrieved from

http://www.municipiodemejia.gob.ec/documents/transparencia/2012/a/3planificacion_estrategica_participativa_institucional_2012.pdf

Jimenez, G. (2017). *GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN MEJÍA.* Retrieved from <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/04am07-1704-p.pdf>

López, M. E., & Santos, R. (2012). Estudio preliminar del comportamiento de rellenos sanitarios como biodigestores a escala de laboratorio. *Afinidad LXIX*, www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/268385/355954

Méndez, R., Castillo, E., Sauri, M. R., Quintal, C., Giacomán, G., & Jiménez, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 133–145. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300002

Méndez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, R., Giacomán, G., & Castillos, E. (2010). DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE REACTIVO FENTON EN UN TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR FENTON-ADSORCIÓN. *Rev.*

Int. Contam. Ambie, 26(3), 211–220. Retrieved from

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v26n3/v26n3a4.pdf>,
http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004_.pdf

TRATAMIENTO EN FILTRO ANAEROBIO PILOTO DE FLUJO ASCENDENTE. Retrieved from

Mendoza, P., & López, V. (2004). ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA Y SU RESPUESTA BAJO

Morales, C. (2007). ESTUDIO PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS. Universidad Nacional de Colombia.

Retrieved. From <http://www.bdigital.unal.edu.co/1073/1/claudiajohanamorales.2007.pdf>

Nájera, H., Castañón, J., Figueroa, J., & Rojas-Valencia, M. (2009). CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE LIXIVIADOS MADUROS PRODUCIDOS EN EL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO (PDF Download Available). Retrieved August 22, 2017, Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/239530632_CHARACTERIZACION_Y_TRATAMIENTO_FISICOQUIMICO_DE_LIXIVIADOS_MADUROS_PROD

UCIDOS_EN_EL_SITIO_DE_DISPOSICION_FINAL_DE_TUXTLA_GUTIER
REZ_CHIAPAS_MEXICO

- Palacios, L., & Almeida, E. (2015). Diseño de los Procesos en el Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos del Ministerio del Ambiente (MAE-PNGIDS); en la Ciudad de Quito en el Período 2014-2015. Retrieved from http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13500/1/Palacios_Encalada_Laura_Cristina.pdf
- Rodríguez, R. ;, Flesler, F., & Lehmann, V. (2014). OXIDACIÓN AVANZADA – SISTEMA FENTON – EN TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES DE ALTA CARGA ORGANICA. Retrieved from <https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/365.pdf>
- Rubio-Clemente, A., Chica, E., & Peñuela, G. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *2014*, *16*(2), 211–223. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a19.pdf>
- Salas, G. (2010). Tratamiento Por Oxidación Avanzada (Reacción Fenton) De Aguas Residuales De La Industria Textil. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*, *13*(1), 30–38.
- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L., Ojeda, C., Martínez, J., & Castaño, Y. (2014). INFLUENCIA DE LA EDAD DE LIXIVIADOS SOBRE SU COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y SU POTENCIAL DE TOXICIDAD. *& Div. Cient*, *17*(1), 245–255. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>
- Zaldumbide, L., & Oviedo, E. (2012). *Caracterización física de Residuos Sólidos Urbanos, Caracterización Química de Lixiviados y Propuesta de Tratamiento para Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía*. UNIVERSIDAD

Síntesis Ultra-asistida y Actividad Antibacterial de Nanopartículas de Plata Estabilizadas con Ácido Gálico y Quitosano

Katherine Guzmán
kguzman@tecnologicosucres.edu.ec,
Carrera de Gestión Ambiental
Instituto Superior Tecnológico Sucre, Quito, Ecuador

Resumen

El objetivo de esta investigación fue sintetizar nanopartículas de plata utilizando ácido gálico como antioxidante y Quitosano (GC-AgNps) bajo la influencia de la irradiación con ultrasonido, y posteriormente, evaluar el efecto antimicrobiano mediante concentración mínima de inhibición (MIC) y eficacia antimicrobiana (ABE) contra *Escherichia coli*, bacteria más común en agua, suelo y aire. Este método ecológico para la síntesis de nanopartículas coloidales fue desarrollado por reducción química y ultrasonido. El mecanismo de acción de la toxicidad sugiere que AgNps puede inhibir la respiración colectiva de los microbios por especies reactivas de oxígeno (ROS) con casi el doble de eficiente que el nitrato de plata en solución acuosa. Por otro lado, una estrategia de estabilización de la nanopartícula monodispersa obtenida fue gracias a las propiedades del quitosano como alternativa no tóxica y amigable con el medio ambiente. Se conoce que el quitosano es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza después de la celulosa. En esta investigación, el quitosano domina la carga de la superficie y el diámetro hidrodinámico de la nanopartícula, así como controlar la formación de complejos con otras biomoléculas y eventualmente la interacción Bacterias-Nanopartículas. Los resultados revelaron que las GC-AgNps sintetizadas fueron monodispersas, de forma esférica con un tamaño promedio de 26.23 ± 9.92 nm, y estables durante cuatro semanas sin ningún cambio notable en el tamaño. El análisis de difracción de rayos X (XRD) y la espectroscopia infrarroja (FTIR) confirmaron que las GC-AgNps son estructuras cristalinas cúbicas centradas en la cara (FCC) y las vibraciones de Ag-O más destacadas a 599 cm^{-1} . Además, se demostró que la sensibilidad y muerte celular causada por GC-AgNps contra *Escherichia coli* Log CFU 2.4 fue de $10\ \mu\text{g}/\text{ml}$ después de 45 minutos de exposición.

Palabras Clave: Síntesis verde asistida por ultrasonido, nanopartícula de plata, quitosano-ácido gálico, actividad microbiana, UV-VISIBLE, FTIR, XRD, TEM, SEM.

Abstract

The aim of this work was to synthesize AgNps using gallic acid as an antioxidant and Chitosan (GC-AgNps) under the influence of ultrasound irradiation, and subsequently to evaluate the antimicrobial effect through (MIC) and (ABE) against *Escherichia coli*, the most common bacterium in water, soil and air. The mechanism of action of toxicity indicates that microbes can inhibit the collective respiration by reactive oxygen reactions (ROS) with almost twice as efficient as silver nitrate in an aqueous solution. On the other hand, a strategy of stabilization of the dispersed mono nanoparticle was based on the properties of chitosan as a non-toxic and environmentally friendly alternative. It is known that chitosan is the second most abundant biopolymer in nature after cellulose. In this research, chitosan dominates the surface charge and the hydrodynamic diameter of the nanoparticle, as well as controlling the formation of complexes with other

biomolecules and eventually the Bacteria-Nanoparticle interaction. The results revealed that the GC-AgNps synthesized were monodisperse, spherical with an average size of 26.23 ± 9.92 nm, and stable for four weeks without no change. Analysis of X-ray diffraction (XRD) and infrared spectroscopy (FTIR) confirm that GC-Ags are crystalline structures (FCC) and the most prominent Ag-O vibrations at 599 cm^{-1} . In addition, the sensitivity and total cell death caused by GC-AgNps against *Escherichia coli* at Log CFU 2.4 was $10\ \mu\text{g} / \text{ml}$ after 45 minutes of exposure.

Keywords: *Ultrasound-assisted green synthesis, Silver nanoparticles, Chitosan-Gallic acid Antibacterial activity, UV-VISIBLE, FTIR, XRD, TEM, SEM*

Introducción

Las nanopartículas de plata (AgNP) son conocidas por sus aplicaciones microbianas en artículos comunes domésticos y su uso en productos comerciales como aditivos antisépticos en envases, tela, revestimiento de azulejos y ha ido aumentando en los últimos años [1].

Sin embargo, la estabilización y las propiedades de las AgNps se ven afectadas debido a varias características físicas y químicas [2,3]. Se ha demostrado que las AgNps con una alta relación de área superficial a volumen y alta estabilidad térmica son más eficaces como antibacterianos que la plata a granel [3,4]. El mecanismo de acción de la toxicidad sugiere que las AgNps pueden inhibir la respiración colectiva de los microbios por especies reactivas de oxígeno (ROS) con casi el doble de eficiencia que los iones de plata [5].

Por otro lado, la estrategia después de la síntesis para estabilizar las nanopartículas monodispersas ha sido generada por surfactantes y polímeros [6]. Incluye polivinilpirrolidona [7], almidón [8], celulosa [9], agar [10], líquido iónico soportado de sílice [11], quitosano [12], etc. Entre todos, el quitosano se considera no tóxico, amigable con el medio ambiente y muy accesible [13].

El quitosano se encuentra en las conchas y exoesqueletos de los crustáceos y se obtiene por desacetilación alcalina de la quitina [14]. Es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza después de la celulosa y ha sido utilizado en aplicaciones biomédicas, farmacéuticas e industriales debido a su biodegradabilidad, biocompatibilidad y baja citotoxicidad [15,16]. Algunos estudios afirman que el quitosano puede dominar la carga de la superficie de las nanopartículas y controlar la formación de complejos con otras biomoléculas y, finalmente, la interacción bacterias-nanopartículas [17,18]. La conversión entre nanopartículas y matriz de quitosano como agente estabilizador se emplea para evaluar el efecto a largo plazo y las soluciones coloidales estables de AgNps en los medios de cultivo bacterianos [19].

Los métodos utilizados en esta investigación han sido amigables con el ambiente mediante reducción química y ultrasonido convirtiéndose en una combinación deseable de materiales biocidas en condiciones ecológicas y de fácil producción.

Metodología

Materiales

El nitrato de plata, AgNO₃, 99.0% fue adquirido de Spectrum, EE. UU. Quitosano de conchas de camarón (grado analítico, > 75% desacetilados) y ácido gálico (97.5–100.2% de titulación) de Sigma-Aldrich Alemania y China, respectivamente.

Preparación de GC-AgNPs.

La síntesis de GC-AgNps se llevó a cabo utilizando ácido gálico y quitosano como agente reductor y estabilizante, respectivamente. El procedimiento de preparación de AgNps implica la mezcla de ácido gálico (1 mM, 4 ml) con AgNO₃ (1 mM, 20 ml) con una relación de 1: 5 y el pH se incrementó a 11 mediante la adición de 0,1 M de NaOH. Luego, se agregaron 4 ml de solución de quitosano al 0,5% a la mezcla de reacción y se sometieron a ultrasonido durante 10 y 20 minutos usando un procesador ultrasónico (DAIGGER GE 505, 500 W, 20 kHz) sumergido directamente en la solución de reacción. La condición operativa fue de 30 s en pulso encendido/ 30 s en reposo con una amplitud de 72% a 25°C.

La solución de quitosano se preparó mezclando 0,5 g de quitosano con 100 ml de ácido acético (1% v/v) y se mantuvo bajo agitación durante tres días, para permitir la disolución completa y evitar su gelificación.

Caracterización de las GC-AgNPs.

Las muestras que contenían GC-AgNps se confirmaron con un espectrofotómetro UV-vis, SPECORD® S600 de Analytik Jena, Alemania. Además, la distribución de tamaño de la muestra hidrodinámica se analizó en un instrumento de dispersión de luz dinámica (DLS) del analizador de distribución de tamaño HORIBA LB-550.

Las imágenes de microscopía electrónica de transmisión (TEM) y el patrón de separación de electrones del área seleccionada (SAED) de las nanopartículas se capturaron de FEI Tecnai, G2 Spirit Twin. La morfología de la superficie y el mapeo elemental de AgNps se registraron digitalmente utilizando SEM, (TESCAN, MIRA 3). Los análisis de la radiación de rayos X (DRX) se realizaron con un tubo de rayos X de configuración PANalytical de θ -2 θ (generador-detector), cobre $\lambda=1.54059$ Å y diámetro EMPYREAN. Espectroscopia infrarroja (FTIR), las mediciones se realizaron en un espectrómetro Spectrum 100 IR (Perkin Elmer, EE. UU.), empleando la técnica de la reflectancia total atenuada (ATR) para determinar la posible participación de grupos funcionales.

Estudio Antibacterial

La actividad antibacteriana de las GC-AgNps sintetizadas se evaluó contra el modelo Gram-negativo, *E. coli* ATCC 10536, que se cultivó en caldo LB. Cuando el crecimiento de las bacterias alcanzó una base Log 7.02 UFC/ml, se tomó 900 μ L del inóculo con 100 μ L de GC-AgNps en concentraciones previamente diluidas de 100 μ g/mL a 0.01 μ g/mL en diferentes tubos de ensayo. Las muestras se incubaron a 37°C en condiciones de agitación en intervalos de tiempo: 15, 45, 120 minutos respectivamente. Por cada intervalo de tiempo, se tomó una alícuota de

100 µL de cada muestra y se extendió sobre placas de agar para su respectivo conteo celular. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 h.

El control positivo no contenía ninguna solución de GC-AgNps con el mismo límite de detección en una placa. El control negativo fue nanopartículas diluidas en caldo y repartidas en una placa. El efecto microbicida (ME) se calculó con una tasa de reducción logarítmica de cada tratamiento siguiendo la fórmula $ME = \log V_c - \log V_t$, [20]. Donde V_c es el número de CFU como control positivo y V_t de experimentos. Por otro lado, la eficacia antibacteriana (ABE en%) de la muestra se calculó como el porcentaje de inhibición del crecimiento de bacterias después de la adición de nanopartículas $ABE = (V_c - V_t) / V_c \times 100$, [21]. Donde V_c fue el número de colonias bacterianas viables del control positivo y V_t , las colonias analizadas por cada tratamiento. Los cambios morfológicos después de la adición de nanopartículas de plata se observaron en microscopía TEM.

Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Se realizó ANOVA seguido de la prueba de Tukey-Kramer. Un valor de p inferior a 0,05 se consideró estadísticamente significativo. El análisis se realizó con el software OriginPro versión 8.0.

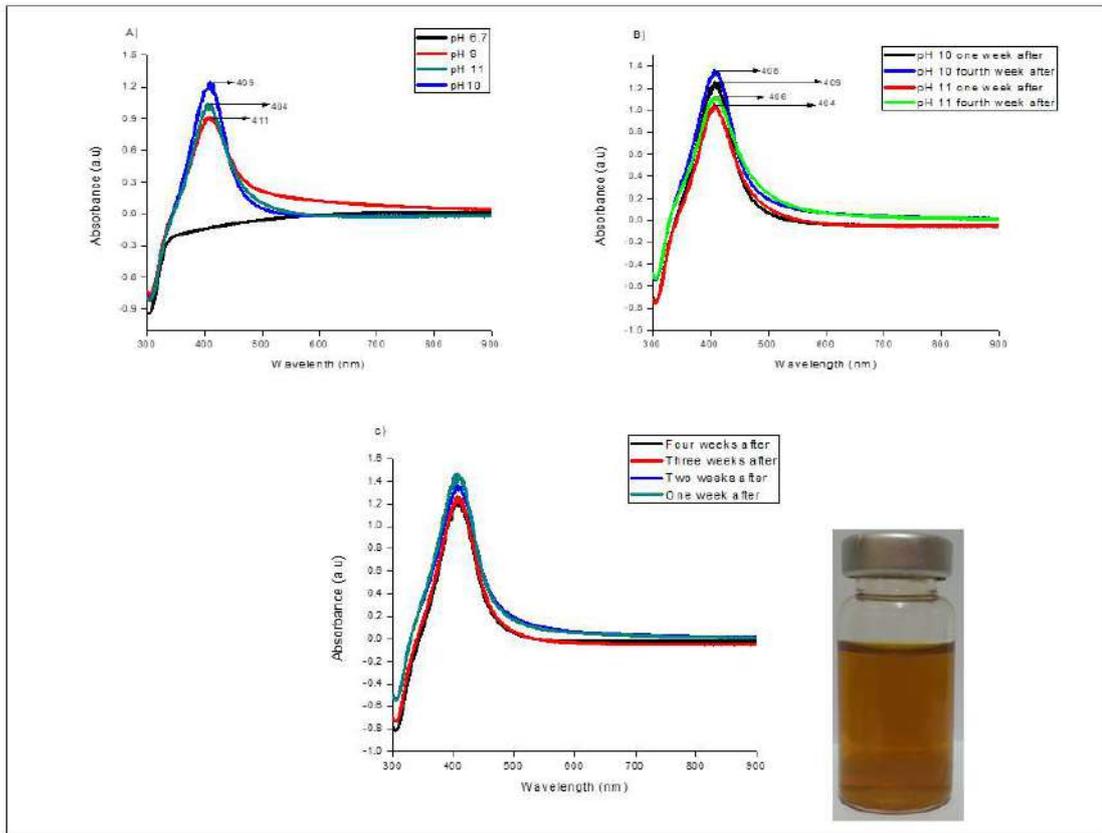
Resultados

La formación de AgNps con ácido gálico (CG-AgNps) requirió condiciones alcalinas (pH 11).

Análisis de Espectrofotometría UV-Visible

Para monitorear la estabilidad de los GC-AgNps, se midió los espectros de absorción SPR de los GC-AgNps (almacenados a 23–25 °C) durante 10 minutos, 7, 14, 21 y 28 días (**Fig. 1**). Estos picos se desplazaron de 411 nm a 406 nm, y su coloración fue amarillo como se muestra en la misma figura. demostrando interacción de plata Los espectros de absorción visual y UV-vis de las soluciones de GC-AgNps se mostraron en la Fig. 1. La banda SPR puede proporcionar información útil sobre la forma y el tamaño de las nanopartículas sintetizadas. Este rango sugiere la formación de AgNps son pequeños y esféricos [22]. El rango de banda estrecha indicó una distribución de tamaño reducido de AgNPs [23]. Los resultados fueron confirmados por el análisis DLS de 7 a 28 días.

Figura 1. Formación de GC AgNps y espectrofotometría UV-visible



Análisis DLS

La distribución del tamaño de partícula hidrodinámica de los GC-AgNps obtenidos de las mediciones de DLS se muestra en la Tabla 1. El tamaño promedio de los GC-AgNps durante 10 y 20 minutos de ultrasonidos por 7 días es 29.78 ± 10.2 nm y 54.90 ± 64.8 nm. **La Tabla 1** mostró claramente que el diámetro de GC-AgNps se incrementó al aumentar el tiempo de ultrasonido y el tiempo de incubación a temperatura ambiente. Por lo tanto, la muestra necesita únicamente 10 minutos de ultrasonido para mantener el quitosano como agente protector.

Tabla 1:

Diámetro y desviación estándar de la nanopartícula después de 28 días de estabilización en estudio DLS

Condición inicial	Diámetro de particular ($\mu \pm \sigma$)nm Tiempo: 7 días	Diámetro de particular ($\mu \pm \sigma$)nm Tiempo: 14 días	Diámetro de particular ($\mu \pm \sigma$)nm Tiempo: 21 días	Diámetro de particular ($\mu \pm \sigma$)nm Tiempo: 28 días
10 min ultrasonido	29.78 ± 10.2	31.2 ± 12.1	35.3 ± 16.1	46.5 ± 19.76
20 min ultrasonido	54.90 ± 64.8	51.50 ± 3.61	52.40 ± 3.93	58.60 ± 4.01

Microscopia TEM y SEM

Las propiedades de la superficie de las GC-AgNps se analizaron utilizando la técnica TEM y SEM. En la **Fig. 2(a-b)**, el análisis de TEM confirma que el Ácido gálico reducido AgNps es una forma esférica, bien dispersa y que tiene un tamaño promedio de 36.85 ± 10.44 nm. Pero después de agregar quitosano al ácido gálico reducido, el tamaño de partícula de GC-AgNps disminuyó ligeramente y el tamaño promedio observado fue de 29.78 ± 10.2 nm. Puede deberse a la estabilización de AgNps formando un recubrimiento externo de partículas con quitosano. **Fig 2 (c-d)**, la matriz de este biopolímero mantuvo una partícula monodispersa, prohibiendo la aglomeración, y evitó la oxidación de la superficie en el momento de la dilución en medio iónico en medios de cultivo. Por tanto, la estabilidad no cambió, ya que la nucleación mantenida de los átomos de plata y las partículas no se aglomeraron.

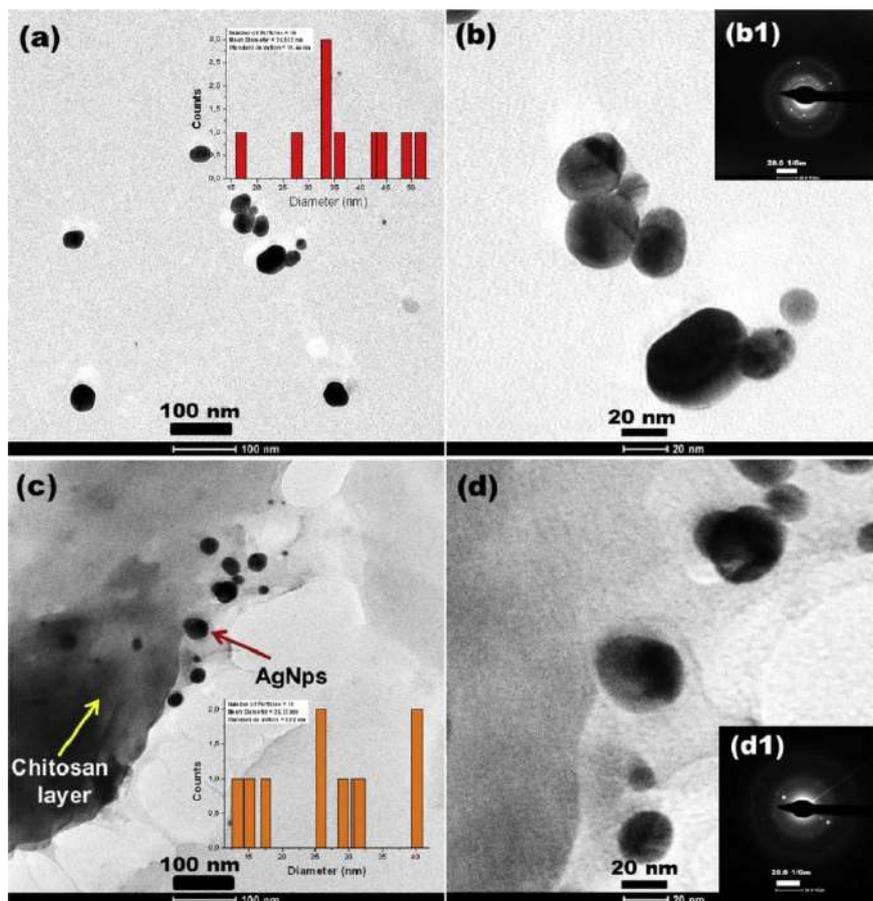
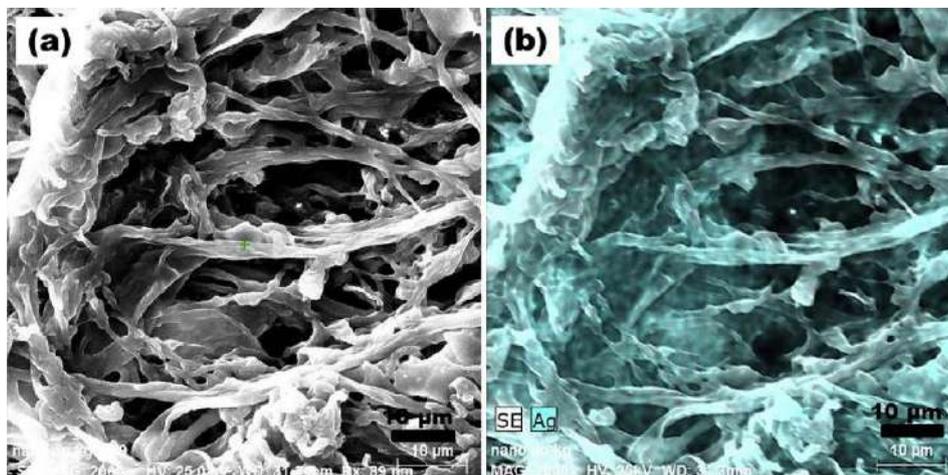


Figura 2. Microscopia electrónica TEM y tamaño de partícula. (a-b) AgNps utilizando ácido gálico. (c-d) AgNps cubiertas con el quitosano como agente protector.

Las imágenes SEM, incluido el mapeo EDX de GC-AgNps, se muestran en la **Fig. 3 (a, b)**. El color azul representa la existencia de GC-AgNps en la superficie del quitosano. Mostró claramente la presencia de plata metálica bien dispersa en forma GC-AgNps en la superficie del quitosano.

Figure 3. Microscopia electrónica SEM (a) GC-AgNps con matriz de quitosano (b) mapa elemental de la plata con el quitosano.



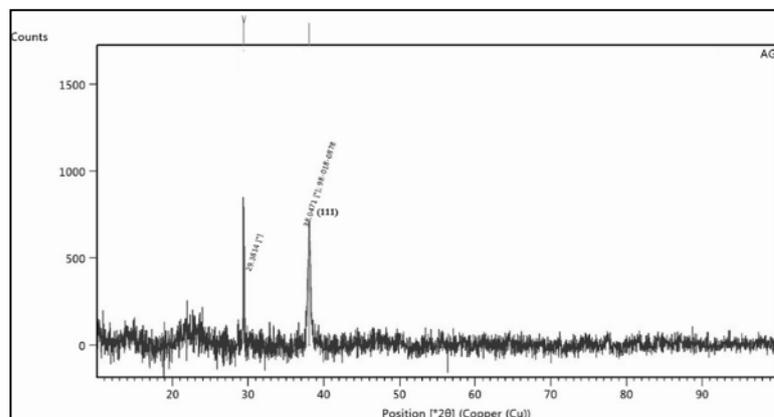
Análisis XRD y FTIR

Las propiedades estructurales de las nanopartículas se analizaron utilizando la técnica XRD. Como se muestra en la **Fig. 4**, los picos de XRD comunes producidos por el ácido gálico redujeron los AgNps y GC-AgNps a 38.04° correspondientes a los planos (111) de la estructura cúbica centrada de plata metálica (ICSD no: 98-018-0878)(**Tabla 2**). Pero a $2\theta = 29.36^\circ$, el pico no se identificó como metal Ag y puede que la fase bioorgánica en la superficie de la partícula debido a la baja cristalinidad del quitosano. Por lo tanto, se cree que esos residuos orgánicos contenidos en las muestras [24] parecen actuar como un agente de cobertura para promover el crecimiento de las nanopartículas.

Tabla 2:
Picos indexados en patrones XRD de nanopartículas sintetizadas con ácido gálico y quitosano.

Valores de posición pico 2θ ($^\circ$)	D Å referencia	$1000/d^2$	$1000xd^2/60.62$	hkl	Metal detectado
29.36	3.040	108.20	1.78	-	No identificada
38.04	2.359	179.69	3	111	Plata

Figure 4. Espectro XRD de GC-AgNps sintetizadas



El espectro FTIR proporcionan información sobre los grupos funcionales de las moléculas orgánicas que podrían unirse a la superficie de las nanopartículas. En dicho espectro, se muestra que la banda ancha a $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ corresponde a la vibración de estiramiento de los grupos $-\text{OH}$ y $-\text{NH}_2$ del ácido gálico y el quitosano. Además de eso, la banda alrededor de 599 y 509 cm^{-1} confirma la existencia de un enlace $\text{Ag} - \text{O}$ en las GC-AgNps. Por lo tanto, la posible estabilización de los grupos funcionales es mediante los grupos CH_2 y NH_3^+ según **Tabla 3** [25].

Tabla 3:

Grupos funcionales destacados en FTIR de GC-AgNps

Longitud de onda (cm^{-1})	Grupo funcional	Equivalente químico	Longitud de onda (cm^{-1})	Grupo funcional	Equivalente químico
3870	-	Residuos de Quitosano	1844	C=O S unión	Acil
3803	-	Residuos de Quitosano	1549	N-H unión	Amidas
3753	O-H AND N-H unión	Aminas, fenoles, ácidos orgánicos	1346	R-NO ₂ unión	Compuestos Nitro
3695	O-H unión	Alcohol y fenoles	992	=C-H unión	Alquenos
3535	N-H unión	Aminas	823	C-H unión	Compuestos Aromáticos
3271	C=O unión	Ácidos carboxílicos	763	C-H unión	Compuestos Aromáticos
2917	C-H unión	Alcanos	662	=C-H unión	Alquenos

Efectividad antimicrobiana

Se utilizó diferentes intervalos de tiempo para determinar si el efecto antibacteriano de GC-AgNps era bacteriostático o bactericida. La bacteriostática incluye eliminar y prevenir el crecimiento de bacterias dependiendo de las concentraciones del agente, cuyas acciones son reversibles. Mientras que el efecto bactericida incluye matar las bacterias, y sus acciones son irreversibles [26,27]. Se demostró que 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de la solución de nanopartículas puede eliminar bacterias Log CFU 7.5 en 15 min como se muestra en **Fig. 5. Toxicidad celular**

La toxicidad de las bacterias se observa en la **Fig. 6**. Se determinó que los GC-AgNPs no solo se unen a la membrana de peptidoglicano, pero también penetra en el protoplasma de las bacterias [28]. Se cree que el ADN pierde su capacidad de replicación y las proteínas celulares se inactivan con la plata (Ag°) y se une a los grupos funcionales, lo que resulta en la desnaturalización de proteínas [28].

Además, *E. coli* cuando están en contacto con GC-AgNps. Se especula que la barrera de lipopolisacáridos LPS puede ser completamente destruida. Se conoce que la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), siendo las más comunes, radicales de superóxido, hidroperoxilo, hidroxilo, óxido nítrico están relacionadas con el ahogamiento celular [29].

Figure 5. CFU viables en platos de agar. (a) (i) control positivo, (ii) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (iii) 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (iv) 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (v) 0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y (vi) 0.01 $\mu\text{g}/\text{mL}$. (b-c) Análisis Log CFU para determinación de eficiencia antimicrobiana con diferentes concentración de AgNps sintetizadas con ácido gálico y quitosano.

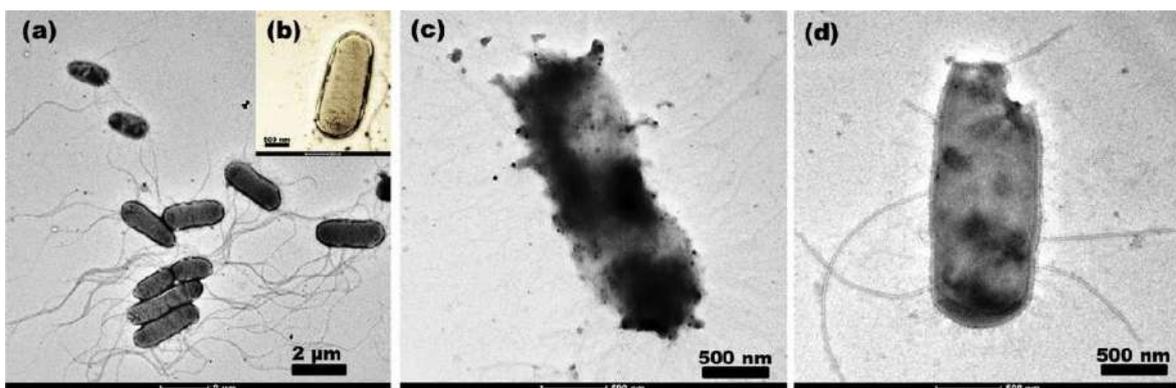
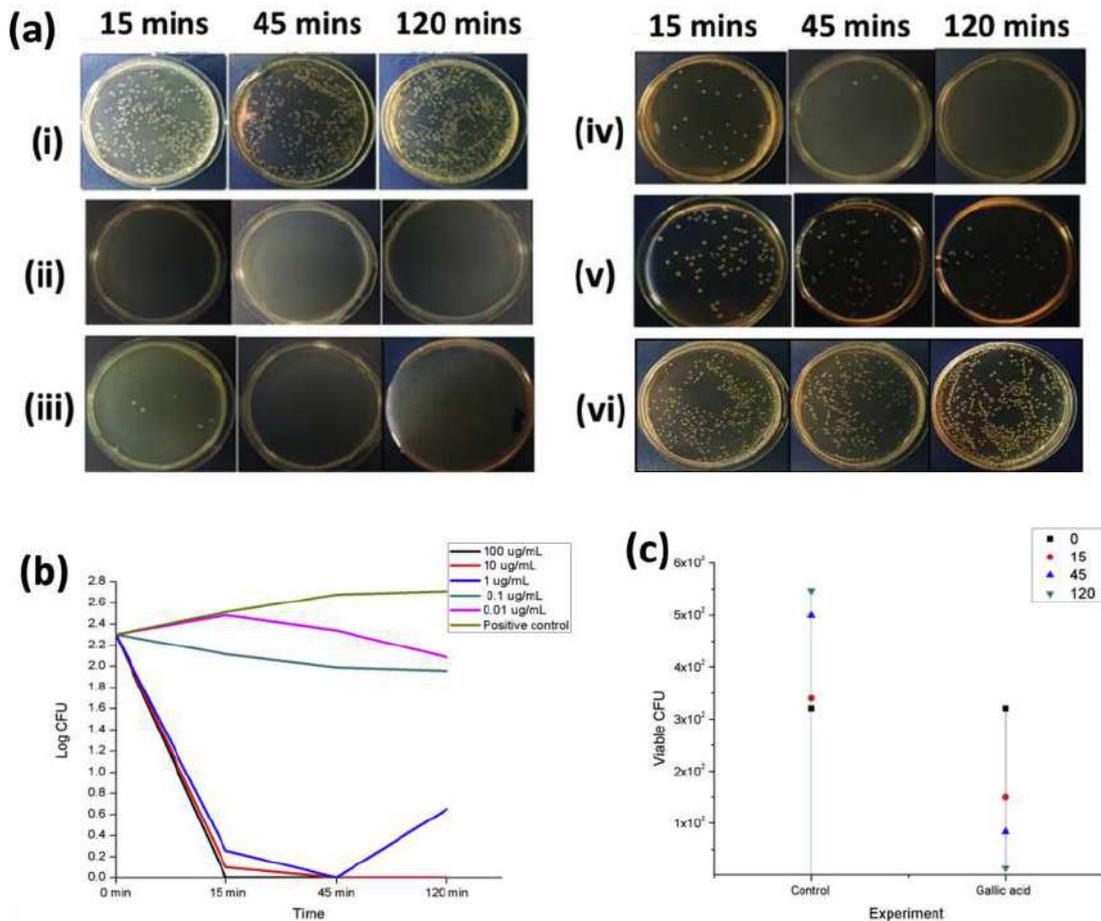


Figure 6. (a) control positivo, (b-c) Muerte celular después de la adición de GC-AgNPs



Conclusiones y Discusión

Los GC-AgNps sintetizados se han caracterizado por diferentes técnicas espectroscópicas y microscópicas, utilizando la aplicación de ultrasonido, mejorando el transporte total de masa entre el quitosano y el ácido gálico se ha podido caracterizar las nanopartículas de plata eco amigables con el ambiente [30].

La energía suministrada por ultrasonidos para descomponer los aglomerados de quitosano después de la reducción de los iones Ag^+ a Ag^0 fue efectiva para producir GC-AgNps esféricos de tamaño controlado de un tamaño promedio de 26.23 ± 9.92 nm. Además, también se sugiere que las GC-AgNps sintetizadas exhibieron potentes propiedades antibacterianas y efectos tóxicos contra *E. coli*.

Las nanopartículas a base de quitosano y ácido gálico, por otro lado, pueden tener un triple mecanismo de acción. El quitosano en sí mismo tiene actividad antimicrobiana [28] debido a sus propiedades catiónicas que causan la ruptura de la membrana, mientras que el ácido gálico presenta una resistencia a la oxidación. Claramente, estas nanopartículas tienen una combinación deseable para la eficacia antibacteriana, con baja toxicidad y fácil proceso de fabricación.

Referencias

- [1] J. Gebauert, J. Malissek, S. Sonja, S. Knauer, M. Maskos, M. Stauber, L. Treuel, Impact of the nanoparticle–protein corona on colloidal stability and protein structure, *Langmuir* (2012) 9673–9679.
- [2] B. Nowack, H. Krug, M. Height, 120 years of nanosilver history: implications for policy makers, *Environ. Sci. Technol.* 45 (4) (2011) 1177–1183.
- [3] L. Chi-Ming, C. Rong, Q. He, Y. Yu, H. Sun, P. Tam, C. Che, Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities, *J. Biol. Inorg. Chem.* (2007) 527–534.
- [4] C. Okkyoung, K. Deng, K. Nam Jung, L. Ross, R. Surampalli, Z. Hu, The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth, *Water Res.* (2008) 3066–3074.
- [5] M. Griffith, K. Udekwu, S. Gkotzis, T. Mah, E. Alarcon, Anti-microbiological and anti- infective activities of silver, *Silver Nanoparticle Applications*, Springer International Publishing Switzerland, New York, 2015, pp. 57–60 2015(2015).
- [6] D. Bragg, D. Rainiee, The effect of silver ions on the respiratory chain of *Escherichia coli*, *Microbiology* (2006) 883–889.
- [7] A. Slistan-Grijalva, R. Herrera-Urbina, J.F. Rivas-Silva, M. Ávalos-Borja, F.F. Castellón- Barraza, A. Posada-Amarillas, Synthesis of silver nanoparticles in a polyvinylpyrrolidone (PVP) paste, and their optical properties in a film and in ethylene glycol, *Mater. Res. Bull.* 43 (1) (2008) 90–96.
- [8] B. Kumar, K. Smita, L. Cumbal, A. Debut, R.N. Pathak, Sonochemical synthesis of silver nanoparticles using starch: a comparison, *Bioinorg. Chem. Appl.* (2014) 784268.
- [9] T. Mochochoko, O.S. Oluwafemi, D.N. Jumbam, S.P. Songca, Green synthesis of silver nanoparticles using cellulose extracted from an aquatic weed; water hyacinth, *Carbohydr. Polym.* 98 (2013) 290–294.
- [10] P. Kanmani, J.W. Rhim, Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle anti- microbial composite films, *Food Chem.* 148 (2014) 162–169.
- [11] B. Kumar, K. Smita, L. Cumbal, A. Debut, R.N. Pathak, Ionic liquid based silica tuned silver nanoparticles: novel approach for fabrication, *Synth. React. Inorg. Met. Nano Metal Chem.* 46 (2016) 1265–1271.
- [12] S. Kumar, P. Garg, S. Pandey, M. Kumari, S. Hoon, L.J. Jang, R. Kapavarapu, P.H. Choung, A.J.F.N. Sobral, J.H. Chung, Enhanced chitosan–DNA interaction by 2- acrylamido-2- methylpropane coupling for an efficient transfection in cancer cells, *J. Mater. Chem. B* 3 (2015) 3465–3475. X. Zhuang, X. Deng, B. Cheng, Microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles in alkaline carboxymethyl chitosan solution, *Engineering* (2010) 387–390.
- [13] S. Kumar, M. Kumari, M.A. Mallick, B.S. Swain, A.J.F.N. Sobral, P.K. Dutta, Preparation and characterization of microporous bionanocomposites for biomedical applications, *Asian Chitin J.* 11 (1) (2015) 23–26.
- [14] S. Kumar, J. Koh, Physicochemical and optical properties of chitosan based graphene oxide bionanocomposite, *Int. J. Biol. Macromol.* 70 (2014) 559–564.
- [15] S. Kumar, V. Deepak, M. Kumari, P.K. Dutta, Antibacterial activity of diisocyanate-modified chitosan for biomedical applications, *Int. J. Biol. Macromol.* 84 (2016) 349–353.
- [16] R. Cushing, V. Kolesnichenko, J. O’Connor, Recent advances in the liquid-phase

- syntheses of inorganic nanoparticles, *Chem. Rev.* (2014) 3893–3946.
- [17] C. Sonnichsen, M. Reinhard, J. Liphardt, A. Alivisatos, A molecular ruler based on plasmon coupling of single gold and silver nanoparticle, *Nat. Biotechnol.* (2005) 741–745.
- [18] S. Eckhardt, P.S. Brunetto, J. Gagnon, M. Priebe, B. Giese, K.M. Fromm, Nanobio silver: its interactions with peptides and Bacteria, and its uses in medicine, *Chem. Rev.* 113 (7) (2013) 4708–4754.
- [19] V. Saez, T. Mason, Sonoelectrochemical synthesis of nanoparticles, *Molecules* (2009) 4284–4299.
- [20] E. Tang, M. Huang, L. Lim, Ultrasonication of chitosan and chitosan nanoparticles, *Int. J. Pharm.* (2003) 103–114.
- [21] B. Kumar, K. Smita, L. Cumbal, A. Debut, Ultrasound agitated phytofabrication of pal- ladium nanoparticles using Andean blackberry leaf and its photocatalytic activity, *J. Saudi Chem. Soc.* (2015) 574–580.
- [22] S. Choubey, L. Varuhese, V. Kumar, V. Beniwal, L. Varuhese, Medicinal importance of gallic acid and its ester derivatives: a patent review, *Pharm. Future Sci.* (2015) 305–315.
- [23] D.Y. Young, J.S. Sung, M. Kim, G. Ghodake, Rapid production of silver nanoparticles at large-scale using gallic acid and their antibacterial assessment, *Mater. Lett.* 155 (2015) 62–64.
- [24] C.R. Arroyo, A. Debut, A.V. Vaca, S. Stael, K. Guzman, B. Kumar, L. Cumbal, Reliable tools for quantifying the morphological properties at the nanoscale, *Biol. Med. (Aligarh)* 8 (2016) 3, <https://doi.org/10.4172/0974-8369.1000281>) 2016.
- [25] B. Sadeghi, F. Garmaroudi, M. Hashemi, H. Nezhad, A. Nasrollahi, S. Ardalani, Comparison of the anti-bacterial activity on the nanosilver shapes: nanoparticles, na- norods and nanoplates, *Adv. Powder Technol.* (2012) 22–26.
- [26] M.K. Choudhary, J. Kataria, S. Sharma, Evaluation of the kinetic and catalytic properties of biogenically synthesized silver nanoparticles, *J. Clean. Prod.* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.201807.081> (in press).
- [27] N. Vigneshwaran, R.P. Nachane, R.H. Balasubramanya, P.V. Varadarajan, A novel one-pot ‘green’ synthesis of stable silver nanoparticles using soluble starch, *Carbohydr. Res.* 341 (2006) 2012–2018.
- [28] N. Nigam, S. Kumar, P.K. Dutta, T. Ghose, Preparation and characterization of chitosan based silver nanocomposites as bio-optical material, *Asian Chitin J.* 5 (2009) 97–100.
- [29] B. Kumar, K. Smita, L. Cumbal, A. Debut, *Ficus CARICA* (Fig) fruit mediated green synthesis of silver nanoparticles and its antioxidant activity: a comparison of thermal and ultra- sonication approach, *BioNanoSci.* 6 (2016) 15–21.
- [30] T.N.J. Immanuel Edison, R. Atchudan, M.G. Sethuraman, Y.R. Lee, Reductive-degradation of carcinogenic azo dyes using *ANACARDIUM OCCIDENTALE* testa derived silver nanoparticles, *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 162 (2016) 604–610.

Estimulación de Motricidad Fina con Videojuego en Paciente con Hemiparesia Izquierda

Fabricio Tipantocta^a, Flor Tipan^a, Edison Coral^a, Gladys Herrera^a, Geovanny Pacheco^a, Flavio López^b

^aCarrera de Electrónica Industrial, ^bCarrera de Electricidad Industrial
ftipantocta@tecnologicosucre.edu.ec, ftipan@tecnologicosucre.edu.ec,
ecoral@tecnologicosucre.edu.ec, gherrera@tecnologicosucre.edu.ec,
gpacheco@tecnologicosucre.edu.ec y flopez@tecnologicosucre.edu.ec
Instituto Superior Tecnológico Sucre, Quito, Ecuador

Resumen

El objetivo del proyecto es realizar un videojuego, adaptando un sistema electrónico en el brazo a un paciente con hemiparesia, y así estimular la motricidad fina en su extremidad superior izquierda aportando a su rehabilitación. Se realizó varios experimentos tomando datos de funcionamiento como son el número de puntos del jugador obtenidos en varias pruebas y realizando el análisis de movimiento en la extremidad afectada tanto en brazo como muñeca. Como resultado se observa el trabajo realizado por el brazo izquierdo que es el objetivo del proyecto. El videojuego al ser amigable por el ambiente de fantasía, incentiva el interés del paciente, haciendo que este le guste jugar con el sistema, obteniendo así un gusto por mover el brazo afectado, creando así nuevos caminos neuronales para el movimiento y estimulación de su motricidad fina.

Palabras claves: videojuego, biomecánica, hemiparesia, sistema de control.

Abstract

The objective of the project is to make a video game, adapting an electronic system in the arm to a patient with hemiparesis, and thus stimulate the fine motor in its left upper extremity contributing to its rehabilitation. Several experiments were carried out taking operational data such as the number of player points obtained in several tests and performing the analysis of movement in the affected limb in both arm and wrist. As a result, we can observe the work done by the left arm that is the objective of the project. The video game being friendly for the fantasy environment, encourages the interest of the patient, making him like to play with the system, thus obtaining a taste for moving the affected arm, thus creating new neuronal pathways for movement and stimulation of their motor skills fine.

Keywords: video game, biomechanics, hemiparesis, control system.

Introducción

La hemiparesia es definida como la debilidad o parálisis parcial de un lado del cuerpo y es provocado por un daño cerebral como por ejemplo un traumatismo craneocefálico (TCE) o insuficiente oxígeno al nacer y puede adquirir trastornos motores, sensoriales, conductuales e intelectuales. (Espin, 2014)(Echeverría, 2011) Para este proyecto se tomó en cuenta un niño de 6 años con hemiparesia izquierda, quien después de haber recibido un golpe en la cabeza al nacer produjo un coagulo de sangre lo cual originó dicha patología, el neurólogo de cabecera quien sigue con detenimiento el caso explica que esto ha ocasionado la imposibilidad en cuanto a la motricidad en las extremidades del lado izquierdo de forma parcial.

El proceso de rehabilitación depende del nivel de afectación en el sistema nervioso del paciente. Siempre que sea posible, los pacientes requieren una amplia variedad de servicios profesionales que demandan gran coordinación y esfuerzo con el fin de obtener los mejores resultados. (Gutierrez, Reyes, Tovar, Alzate, & Bohórquez, 2007) (Jover Torres, 2016) En el caso del paciente escogido, ha pasado por una serie de terapias para mejorar su condición física, pero en la actualidad únicamente asiste al programa de rehabilitación ocupacional donde se hace énfasis en la realización de tareas y actividades importantes en la vida diaria.

Existen diferentes técnicas en la rehabilitación ocupacional, una de ellas es el sistema "Mirror-Neuron". Esta técnica hace referencia a la estimulación del sistema nervioso en base al trabajo de aprendizaje por reflejo, el cual por medio de observación de actividades pretende que la persona afectada realice los mismos movimientos en brazos y piernas. (Yuan & Hoff, 2008)(Rizzolatti & Craighero, 2016) Tomando en cuenta este método de rehabilitación, y observando la preferencia del paciente por la tecnología digital como teléfonos celulares, tablets y televisión, se ideó la forma de que el paciente con hemiparesia, estimule el sistema motor del brazo izquierdo mediante la realización de un videojuego. (Universidad de Guadalajara, 2016) .

El objetivo del proyecto es realizar un videojuego, adaptando un sistema electrónico en el brazo a un paciente con hemiparesia, para estimular la motricidad fina en su extremidad superior izquierdo ayudando a su rehabilitación.

Metodología

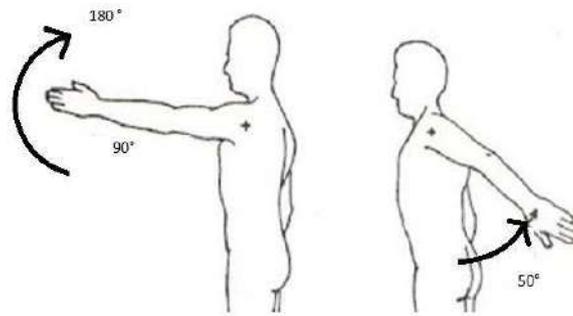
La metodología de esta investigación es aplicada y como técnica la experimentación, pues es necesario incluir sistemas electrónicos e informáticos para la realización del proyecto. En los siguientes apartados se explica cómo se realiza el proyecto.

A. Biomecánica del brazo

De las características de la hemiparesia, se desarrolla una disminución del tono muscular en el hemicuerpo afectado, que para el caso de análisis es el brazo izquierdo del paciente. Otra característica en casos severos es la espasticidad que afecta a ciertas cadenas musculares como los flexores del brazo, el cual presenta un patrón típico de aducción de hombro, flexión de codo, pronación de antebrazo, flexión de muñeca y dígitos con aducción del pulgar. (Murie-Fernández et al., 2012) En este caso, el paciente tendrá problemas como dolores musculares con el tiempo por falta de movilidad del brazo.

Según (Repetto, 2007) (Diaz-hernandez, 2017), el objetivo principal de la biomecánica es evaluar la relación entre el movimiento ejecutado y el gasto de energía implicado en su realización. Para el caso del proyecto se analiza el movimiento del brazo izquierdo como se muestra en la figura 1.

Fig. 1. Flexión- extensión del brazo izquierdo



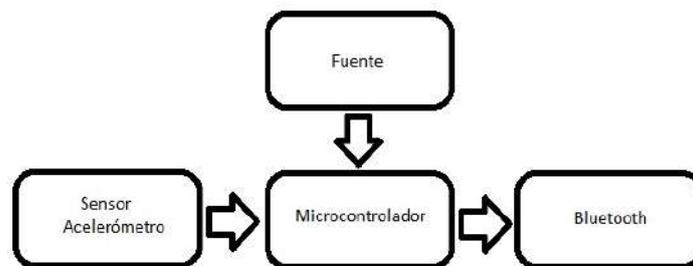
Este movimiento se conoce como flexión-extensión, el cual se encuentra en el plano sagital, en el eje transversal y la flexión llega hasta los 180° y la extensión esta entre 45 y 60°. (Diaz-hernandez, 2017) Sabiendo estas características se realiza un sistema electrónico adaptado a una banda elástica, que se sujeta al brazo izquierdo para que el paciente realice el movimiento de flexión de 90° a 180°; se explica en el siguiente apartado.

B. Sistema electrónico

C.

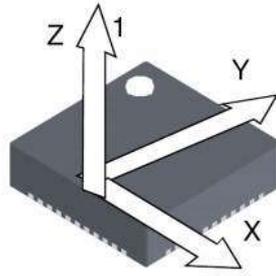
El sistema electrónico se diseñó en base al movimiento de flexión-extensión del brazo izquierdo del paciente, y se compone de cuatro partes fundamentales como son: 1) Sensor acelerómetro; 2) Microcontrolador; 3) Bluetooth y 4) Fuente de energía, esto se muestra en la figura 2.

Fig. 2. Sistema electrónico adaptado al brazo izquierdo.



El sistema se encuentra basado en el movimiento del brazo izquierdo, y un elemento sensor que permite caracterizar su orientación y aceleración en ejes de tres dimensiones, es el sensor acelerómetro, se muestra en la figura 3. (Parra, 2012)

Fig. 3. Dirección de los ejes de un acelerómetro de 3 ejes.



Gracias a la gravedad terrestre se puede usar las lecturas del acelerómetro para saber cuál es el ángulo de inclinación respecto al eje X y al eje Y (Alarcón Gacitúa, Lajo Carpio, & Quispe Ccachuco, 2013); y se puede determinar su inclinación con las siguientes fórmulas:

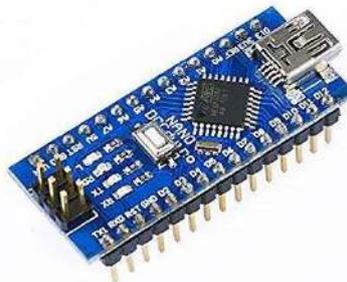
$$\text{AnguloY} = \text{atan} \left(\frac{x}{\sqrt{y^2+z^2}} \right) \quad (1)$$

$$\text{AnguloX} = \text{atan} \left(\frac{y}{\sqrt{x^2+z^2}} \right) \quad (2)$$

Cuando se adapta el acelerómetro al paciente, se puede conocer si al brazo izquierdo se encuentra trasladado en posición horizontal (90°) o tiene el brazo levantado (180°), esto representa el movimiento en el eje Y, y si el paciente rota su muñeca obtendrá valores entre (-90° y 90°), esto representa el movimiento en el eje X.

El acelerómetro escogido es el MPU6050, este elemento es netamente digital y sus lecturas pueden ser adquiridas con cualquier dispositivo que tenga el protocolo de comunicación I2C (Alarcón Gacitúa et al., 2013); para el caso del proyecto se escogió el microcontrolador Arduino Nano que tiene este recurso y se puede ver en la figura 4.

Fig. 4. Tarjeta de adquisición arduino nano



El proyecto está diseñado para recibir los datos del acelerómetro y lleguen por comunicación inalámbrica a la computadora; para ello se escogió el dispositivo HC05 que es un tranciver bluetooth y se conecta al microcontrolador retransmitiendo los datos recogidos, se puede ver en la figura 5.

*Fig. 5. Tranceiver bluetooth HC05



Conectados los dispositivos a una batería de 5 voltios, permiten enviar la información del movimiento del brazo izquierdo del paciente hacia la computadora.

C. Videojuegos con Unity

La industria de los videojuegos ha demostrado un impresionante crecimiento en los últimos años y países por ejemplo como España, que es el cuarto país europeo con más consumo de este tipo de entretenimiento y el sexto a nivel mundial demuestran su interés. (Universidad de Guadalajara, 2016) (Cuesta, Cuesta, & Rodríguez-Osorio, 2014) Por tal motivo se escogió este tipo de plataforma ya que el entretenimiento que brinda, causa gran interés en niños y adultos. (Aymerich Franch, 2013) En el caso del proyecto, el paciente con hemiparesia.

Unity es un motor de videojuegos multiplataforma, Figura 6, permite programar diferentes entornos con lenguajes de programación como javascript, boo y el que se usa en el proyecto C#, y sobre todo permite una interfaz gráfica para 2 y 3 dimensiones. (Fuentes, 2011)

Fig. 6. Motor de videojuegos multiplataforma Unity.



Para el diseño del videojuego adaptado al paciente, y teniendo presente su edad de 6 años, se crea un ambiente de fantasía en 2 dimensiones, en el cual se incorpora un jugador el cual tiene la capacidad de correr y saltar por el escenario creado, esto se muestra en la figura 7.

Fig. 7. Juego diseñado en Unity y adaptado al paciente.



Con base a programación en C#, se puede abrir puertos de comunicación conectados a la computadora para recibir datos, los cuales llegan a través del bluetooth que tiene la PC y es enviada la información desde la banda electrónica.

El juego tiene un único nivel, en el cual el jugador (paciente) no tiene un control remoto estándar, sino que con la banda adaptada al brazo y extendido a 90° empieza a transmitir la información de posición del brazo y empieza a jugar el usuario.

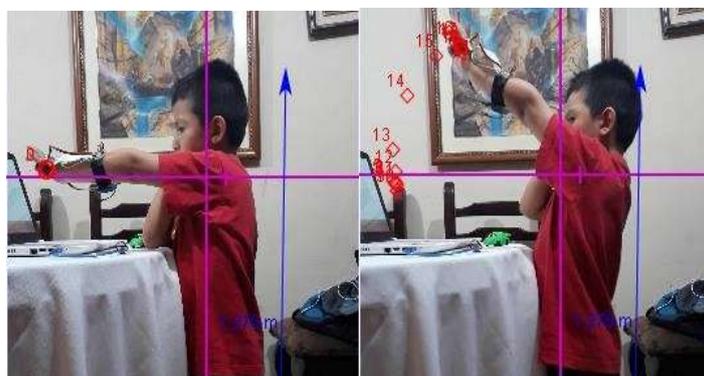
Por el movimiento del brazo, el jugador puede correr más rápido o más lento, trasladando el brazo de 90 a 180° y saltando cuando rota la muñeca desde 0 a 90°. Por consejos del neurólogo el juego debe ser controlado, para no crear síntomas secundarios que en algunos pacientes se generan como rasgos de epilepsia, máximo aconsejable 10 minutos.

Resultados y discusión

Iniciado el juego que se encuentra instalado en la computadora previamente y receptando la información del sistema de control, empieza a correr el jugador representado por un niño pequeño que debe cruzar un ambiente en movimiento.

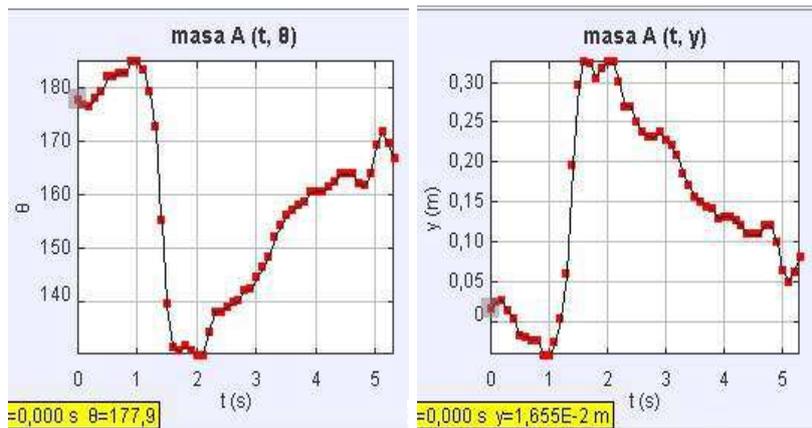
El sistema de referencia mostrado en la figura 8, parte del hombro del paciente, y colocando el brazo en una posición de 180°, marca el punto de partida a velocidad lenta de corrida. Para aumentar la velocidad del jugador se programó en el videojuego que, al cambiar la posición del brazo, en este caso levantándolo, la inclinación del sensor cambia aumentando así su velocidad.

Fig. 8. Movimiento del brazo, cambiando inclinación del sensor.



El niño estimula por sí mismo la motricidad fina con el movimiento del brazo izquierdo, ya que debe colocarlo a un ángulo de inclinación que dará como resultado la velocidad en la que le guste jugar. Con el software para análisis de movimiento Tracker, permite revisar cuadro a cuadro el movimiento del brazo y se nota en la mayoría de pruebas el ángulo de desplazamiento mínimo y máximo que el paciente trabaja y se encuentra entre 130° y 180° , y generalmente se queda jugando en un ángulo entre 160° y 170° como muestra la figura 9.

Fig. 9. Gráfica de posición angular del brazo izquierdo.



Adicionalmente, se implementó en el videojuego un personaje conocido como el enemigo, que aparece cada 10 segundos, caminando frente al jugador. El objetivo del jugador es pasar por encima del enemigo, dándole un punto por cada enemigo brincado, pero si no lo hace no recibe puntuación.

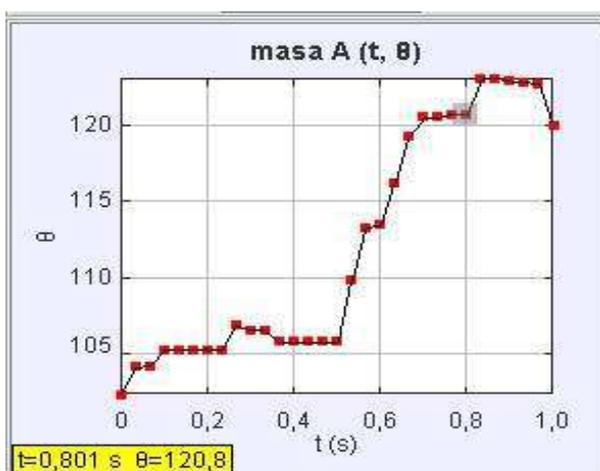
La forma de brincar del jugador fue implementada rotando la muñeca del paciente; el sensor acelerómetro capta el ángulo de inclinación al momento de rotar la mano, haciendo que este salte, esto se muestra en la figura 10.

Fig. 10. Rotación de la muñeca para salto del enemigo.



Dada la dificultad del paciente porque no puede rotar directamente la mano, él se ayuda con su otra extremidad para poder realizar el giro. Fue una desventaja para el paciente, pero se espera que con más tiempo lo haga por sí mismo. Con tracker se pudo realizar el análisis de la rotación de la mano y especificar en varios experimentos el ángulo de desplazamiento de la muñeca y lo realiza entre 90° y 130° , según el sistema de referencia escogido, esto se muestra en la figura.11

Fig. 11. Ángulo de rotación de la muñeca.



Tomando en cuenta las recomendaciones del neurólogo de no realizar pruebas demasiadas extensas, se tomó como parámetro estimar un tiempo de prueba de 5 minutos, y como máximo 5 pruebas por día, dado este parámetro y sabiendo que el enemigo sale cada 10 segundos se toma un estimado de 30 puntos si el paciente brincara todos, la tabla I muestra las pruebas en un día al azar.

Tabla 1

Pruebas de funcionamiento

Variable	Obs	Promedio	Std. Dev.	ConteoPuntos
P1	30	.3666667	.4901325	11
P2	30	.4	.4982729	12
P3	30	.5333333	.5074163	16
P4	30	.6666667	.4794633	20
P5	30	.6333333	.4901325	19

Como resultado en esta serie de experimentos, se muestra que entre la prueba 4 y la prueba 5 adquiere mayor experiencia, obteniendo un mayor puntaje. Se observa el trabajo realizado por el brazo izquierdo que es el objetivo del proyecto, estimulando así su motricidad.

Conclusiones

El videojuego al ser amigable por el ambiente de fantasía, incentiva el interés del paciente, haciendo que este le guste jugar con el sistema, obteniendo así un agrado por mover el brazo afectado, creando así nuevos caminos neuronales para el movimiento y estimulación de su motricidad fina.

Al finalizar las pruebas el brazo del niño terminaba cansado y se observó que la batería del sistema hacía contra peso en el miembro. Como conclusión final es que se puede mejorar el sistema electrónico colocando la batería no exactamente en el brazo sino en otra parte del cuerpo.

Referencias

- Alarcón Gacitúa, G. A., Lajo Carpio, D. A. F., & Quispe Ccachuco, M. (2013). Diseño de un Controlador PID con Interfaz Gráfica de Control para un Sistema de Equilibrio Bi-hélice. *11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 1–10. Retrieved from <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/StudentPapers/SP009.pdf>
- Aymerich Franch, L. (2013). La realidad virtual como herramienta de estudio de fenómenos psicológicos y sociales. *Orbis. Revista Científica Ciencias Humanas*.
- Cuesta, D. B., Cuesta, B. G., & Rodríguez-Osorio, J. J. (2014). Videojuego 3D en Unity destinado al aprendizaje del Alfabeto dactilológico, 1–162. Retrieved from [http://eprints.ucm.es/26491/1/ProjectNewDetroit_Tecnología e Implementación_Memoria_UCM.pdf](http://eprints.ucm.es/26491/1/ProjectNewDetroit_Tecnología_e_Implementación_Memoria_UCM.pdf)
- Díaz-hernandez, O. (2017). Un análisis cinemático del brazo humano para biomecánica, (September 2014).
- Echeverría, M. (2011). Hemiparesia izquierda secuela de un traumatismo craneoencefálico infantil. *Repo.Uta.Edu.Ec*, (1), 130. <https://doi.org/10.15517/ap.v29i119.18693>
- Espin, S. (2014). Hemiparesia izquierda a consecuencia de accidente de tránsito en adolescentes de 16 años. *Repo.Uta.Edu.Ec*, 115. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010789>.
- Fuentes, J. (2011). “ Diseño E Implementación De Un Videojuego Multiplayer Online , Utilizando El Motor Unity 3d”, 20–30.
- Gutierrez, D. J., Reyes, D. C. A., Tovar, D. M., Alzate, D. N., & Bohórquez, D. F. (2007). Rehabilitación En Trauma Craneoencefálico. *Convenio ISS- ASCOFAME*. <https://doi.org/10.1177/0149206315573998>
- Jover Torres, M. (2016). Rehabilitación del miembro superior mediante Terapia de movimiento inducido por restricción del lado sano en paciente neurológico., 30. Retrieved from [http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2988/1/JOVER TORRES, MIRIAM.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2988/1/JOVER_TORRES,_MIRIAM.pdf)
- Murie-Fernández, M., Carmona Iragui, M., Gnanakumar, V., Meyer, M., Foley, N., & Teasell, R. (2012). Hombro doloroso hemipléjico en pacientes con ictus: Causas y manejo. *Neurología*, 27(4), 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.02.010>
- Parra, S. (2012). Diseño e implementación de un sistema de control para robots bípedos (Vol. 6, pp. 1–11). Chile.
- Repetto, A. (2007). Bases biomecánicas para el análisis del movimiento humano. *Revista ITSS SUcre*, 201–210.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2016). The Mirror-Neuron System. *Family Medicine*, 48(9), 731. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Universidad de Guadalajara, C. L. (2016). El videojuego como herramienta educativa. *Apertura*, 8(1), 136–151. Retrieved from <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/825/539>
- Yuan, T. F., & Hoff, R. (2008). Mirror neuron system based therapy for emotional disorders. *Medical Hypotheses*, 71(5), 722–726. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2008.07.004>

Diseño e Implementación de un Polisomnógrafo, con Transmisión de datos Inalámbricos

Oscar Gómez a, Javier Cajas b, Darwin Cuasapaz c
 Tecnología en Electromecánica, b Tecnología en Electrónica, c Tecnología en
 Electricidad
 ogoomez@tecnologicosucre.edu.ec, ecajas@tecnologicosucre.edu.ec,
 dcuasapaz@tecnologicosucre.edu.ec
 Instituto Superior Tecnológico Sucre, Quito, Ecuador

Resumen

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un equipo de Polisomnografía, este equipo dispone de sensores para la adquisición de las señales Biofísicas y Bioeléctricas del cuerpo humano, las cuales se acondicionan para ser transmitidas inalámbricamente vía Bluetooth, permitiendo la visualización de los datos en un dispositivo móvil que contenga la plataforma Android. Estas señales ayudan en la detección de las enfermedades producidas durante las fases del sueño, como el SAHOS que es una enfermedad de ahogamiento de las personas mientras duermen, conocida como hipo apneas o apneas obstructoras del sueño, que son la principal causa de desarrollo de células cancerígenas en el cuerpo humano, debido a que se impide el paso necesario de oxígeno a las células. La metodología que se aplicó para esta investigación fue el método empírico por medio de la comparación de un equipo biomédico con certificación Internacional, para poder calibrar los datos y señales adquiridas por el polisomnógrafo diseñado.

La técnica que se utilizó fue de observación directa y análisis de campo para la interpretación de cada una de las señales Bioeléctricas.

Palabras claves: *Android, Bluetooth, Bioeléctricas, Polisomnografía, Microcontrolador, Sahos.*

Abstract

The present project consists of the design and construction of a Polysomnography team, this equipment has sensors for the acquisition of Biophysical and Bioelectric signals of the human body, which are conditioned to be transmitted wirelessly via Bluetooth, allowing the visualization of the data on a mobile device that contains the Android platform. These signals help in the detection of diseases produced during sleep phases, such as OSAHS, which is a drowning disease of people while they sleep, known as hiccups or obstructive sleep apnea, which are the main cause of cell development. cancerous in the human body, because the necessary passage of oxygen to the cells is prevented. The methodology that was applied for this research was the empirical method by means of the comparison of a biomedical equipment with International certification, to be able to calibrate the data and signals acquired by the designed polysomnograph.

The technique used was direct observation and field analysis for the interpretation of each of the Bioelectric signals.

Keywords: *Android, Bluetooth, Bioelectric, Polysomnography, Microcontroller, Sahos.*

Introducción

La Polisomnografía o estudio del sueño se la efectúa cuando el especialista sospecha que existe un trastorno del sueño debido a problemas fisiológicos o neurológicos, como la apnea; en la mayoría de casos, el paciente no la siente y es ahí que viene la gravedad de padecerla, porque la falta por oxígeno al cerebro durante un tiempo prolongado, puede producir ahogamiento.

La Biomédica, ha permitido el desarrollo de instrumentos para adquirir señales Biofísicas y Bioeléctricas del cuerpo humano, por tanto, es factible la construcción de un equipo biomédico para el tratamiento rutinario con reducción de Visitas al hospital, además con un servicio de altas prestaciones con transmisión inalámbrica.

Con esta investigación se construyó un equipo biomédico de Polisomnografía que facilite la comprensión y Reafirmación de conocimientos teóricos mediante la práctica bajo situaciones reales. El equipo adquiere señales Biofísicas y Bioeléctricas del cuerpo Humano como son:

La señal electrocardiográfica (ECG), Presión sanguínea, la saturación de oxígeno en la sangre (SPO2), y el volumen de aire en los pulmones.

Las señales obtenidas serán codificadas y transmitidas inalámbricamente en tiempo real a un dispositivo en donde serán decodificadas, para ser, visualizadas por un especialista, quien diagnostique las diferentes señales biofísicas.

En la Figura 1 se puede observar el diagrama de bloques del proyecto de investigación.

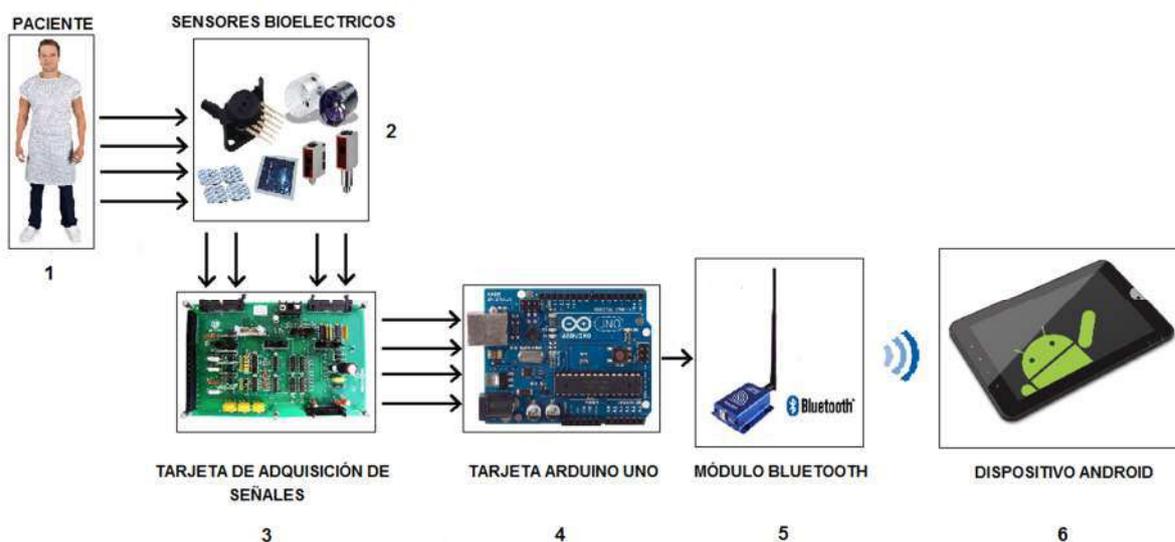


Figura1: Etapas de funcionamiento del equipo de polisomnografía.

Metodología

A partir de las experiencias recogidas por la comparación entre dos equipos biomédicos, una de ellas tiene certificaciones internacionales y el otro un equipo diseñado a partir de piezas más accesibles y económicas. Se ha podido determinar que los datos recibidos por el segundo equipo son similares a los del primero es decir que la aplicación de la instrumentación electrónica en aparatos biomédicos puede reemplazar a equipos de alto costo importados al país.

Fue necesaria la utilización de la investigación experimental, así como de la aplicada porque eran preciso contribuir con un dispositivo que ayudará con diagnósticos en el campo de trastorno del sueño.

Las técnicas utilizadas para recopilar datos son de observación directa y análisis de campo que permitieron levantar información valiosa para contestar con dudas sobre el funcionamiento del equipo.

Mediante la autorización del director del Hospital General de Latacunga de la Provincia de Cotopaxi, se pudo realizar las pruebas en 10 pacientes de diferente edad para validar el equipo diseñado.

Resultados

Para la validación del ECG se tomó 10 muestras del ritmo cardíaco (BPM) con 10 diferentes pacientes usando un equipo patrón BMC SleepCare y el equipo de Polisomnografía, teniendo los siguientes resultados, Tabla 1.

Tabla1:
Datos de ECG

#	Edad	Sexo	BPM POLISOMNOGRAFO	BPM equipo Patrón.	Err.
1	55	F	70	73	3
2	37	F	101	108	7
3	29	F	105	109	4
4	27	F	77	79	2
5	23	F	93	92	1
6	25	M	78	79	1
7	26	M	75	73	2
8	43	M	65	68	3
9	30	M	70	71	1
10	26	M	69	72	3
PROMEDIO					2.7%

Para validar el SPO2 se tomó 10 muestras con el equipo patrón BMC SleepCare y se procede a su calibración con el mismo, en la Tabla 2 se observa los datos adquiridos.

Tabla 2:
Datos del SPO2

#	edad	sexo	SPO2 POLISOMNOGRAFO	SPO2 equipo Patrón.	Err.
1	55	F	90.35%	89.70%	0.65
2	37	F	91.12%	90.102%	1.02
3	29	F	88.64%	88.102%	0.53
4	23	F	90.03%	95.82%	5.79
5	23	F	95.00%	96.65%	1.65
6	25	M	92.34%	92.80%	0.46
7	26	M	94.50%	94.02%	0.48
8	43	M	94.20%	93.80%	0.40
9	26	M	93.76%	93.01%	0.75
10	28	M	94.22%	93.90%	0.32
PROMEDIO					1.2%

Para la validación de la Presión Sanguínea se tomó 10 muestras de la presión sistólica y diastólica de 10 pacientes diferentes tomándoles la presión con el equipo patrón VOIC ARM BLOOD-PRESSUREMETER MODEL NO:FT-C21Y y comparándola con el equipo de Polisomnografía implementado, teniendo los siguientes resultados que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3:
Datos de la presión sanguínea.

#	Edad	Sexo	Sist.	Sist. Equipo patrón	Err.	Diast.	Diast. patrón	Err.
1	55	F	110	100	10	69	60	9
2	37	F	120	115	5	70	60	10
3	29	F	125	120	5	55	50	5
4	27	F	109	100	9	75	69	6
5	23	F	110	100	10	70	60	10
6	25	M	111	100	11	70	60	10
7	26	M	126	120	6	70	80	10
8	43	M	110	100	10	89	80	9
9	30	M	140	133	7	90	80	10
10	26	M	130	120	10	80	72	8
PROMEDIO					8.3	PROMEDIO		8.7%

Una vez implementado el espirómetro se procede a su calibración con el equipo patrón BMC SleepCare; se toman mediciones para la validación del Espirómetro comparándolas con la del equipo patrón. En la Tabla 4 se observa el resultado de las mediciones.

Tabla 4:

Datos del Espirómetro

#	Edad	Sexo	Espirómetro POLISOMNOGRAFO	Espirómetro equipo Patrón.	Err.
1	33		2030 cc	2034 cc	4
2	34		1997 cc	1990 cc	7
3	52		3980 cc	3983 cc	3
4	37		5700 cc	5709 cc	9
5	23		4789 cc	4784 cc	5
6	41		3890 cc	3898 cc	8
7	26		5953 cc	5955 cc	2
8	38		3945 cc	3940 cc	5
9	35		3678 cc	3679 cc	1
10	28		2987 cc	2990 cc	3
PROMEDIO					4.7%

Conclusiones

- El Polisomnógrafo, obtiene valores similares con respecto al equipo patrón obteniendo así errores mínimos en las mediciones de los diferentes pacientes.
- Las señales biofísicas, fueron acondicionadas a un rango de 0 a 5 voltios, que es el máximo voltaje que se permite a la entrada del microcontrolador ATmega328.
- Los valores medidos con el equipo diseñado tienen un 95,3% de efectividad con respecto a los instrumentos de los hospitales que se han empleado para obtener los resultados, debido principalmente a las tolerancias de los elementos pasivos utilizados y artefactos que se producen mediante la medición.
- El aumento en el orden de los filtros Butterworth y la implementación del filtro Notch disminuye notablemente el ruido de la señal del ECG y del Spo2.
- La medición del Spo2 varía según la pigmentación de la piel del paciente, mientras más oscura es, menor es el porcentaje de lectura de la muestra medida.

Referencias

Contreras, A. «Patologías del sueño,» Revista Médica, vol. 24, n° 3, p. 343, 2013.
Larrateguy.L, «Modalidades Respiratorias,» de Guía Esencial de Metodología en Ventilación Mecánica no Invasiva, Madrid, Médica Panamericana, 2010, pp. 239 - 240.

- Nogales, J. Donoso S., R. J. L. «Tratado de Neurología Clínica,» de Polisomnografía, Santiago, Universitaria, 2005, pp. 188 - 189.
- Tompkins, J. y Neter, F. «Electrocardiografía.es,» Señales Clínicas, s.f. s.f. 1993. [En línea]. Available: http://www.electrocardiografia.es/bases_datos.html [Último acceso: 5 Enero 2014].
- Davis, D. «Interpretación del Electrocardiograma su dominio rápido y exacto,» de Electrocardiograma, Buenos Aires, Panamericana. 2008, pp. 1 - 3.
- Hipertensión, «123rf,» Medidor de la Presión Arterial, s.f. s.f. s.f. [En línea]. Available: <http://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/hipertension.html>. [Último acceso: 2 septiembre 2014].
- Restrepo. G., H. B. R. U. S. O. U. R. «Polisomnografía en Psiquiatría,» de Psiquiatría Clínica, Bogotá, Médica Panamericana, 2008, p. 134.