

DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y CULTURAL

DESARROLLO Y REGULACIÓN DEL VOLTAJE DE UN
CONVERTIDOR BOOST PARA UN
SISTEMA FOTOVOLTAICO

MODELO PARA EL DESARROLLO
DE UN CLÚSTER
EN EL SECTOR DETALLISTA

MATEMÁTICAS BÁSICAS
EN IMPRESIÓN 3D

EL EXTRAÑO CASO DEL DOCTOR
JEKYLL Y EL SEÑOR HYDE

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA
CUENCA RÍO LOS PERROS, OAXACA

ANIMACIÓN Y TRAZO DE RAYOS
EN ÓPTICA GEOMÉTRICA CON
PROCESSING

CELDA SOLAR DE SnSe/CdS: EN BUSCA DE UNA MEJOR EFICIENCIA MEDIANTE SCAPS 1-D





REVISTA GENERAL UNISTMO

Publicación de la Universidad del Istmo • Oaxaca

REPRESENTANTES INSTITUCIONALES

MODESTO SEARA VÁZQUEZ
RECTOR

CORA SILVIA BONILLA CARREÓN
VICE-RECTORÍA ACADÉMICA

OSCAR CORTÉS OLIVARES
VICE-RECTORÍA ADMINISTRATIVA

DIRECTOR

ISAAC MONTOYA DE LOS SANTOS
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC

CONSEJO EDITORIAL

XAVIER MATHEW
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES,
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO

NINI ROSE MATHEWS
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES,
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO

MAYKEL COUREL PIEDRAHITA
CENTRO UNIVERSITARIO DE LOS VALLES,
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO

SILVER HAMILL TURREN CRUZ
INSTITUTO DE MATERIALES AVANZADOS,
UNIVERSITAT JAUME I, ESPAÑA

VÍCTOR IVÁN MORENO OLIVA
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

JAIME TORRES FRAGOSO
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS IXTEPEC, MÉXICO

EDUARDO CAMPOS MERCADO
CONACYT -UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

DANIEL PACHECO BAUTISTA
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

COMITÉ EDITORIAL
JUQUILA ARACELI GONZÁLEZ NOLASCO
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS IXTEPEC, MÉXICO

EDWIN ROMÁN HERNÁNDEZ
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

EDGAR LÓPEZ MARTÍNEZ
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

ANTONIO SALAZAR CAMPOS
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS IXTEPEC, MÉXICO

EDÚ ORTEGA IBARRA
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS JUCHITÁN, MÉXICO

DIRECCIÓN DE ARTE Y DISEÑO
PATRICIA LUNA GONZÁLEZ
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

VERSIÓN WEB

OMAR SANTIAGO NIEVA GARCÍA
UNIVERSIDAD DEL ISTMO, CAMPUS TEHUANTEPEC, MÉXICO

La Revista General UNISTMO, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad del Istmo, dedicada a divulgar y difundir contribuciones inéditas de tipo multidisciplinario, principalmente relacionadas con las Ciencias, la Tecnología y la Cultura. Universidad del Istmo, CAMPUS TEHUANTEPEC, Cd. Universitaria s/n, Barrio Santa Cruz Tagolaba, Cuarta Sección, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México. Tel. 01 (971) 522-4050, C.P. 70760 / CAMPUS IXTEPEC, Cd. Universitaria s/n, Carretera Ixtepec-Chihuitán, Ciudad Ixtepec, Oaxaca, México. Tel. 01 (971) 712-7050, C.P. 70110 / CAMPUS JUCHITÁN, Cd. Universitaria s/n, Carretera Transístmica Juchitán-La Ventosa, Km. 14 Tramo Juchitán - La Ventosa, Oaxaca, México., Tel. 01 (971) 712-7050, C.P.70102, www.unistmo.edu.mx, contacto_revista@sandunga.unistmo.edu.mx. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo (ISSN en trámite).

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la difusión. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la difusión sin previa autorización de la Universidad del Istmo.

UNIVERSIDAD DEL ISTMO

CAMPUS TEHUANTEPEC

- ▶ Ingeniería Química
- ▶ Ingeniería de Petróleos
- ▶ Ingeniería en Diseño
- ▶ Ingeniería Industrial
- ▶ Ingeniería en Computación
- ▶ Ingeniería en Energías Renovables
- ▶ Lic. en Matemáticas Aplicadas

CAMPUS IXTEPEC

- ▶ Lic. en Administración Pública
- ▶ Lic. en Informática
- ▶ Lic. en Derecho
- ▶ Lic. en Ciencias Empresariales

CAMPUS JUCHITÁN

- ▶ Lic. en Enfermería
- ▶ Lic. en Nutrición



**INSTITUCIÓN PÚBLICA DEL GOBIERNO
DEL ESTADO DE OAXACA**

www.unistmo.edu.mx



SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

El Seminario Permanente de Investigación y Divulgación Científica (SIDC) tiene el propósito de impulsar la actividad investigativa en el personal académico por medio de presentaciones semestrales de:

- Temas de investigación desarrollados
- Avances de proyectos de investigación, personal o grupal
- Temas de interés para la comunidad universitaria de profesores de la institución o profesionales externos

COORDINACIÓN:

Prof. Inv. Martha Lis Garrido Cardona (Campus Tehuantepec)

Prof. Inv. Edú Ortega Ibarra (Campus Juchitán)

Prof. Inv. Antonio Salazar Campos (Campus Ixtepec)

CARTA EDITORIAL

BIENVENIDA

En la segunda década del siglo XXI se inicia con desafíos que requieren de aplicación práctica del conocimiento. Para ello, la Universidad del Istmo comienza con la difusión del conocimiento multidisciplinario tales como: ciencias, tecnología, humanidades, artes y áreas afines a la institución mediante la “**Revista General Unistmo**” que busca posicionarse en la comunidad académica y científica como un medio de consulta sobre avances y resultados de investigación aplicada. Esta segunda edición, se adhiere a estándares nacionales e internacionales sobre publicaciones científicas periódicas (cuatrimestral) que permitirá generar valor agregado a la región con los avances presentados de la comunidad académica.

Se agradece la colaboración a quienes han contribuido en este volumen, a través de trabajos inéditos y de alto impacto. Así mismo, se invita a la comunidad académica, científica y áreas afines a someter sus trabajos en forma de Artículos, Ensayos, Notas, Fronteras de la Ciencia y Reseñas bibliográficas para su potencial publicación.

Sus aportaciones serán recibidas al correo:
contacto.revista.unistmo@gmail.com

¡Gracias por su atención!
Atentamente,
Dirección de la Revista General Unistmo



CONTENIDO

01

ARTÍCULO
Clúster empresarial



Modelo para el desarrollo de un Clúster en el sector detallista.

Pág. 10

02

ARTÍCULO
Matemáticas



Matemáticas básicas en impresión 3D.

Pág. 32

03

ARTÍCULO
Energía Solar



Desarrollo y regulación del voltaje de un convertidor boost para un sistema fotovoltaico.

Pág. 48

04

ARTÍCULO
Energía solar



Celda solar de SnSe/CdS: En busca de una mejor eficiencia mediante SCAPS1-D.

Pág. 62

05

ARTÍCULO
Física



Animación y trazo de rayos en óptica geométrica con processing.

Pág. 72

06

ARTÍCULO
Medio ambiente



Características ambientales de la cuenca Río los Perros, Oaxaca.

Pág. 84

07

RESEÑA
Literatura



El extraño caso del doctor Jekyll y el señor Hyde.

Pág. 106

CAMPUS IXTEPEC



● Salas de cómputo



● Cafetería



● Auditorio





Edificio de profesores



Centro de idiomas



Biblioteca





MODELO PARA EL DESARROLLO DE UN CLÚSTER EN EL SECTOR DETALLISTA

RESUMEN

La Integradora de Abarroteros Cajemeses (IACSA) localizada en Ciudad Obregón, Sonora, surge en la perspectiva de que empresas del giro abarrotero colaboren de forma conjunta a través de alianzas entre empresas proveedoras y de servicios. La finalidad de la colaboración es generar un clima propicio para la generación de establecer un clúster abarrotero que logre identificar las necesidades de su comunidad interna y externa, minimice debilidades contribuya con acciones sociales que beneficie a sus clientes, gobierno, personal de la integradora y proveedores. La cooperación empresarial en el sector abarrotero es un problema de gestión del modelo de negocio que implica identificar las brechas entre un enfoque de negocio que logre valor a sus clientes y un negocio que debe replantear su esquema empresarial para lograr mejoras en cada área organizacional, así mismo, se presentan los principales resultados obtenidos del estudio de colaboración empresarial con el objetivo diseñar un modelo de cooperación empresarial que permita orientar la competitividad del sector abarrotero mediante la integración de un clúster a mediano plazo.

ABSTRACT

Integradora de Abarroteros Cajemeses (IACSA) located in Ciudad Obregón, Sonora, arises from the perspective that companies in the grocery business collaborate jointly through alliances between supplier and service companies. The purpose of the collaboration is to generate a favorable climate for the generation of establishing a grocery cluster that manages to identify the needs of its internal and external community, minimize weaknesses and contribute with social actions that benefit its clients, government, staff of the integrator and suppliers. Business cooperation in the grocery sector is a business model management pro-

blem that involves identifying the gaps between a business approach that achieves value for its customers and a business that must rethink its business scheme to achieve improvements in each organizational area. The main results obtained from the business collaboration study are presented with the aim of designing a business cooperation model that allows guiding the competitiveness of the grocery sector through the integration of a cluster in the medium term.

Palabras Clave: (Clúster; Agrupamiento empresarial; Desarrollo regional; Especialización)

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los estudios clave para comparar la riqueza de una nación con otras naciones se encuentra en el tratado sobre la naturaleza y causas de riqueza de las naciones, su argumento se basa en que los países deben de especializarse en la concentración de productos para poder intercambiar estos mismo por otros productos a un menor costo, así mismo, informes elaborados por organismos internacionales señalan diferencia de ingresos entre regiones, haciendo una diferencia entre los recursos naturales e intangibles como parte de la distribución de riqueza y bienestar sugieren integrar una medición del bienestar incluyendo lo intangible con lo tangible (Banco Mundial, 2014), de lo anterior existen ventajas que determinan el crecimiento y/o desarrollo de una nación mediante el uso intensivo de bienes, servicios, tierra, trabajo ó capital.

En la literatura relacionada con las ventajas comparativas y absolutas de una nación, (Ricardo, 2013) hace énfasis en la especialización de bienes o servi-

cios que puedan producir de manera más eficiente logrando con ello el incremento de la productividad, siendo que la ventaja comparativa, es la diferencia entre los factores tierra, mano de obra y capital donde entre más abundante es su factor menor es su costo, misma aseveración, fue realizada por (Bajona & Kehoe 2010). Para que un país sea próspero es importante la industrialización en productos o servicios que buscan fomentar la libre competencia, sin embargo, una industrialización altamente tecnificada no puede llevar a una sociedad a su bienestar, ya que existen otros elementos que permiten la interacción entre clientes, proveedores, servicios complementarios en forma de agrupamiento denominado clúster.

(Chávez & García 2015) establecen que un clúster es un sistema al que pertenecen empresas y ramas industriales que establecen vínculos de interdependencia funcional para el desarrollo de sus procesos productivos obteniendo determinados productos o servicios. Por otro lado, Porter (2004) hace mención de que un clúster es una concentración geográfica

Salazar Campos Antonio^{a*}
e-mail: asalazar@bianni.unistmo.edu.mx

^a Ciencias Empresariales, Campus Ixtepec, Universidad del Istmo.

de negocios, proveedores y asociaciones en un campo particular, por otro lado, (Bernardez 2005) identifica elementos de una cadena de valor a través del desarrollo de clientes e ideas que se han establecido desde la era industrial, por ejemplo empresas como Ford Motor Company que basan la elaboración de productos competitivos, producidos a través de procesos en líneas de ensamblaje creando un mercado para sus productos, por medio de una visión sistemática.

Existe evidencia empírica que permite identificar procesos de agrupamiento empresarial alrededor de la especialización de regiones, tratan de determinar las características de un distrito industrial modelo (Rabellotti, 1997; 1995) (Martin & Sunley, 2003) que se ocupan del concepto de clúster, pasando por los estudios sobre áreas innovadoras (Amara, Landry y Ouimet, 2005), que toma como sinónimos intercambiables a los distritos industriales, clúster y áreas innovadoras, si bien es cierto, el factor de competencia entre áreas geográficas con abundante recursos naturales, capital social y nuevos modelos de negocios es intensa, el efecto devastador que resienten las regiones por el proceso de globalización está generando incertidumbre tanto en los sectores industriales primarios como en los sectores tradicionales, por lo que es necesario lograr conjugar los beneficios de la libre competencia en entornos de alta competitividad, promoviendo esfuerzos entre los actores locales para desarrollar ventajas competitivas en empresas o industrias, compartiendo costos y beneficios por medio de la cooperación empresarial.

En relación a lo anterior, (Capó et al., 2007) presentan una serie de elementos alrededor del concepto de competitividad del territorio, que se forman a partir de un conjunto de factores del entorno socioeconómico local que condicionan de manera decisiva la rentabilidad de las empresas instaladas, tanto la competitividad del territorio como el agrupamiento empresarial se relación por la calidad de infraestructura económica, factores medioambientales, características de la sociedad, el atractivo de la calidad de

vida o dotación de servicios a la población basado en el concepto de capital social que se requieren para impulsar modelos de producción con beneficios en el corto plazo, así mismo, si la competitividad del territorio no complementa al agrupamiento empresarial las organizaciones tienden a no adecuarse a esos cambios, perdiendo oportunidades de desarrollo tanto en capitalización como en capital humano.

Características de los ecosistemas

(Alburquerque, 2006) especifica que al incrementarse la productividad no solo es dependiente de factores de producción (trabajo, recursos naturales, capital, tecnología), sino también de la forma como estos factores son organizados o combinados al interior de los procesos de producción y áreas geográficas a través de un grado de organización socio-territorial al interior de la cadena productiva. De acuerdo a lo anterior, (Becattini, 2004) menciona que la organización de los proyectos de integración productiva de los procesos de organización socio-territorial, no puede aislarse, solo pueden acelerar o retardar la evolución de la productividad generada por las relaciones estrictamente económicas, claro está, que en ciertos países la estructura de la industria es un factor determinante para lograr desarrollar valor agregado a los consumidores.

(Baumol, et al., 2007) establecen que existen una serie de ecosistemas en los sectores tecnológicos que permiten el desarrollo de los países mediante su estructura económica, basados en la comercialización de productos y servicios que impactan en el desempeño del crecimiento económico. A su vez (Bernárdez, 2008), hace una comparación del índice que mide la desigualdad social en los ecosistemas guiados por el estado y oligárquicos; estos, tienden a una correlación negativa de bajo salario y el ingreso per cápita se concentran en sectores industriales de estructura monopólica y duopólica. Por otro lado, existe una correlación positiva siempre y cuando los ecosistemas sean emprendedores o de grandes firmas.

A su vez, en los ecosistemas de negocios se tiende a modificar la estructura para el desarrollo de actividades empresariales; por un lado, hay cierto tipo de ecosistemas como son los oligárquicos y transnacionales donde las decisiones son rápidas, existe abundancia de recursos, nulo clima de innovación, además de que están guiados por negocios tradicionales. Por otro lado, existen ecosistemas relacionados con el modelo emprendedor donde el clima de innovación es alto por lo que el individuo tiende a mejorar su bienestar, según lo mencionado por (Bernárdez, 2008)

Experiencia de agrupamiento empresarial

La asociación de bloques comerciales ha impulsado el uso intensivo de tecnologías de información al interior de los sistemas empresariales para fomentarla competitividad en costos de producción. Para ello, el agrupamiento de factores entre empresas, instituciones y servicios financieros pueden originar riqueza sustentable en regiones predeterminadas basadas en la cooperación. En regiones emergentes, como la región Sur Sonora, las condiciones para la cooperación como lo es la evolución de la cultura, nula infraestructura e intereses de grupos, así como el subdesarrollo económico, son determinantes para el desarrollo sustentable de la creación de riqueza en integración del talento humano en actividades empresariales, (Jacobo et al., 2008).

El desarrollo de un clúster explica los agrupamientos industriales competitivos que se encuentran relacionados con las industrias inmobiliarias, de producción, comercial o de servicios en ciertos países europeos, así mismo, el que existan los agrupamientos empresariales son una característica fundamental de países con economías desarrolladas donde el uso intensivo de la tecnología como factor clave en la competitividad de las empresas que promueven el

crecimiento de la producción, encadenamientos productivos, administración de la innovación, subcontratación y cooperación para estimular nuevas áreas de negocio.

A su vez, (Lansiti, M. & Levien, R., 2004) establecen que la dinámica de los ecosistemas es una realidad en las empresas de tecnologías siendo su analogía exacta los ecosistemas naturales y biológicos donde, si el ecosistema es fuerte, el ser vivo tiende a sobrevivir, evolucionando a una escala superior; por otro lado, si el ecosistema es débil, el ser vivo tiende a desaparecer, por lo que a través de la medición del desempeño se pueden establecer estrategias e

interconexiones por las cuales existen dominadores o equilibradores del ecosistema a desarrollarse.

En ecosistemas de negocio con una estructura industrial tecnológica el impacto cultura define las variables y reglas del juego logrando que un clúster se integre a los mercados internacionales generando costos bajos, subcontratación, intercambio de información y el desarrollo del aprendizaje tecnológico, fomentando la transferencia de conocimiento.

La evidencia empírica demuestra que existen tres tipos de clúster clasificados por (Bianchi, 1997) para el caso de Italia:

1. Embrionarios: su orientación son los mercados locales enfocándose en el sur de Italia.
2. Consolidados: su proceso de innovación promueve minimizar costos al interior de las empresas agrupadas.
3. Maduros: tienden a desarrollar alianzas estratégicas para la innovación con el exterior.

Para los tres tipos de clúster, existe una necesidad de cooperar con diferentes regiones de Italia para operar en un mercado global, mediante la participación de las instituciones tanto del estado como privadas.

DE ACUERDO A
BIANCHI, EXISTEN
TRES TIPOS DE CLÚSTER
CLASIFICADOS:
EMBRIONARIOS,
CONSOLIDADOS Y
MADUROS.

En esa lógica (Altenburg & Meyer-Stamer, 1999) proponen una serie de características distintas de clúster para América Latina:

a) Supervivencia: se componen por microempresas desarrollando negocios en áreas pobres.

b) Clúster proveedores: se caracterizan por la escasa innovación tecnológica, adquiriendo tecnología y maquinaria avanzada de sus proveedores.

Perspectiva de la industria al detalle.

Durante los últimos 15 años, la industria de comercio al detalle y consumo ha experimentado grandes cambios y avances; un cambio que se atribuye a diversos factores como el crecimiento de la economía, el aumento en el consumo, los avances de la tecnología, entre otros. El entorno actual en el que se desarrollan estas industrias es altamente dinámico, lo que ha propiciado una gran cantidad de fusiones y adquisiciones con el fin de fortalecer sus estrategias de mercado.

En Chile la industria de comercio al detalle ha tenido un fuerte crecimiento, las ventas aumentaron en 2007 un 5%. El crecimiento acumulado en estos últimos años distingue a Chile por liderar las ventas de comercio al menudeo per cápita en América Latina, pero situándose lejos de aquellas naciones desarrolladas, lo que se presenta como uno de los desafíos en la industria. Este crecimiento también ha incentivado la apertura en la bolsa y la internacionalización, la incursión en países de la región ha sido exitosa, destacándose la presencia en Argentina, Perú, México y Colombia, (Deloitte, 2015)

De acuerdo al informe de la industria del comercio al detalle que muestra (McKinsey&Company, 2015), menciona que durante el año 2015 se presentaron cambios relacionados con la industria, pocos formatos de comercio al detalle continuaron con el rápido crecimiento experimentado hasta ahora y prácticamente todos crecieron a una tasa mucho menor convirtiéndose en una industria que se concentró en ofrecer productos a consumidores selectivos, en vez



de productos masivos. Por un lado, se generó mayor desarrollo tecnológico mediante el aumento del gasto en servicios por sobre el gasto en productos, por lo que el formato de supermercados masivo perdió terreno debido a que los consumidores buscaron centros comerciales con características propias del cliente. Todos estos cambios requirieron de especialistas en diferentes disciplinas, que diseñaron estrategias adecuadas para enfrentar los retos de una economía globalizada y cada vez más competitiva.

Las compañías del sector de gran consumo y distribución están desarrollando su actividad en un entorno económico mucho más complejo y volátil que el de etapas anteriores. En este contexto, las actuaciones más comunes en las compañías del sector se centran en la transformación de los procesos de negocio y la defensa del margen operativo.

Así mismo, el sector detallista presenta una deficiencia estructural por la falta de integración comercial de los proveedores sonorenses con el grande comercio. Eso origina que Sonora deje de captar los beneficios del comercio para el desarrollo del propio Estado, lo que conlleva a dejar de invertir en nuevas empresas y generar empleos. A lo anterior se asocian otro tipo de efectos desfavorables para el desarrollo comercial del Estado como la desaparición gradual de la clase empresarial comercial sonorenses, la pérdida del liderazgo estatal comercial y la pérdida de niveles de rentabilidad comercial de empresas locales, (Asociación Nacional de Abarroteros Mayoristas, 2011)

Además, de acuerdo al análisis del Instituto Nacional del Emprendedor (2014) la situación contrastante de los pequeños comercios, quienes no cuentan con capital para apoyar su desarrollo, no tienen acceso al financiamiento formal, carecen de una preparación y modernización de sus negocios, sus estructuras de precios no son competitivas y utilizan estrategias y sistemas de comercialización tradicionales, aunque con las ventajas de ser quienes más cerca están del cliente y de estar situados geográficamente donde se consumen sus productos.

Objetivo

a) Diseñar un modelo de cooperación empresarial que permita orientar la competitividad del sector abarrotero mediante la integración de un clúster a mediano plazo.

La cooperación empresarial no es un intercambio de bienes ó servicios (Douard & Heitz 2003), es un acuerdo de trabajo de dos ó más empresas con personalidad jurídica distinta para generar sinergias en la realización de un proceso de generación valor abarcando solo una parte de la totalidad de actividades que desarrolla la empresa.

Por ello es importante establecer un equilibrio entre la relación de las empresas, de manera que haga posible la cooperación mediante la relación, para enriquecer la experiencia y el aprendizaje, este balance puede ser equiparable a la elasticidad que puede existir en las redes de cooperación, como lo sugiere (Sebastián, 2000). En relación a lo anterior sugiere que al establecer vínculos de cooperación se pueden tener acceso a diversas fuentes de capital, negociar condiciones de pago favorables mediante alianzas, así como presentar inversiones conjuntas sin necesidad que las empresas adquieran mayor deuda ó pierdan rentabilidad.

Por lo tanto, se plantea el siguiente problema:

¿Cómo gestionar la cooperación empresarial del sector detallista en el municipio de Cajeme?

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente apartado muestra la forma en que se realizó el trabajo de investigación, los participantes que intervinieron directamente, así como el material y procedimiento para realizar el estudio descriptivo.

Tipo de investigación

Durante el proceso de la presente investigación de tipo descriptiva, se identifica en la caracterización del agrupamiento empresarial denominado IACSA a través de identificar las situaciones, que por medio de la descripción exacta de las actividades, objetos,

procesos y personas. No se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen, así mismo, se obtienen datos que identifican indicios de cooperación empresarial, así como identificar y analizar los resultados, a fin de presentar el modelo de cooperación empresarial de IACSA.

Sujetos

La empresa integradora denominada IACSA que de acuerdo a las siglas es Integradora de Abarroteros Cajemenses es una organización formada por empresas abarroteras con la finalidad de contribuir al crecimiento de los socios, competir con precios en el mercado regional, facilitando el acceso a mejores oportunidades de negocios con proveedores de mercancías, insumos, servicios y tecnología por medio de una imagen más atractiva hacia un segmento de clientes amplios. Según Covarrubias (2007) en su estudio de factibilidad económica para la formación de una empresa integradora de abarroteros, menciona los siguientes objetivos que destacan:

1. Consolidar su presencia en el mercado con estándares de calidad que les permita competir con las cadenas comerciales tradicionales.
2. Mayor capacidad de negociación mediante compras en volumen para reducir costos.
3. Optimizar recursos financieros, técnicos y humanos mediante la especialización de actividades.

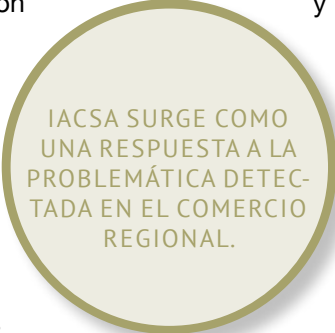
IACSA surge como una respuesta a la problemática detectada en el comercio regional donde la entrada de cadenas comerciales, el intermediarismo y el cierre de negocios abarroteros han generado la eliminación de fuentes de empleo familiar en el sector además de un bajo desempeño en el sector abarrotero.

Para llevar a cabo la presente investigación la Integradora de Abarroteros Cajemenses (IACSA) de Ciudad Obregón, proporcionó una lista de negocios

abarroteros que colaboran comprando productos al interior de la comercializadora. La invitación fue realizada por la mesa directiva de IACSA a 50 empresas del giro abarrotero de las cuales sólo 30 empresas aceptaron participar, ésta fue la muestra utilizada para el estudio de enero del 2018 – marzo del 2018. Las empresas en las cuales se realizó el estudio se encuentran en diferentes zonas geográficas de Ciudad Obregón, Sonora,

Los abarrotes tienen entre 1 y 15 empleados, la persona responsable de brindar la información sobre el tema de agrupamiento empresarial, en la mayoría de los casos fue el propietario quienes tienen entre 1 y 20 años de antigüedad en la empresa, además participaron el personal responsable de las compras y atención al cliente dentro del abarrotes.

El perfil de la persona responsable de los abarrotes donde se aplicó el cuestionario se encuentra como socios dentro de la Integradora de Abarroteros Cajemenses son de sexo masculino, tienen un rango de edad de 25 a 60 años, su escolaridad es de preparatoria y universidad concluida y su nivel socioeconómico clase C y D, (INEGI, 2014).



IACSA SURGE COMO
UNA RESPUESTA A LA
PROBLEMÁTICA DETEC-
TADA EN EL COMERCIO
REGIONAL.

3. MATERIALES

Para el presente estudio, se adaptó el instrumento utilizado por el IKEI (Research&Consultancy, 2015) para el sector de fabricantes de equipos y componentes de automoción y se desarrolla una comparación con el estudio de estrategia de cooperación de la industria metalmecánica del sureste de Coahuila elaborado por Baltazar, et al., (2010).

En primera instancia, en el estudio elaborado por la consultora IKEI (Research&Consultancy, 2015) hacen mención a los modelos de cooperación empresarial usados en el sector de fabricantes de equipos y componentes de automoción así como el instrumento que evalúa la cooperación para validar la interacción de las empresas agrupadas dentro de un clúster, este mismo instrumento indica las caracte-



rísticas distintivas de la cooperación las cuales son que las empresas que acuerdan objetivos comunes permanecen independientes después de la finalización del acuerdo, los socios comparten los beneficios y/o rendimientos de las tareas asignadas dentro del acuerdo, además los socios contribuyen continuamente a diversas tareas organizacionales.

4. RESULTADOS

En la primera parte se presentan aspectos relacionados sobre el origen y razones conocimiento y razones de impulsar una iniciativa de agrupamiento en el sector abarrotero.

La segunda parte está dividida en diez apartados; forma jurídica, ambiente geográfico, número de empresas pertenecientes al agrupamiento abarrotero, tipología de empresas socias y relación con centro de investigación o académico además de distribución de tamaño, facturación entre las empresas asociadas, sentido de pertenencia y orientación estratégica del clúster.

La tercera parte de los resultados está relacionada con los servicios, los cuales se encuentran relaciona-

dos con el agrupamiento de empresas abarroteras, buenas prácticas entre las empresas asociadas y relaciones comerciales entre las mismas empresas.

La cuarta parte presenta resultados relacionados con aspectos de financiamiento y recursos disponibles, por último, en el apartado final se concentra las perspectivas futuras de la colaboración entre abarroteros.

Diagnóstico

Los resultados que se presentan son producto de las 30 empresas encuestadas, dedicadas al sector abarrotero distribuidas en diferentes puntos geográficos de Ciudad Obregón Sonora.

Acerca del grado de conocimiento de inicio del clúster, los participantes de las empresas abarroteras han tenido contacto con los socios fundadores y conocen los inicios, además para el grado de conocimiento de inicio de la Integradora de Abarroteros Cajemenses, las encuestas arrojaron resultados positivos acerca del conocimiento de los socios del inicio de operaciones de IACSA, sin embargo, hace falta identificar los inicios de IACSA mediante una se-

rie de reuniones con sus asociadas ya que el 10% no tiene conocimiento de los inicios de la agrupación lo que puede afectar la dinámica de cooperación.

Se resalta que el inicio de la cooperación entre empresas del mismo sector es para fomentar las alianzas correspondientes y mejorar el nivel competitivo de las empresas con un resultado del 47.3% donde se requiere fortalecer las negociaciones con proveedores.

Otro de los aspectos que destacan es la promoción para que las empresas propias minoristas de productos de consumo abarroteros con un 70%, lo anterior se debe a que existen empresas abarroteras que requieren de gestión tanto de ofertas como de marca de productos para posicionarlos frente a sus consumidores.

Las relaciones entre los miembros que conforman IACSA es de tipo informal con un 69.6% frente a las relaciones formales entre sus asociados con un 30.4 lo que conlleva que establezcan medios de cooperación implícita entre sus miembros. Así mismo, el 80% de los asociados si tienen identificada la estructura

jurídica de IACSA.

Para potenciar los negocios entre sus socios el 100% conoce el ámbito geográfico donde se desarrollan las actividades comerciales de la IACSA.

Así mismo el 100% de las empresas integradas colaboran para desarrollar sus negocios y generar efectividad operacional en el desarrollo de actividades comerciales.

El 55% de las empresas asociadas son abarroteras y 17% de servicios esto es debido a la configuración de la comercializadora de productos minoristas.

El 100% respondió afirmativamente que existe interacción con otras empresas e instituciones académicas para el desarrollo de sus actividades comerciales, la misma configuración de IACSA de atraer empresas abarroteras son determinantes para el tamaño que se concentra en las pequeñas con menos de 50 empleados con un 85% y las medianas con un 15%, a su vez, el volumen de facturación está determinado por un 33% que factura mayor que el promedio total de las empresas integradas.

El mercado al cuál van dirigido las empresas es in-



terno con un 100% de participación de las empresas abarroteras y la cooperación entre socios genera un resultado del 90% de las empresas con un sentido de pertenencia.

Por otro lado, los principales servicios y actividades del clúster tienden a desarrollar alianzas con empresas de servicios para la promoción, negociación y posicionamiento de cada empresa.

Así mismo, los resultados obtenidos en el catálogo de servicios ofertados por IACSA sobresalen los servicios relacionados con la difusión de información en un 30% así como las actividades dentro de IACSA en un 20%, además las principales actividades realizadas en el último año se destacan las compras directas con productores, la generación de nuevos servicios empresariales, así como la integración de más socios y talleres de capacitación. Otro punto a destacar es la existencia de buenas prácticas donde sobresale un 70% de encuestados por parte de los integrantes de IACSA entre las cuales se mencionan la visita que se realizan mensualmente a los socios, así como las reuniones mensuales.

Así mismo, se destaca en un 50% el desarrollo de redes de colaboración por parte de los asociados de IACSA para impulsar las negociaciones de compra venta de productos minoristas y principales beneficios de la colaboración entre empresas en un 30% para generar la visibilidad de las empresas en el sector abarrotero.

El financiamiento y los recursos disponibles no ha tenido un impacto positivo debido a las condiciones de las políticas públicas para dar soporte a las actividades diarias de la operatividad, además de que no existe una política de clúster que beneficie a la región, por un lado, IACSA cuenta con instalaciones y presupuesto para su operatividad las fuentes de financiamiento son relacionadas en un 70% con las cuotas de socios y los servicios representan un 30%.

Finalmente, las perspectivas futuras de la cooperación de IACSA están basados en el sentido de pertenencia de los socios de la integradora para posicionar la negociación productos abarroteros entre

los proveedores del sector detallista, así como la entrada de nuevos socios al desarrollo de IACSA para desarrollar mejoras en la gestión administrativa tanto a nivel empresarial como operativo.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en un formato estructurado que se utilizó para el análisis de datos anterior.

a. Resultados sobre grado de conocimiento de inicio del clúster

1. Grado de conocimiento sobre como inicia el agrupamiento.

Una de las preguntas clave que se presentó para la realización del estudio fue el grado de conocimiento del inicio del agrupamiento abarrotero dentro de la Integradora de Abarroteros Cajemenses, en donde todos los encuestados tienen conocimiento, sin embargo, el 36.6% posee conocimiento alto y el 30% tienen un conocimiento medio, solo el 10% tienen un conocimiento bajo debido a que iniciaron operaciones administrativas después de la formación de la integradora. (Ver tabla 1).

Tabla 1

Grado de conocimiento	Frecuencia	Porcentaje
Muy alto	7	23.33
Alto	11	36.66
Medio	9	30
Bajo	3	10
Total	30	6

^b Fuente: Elaboración Propia.

2. Grado de importancia impulso de la iniciativa de agrupamiento dentro del sector abarrotero.

Los resultados muestran que para impulsar el agrupamiento el 47.3% de las empresas encuestadas tienden a mejorar el nivel de competitividad, un 19.4% mejorar la promoción exterior de las empresas, otra importancia de impulsar un agrupamiento es

que el 13.7% menciono el aprovechamiento de apoyos del gobierno, un 12.3% fortalecer el área administrativa del negocio y solo un 7.3 tiende a mencionar razones como la familia, el crecimiento en ventas del negocio y las reuniones entre los socios para impulsar un agrupamiento de abarroteros. (Ver tabla 2).

Tabla 2

Importancia	Porcentaje
Aprovechar la existencia de apoyos desde el gobierno.	13.7
Mejorar el nivel de competitividad	47.3
Mejorar la promoción exterior de las empresas.	19.4
Fortalecer el área administrativa del negocio propio.	12.3
Otras razones.	7.3
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

3. Atributo de mayor importancia que le asigna a cada uno de los siguientes promotores.

Los atributos proporcionan información para identificar la forma en cómo se desarrolla la promoción del clúster para identificar elementos que expliquen su propia evolución.

Tabla 3

Importancia	Porcentaje
Administración pública nacional.	0.0
Administración pública regional/local.	0.0
Empresas propias minoristas de productos de consumo abarroteros.	70
Empresa integradora de comercio abarrotero.	30
Otros agentes (explicar:).	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

Uno de los atributos de mayor relevancia para el agrupamiento abarrotero es que al impulsar una iniciativa la relevancia de la promoción se encuentra que un 70% indica a las empresas minoristas de consumo abarrotero y un 30% la empresa integradora.

4. El grado de importancia entre los nexos y/o relaciones con anterioridad al nacimiento de la iniciativa de clúster entre sus miembros.

Uno de los aspectos más relevantes que se destacan al interior de la tabla 4 es que el 69.6% de las empresas menciona que había una relación entre los miembros desde antes que se formara la Integradora de Abarroteros y un 30.4% no había tenido relaciones interpersonales entre sus miembros.

Tabla 4

Importancia	Porcentaje
Si, de tipo formal.	30.4
Sí, de tipo informal.	69.6
No existían.	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia

b. Resultados sobre grado de conocimiento de inicio de la Integradora de Abarroteros.

1. En relación a la estructura jurídica del clúster IACSA

El 80% de las empresas si conocen la estructura jurídica de la Integradora de Abarroteros mientras que un 20% no conoce la identidad jurídica.

Tabla 5

Importancia	Porcentaje
Si, de tipo formal.	30.4
Sí, de tipo informal.	69.6
No existían.	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

2. Identificar el entorno geográfico

El 100% de las empresas encuestadas si conocen la ubicación de los negocios y de la integradora.

Tabla 6

Ámbito Geográfico	Porcentaje
Si.	100
No.	0.0
Total	100

b Fuente: Elaboración Propia.

3. Conocimiento del número de empresas que pertenecen al clúster (socios) y evolución en los últimos cinco-diez años en el número de asociados.

Las empresas asociadas si están colaborando en forma de clúster lo que permite según el resultado de un 100% es establecer los lineamientos de la colaboración para lograr resultados grupales.

Tabla 7 Pertenencia de socios de acuerdo a la evolución de IACSA

Número de empresas integradas al clúster	Porcentaje
Si.	100
No.	0.0
Total	100

b Fuente: Elaboración Propia

c. Grado de tipología de las empresas actualmente socias del clúster abarroteros IACSA.

1. Conformación del clúster.

La conformación del clúster se encuentra orientada por las empresas abarroteras en un 55% y de servicios en un 17% lo que nos indica una proporción de promoción en base a las empresas que han iniciado con el agrupamiento y la interacción de empresas que ofrecen servicios diversos dentro de la Integra-

dora, así mismo, se tiene un 27% de empresas relacionadas con servicios logísticos.

Tabla 8 Grado de tipología para la promoción del clúster.

Tipología	Porcentaje
Empresas abarroteras.	5.7
Empresas de servicios.	17.0
Centros de formación.	0.0
Servicios avanzados a las empresas (logística, transporte).	27.3
Otras empresas	0.0
Total	100

b Fuente: Elaboración Propia.

2. En el caso de que entre las empresas actualmente socias del clúster se encuentre alguna empresa de servicios, alguna institución de Investigación o un centro de formación.

En los resultados de la tabla 9 se observan que entre las empresas asociadas también se encuentran otros tipos de empresas con distinto giro que no representan a las empresas abarroteras, por lo que existe interrelación con otras entidades cooperando de forma interdependiente.

Tabla 9 Empresas que proveen servicios

Empresa asociada	Porcentaje
Si.	100
No.	0.0
Total	100

b Fuente: Elaboración Propia.

3. Grado de importancia de la distribución por tamaño empresarial de las empresas socias de la Integradora de Abarroteros Cajemenses.

La distribución entre las empresas se concentra



en las pequeñas con menos de 50 empleados con un 85% y las medianas con un 15%, la gran mayoría de las empresas integradas son empresas pequeñas por lo que su flexibilidad les da mayor autonomía para tomar decisiones, (ver tabla 10).

Tabla 10 Grado de importancia de la distribución del tamaño de las empresas.

Importancia	Porcentaje
Pequeña empresa (< 50 empleados).	85
Mediana Empresa (50< >250 empleados).	15
Gran empresa (>250 empleados).	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

4. *Identifica el número de socios dentro del agrupamiento empresarial que tienen un volumen de facturación en ventas mayor al promedio del número de socios*

Aun cuando las empresas no tienen un tamaño grande existe un 33% que factura mayor que el promedio total de las empresas integradas, lo que indica una actividad comercial mayor, (ver tabla 11).

Tabla 11. Número de socios con volumen de ventas mayor.

Empresa asociada	Porcentaje
Si.	33.0
No.	67.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

5. *Grado de la orientación preponderante del agrupamiento hacia el mercado interno o externo.*

La tabla 12 indica que las empresas están orientadas al mercado interno con su comercialización regional con un 100%, el mercado externo no se tiene contemplado en el largo plazo porque su orientación no es exportadora.

Tabla 12 Orientación al mercado.

Orientación	Porcentaje
Mercado interno regional.	100.0
Mercado externo regional.	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

6. Existe una concepción compartida de cooperación y pertenencia a él entre las empresas pertenecientes a la Integradora de Abarroteros.

Si existe un sentido de pertenencia del 90% entre los socios lo que facilita la cooperación entre las mismas para el desarrollo de negocios, aun así, el 10% no tiene ese sentido de pertenencia por lo que la causa es que son empresas recién integradas, (ver tabla 13).

Tabla 13 Sentido de pertenencia a la cooperación.

Cooperación	Porcentaje
Si.	90.0
No.	10.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

d. Principales servicios y actividades de la Integradora de Abarroteros Cajemenses.

1. Catálogo de servicios ofertados por el clúster a sus asociados en los últimos dos años.

De acuerdo a la tabla 14, los principales servicios que se ofrecen son el 30% en la difusión de información de interés a sus asociados, en un 20% las actividades de representantes hacia los intereses de la integradora, en un 10% para las mejoras de condiciones de compra de la integradora, en un 15% en apoyo a la comercialización interna de las mismas empresas y solo un 5% está dedicado a las tareas de formación de las empresas.

Tabla 14 Servicios ofrecidos a sus asociados.

Servicios	Porcentaje
Actividades de representación de los intereses dentro de la Integradora de Abarroteros.	20.0
Difusión de información de interés para los asociados.	30.0
Actividades de difusión de información sobre las empresas pertenecientes a la Integradora de Abarroteros.	15.0
Actividades de I+D e innovación.	0.0
Mejora de las condiciones de las compras.	10.0
Apoyo a la comercialización (presencia en ferias, actividades de marketing, etc)	15.0
Apoyo a la mejora de la gestión empresarial	0.0
Tareas de Formación	5.0
Apoyo a la internacionalización (comercial/productiva)	0.0
Apoyo a la logística	0.0
Mejoras medio-ambientales	0.0
Otros servicios (detallar)	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

1. Explicación de las principales actividades realizadas por la Integradora de Abarroteros en el último año.

De acuerdo a las respuestas obtenidas por parte de los socios de las empresas integradas, las principales actividades realizadas en el último año se des-

tacan las compras directas a productores, la generación de nuevos servicios empresariales, así como la integración de más socios y talleres de capacitación.

2. *Existe una actividad/servicio concreto ofertado por su clúster que, a su juicio, pueda calificarse como de “buena práctica” o que usted considere es especialmente valorado por los asociados de IACSA.*

En la tabla 15, se muestran que, si existen buenas prácticas por parte de los integrantes de IACSA en un 70%, sin embargo, un 30% menciona que no hay buenas prácticas.

Tabla 15 Valoración de buenas prácticas.

Buenas practicas	Porcentaje
Si.	70.0
No.	30.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

3. *¿Podría mencionar alguna buena práctica?*

Los socios destacan entre las buenas prácticas organizacionales la visita que se realizan mensualmente, así como las reuniones mensuales.

4. *Indique el grado de los principales beneficios percibidos por los asociados del clúster y derivados de su pertenencia al mismo.*

La tabla 16 indica los principales beneficios de la colaboración entre empresas tales como en un 30% la visibilidad de las empresas en relación a la promoción que se desarrolla constantemente, otro de los beneficios que se destacan está en un 15% la mejora de los procesos, productos y servicios de las empresas participantes, sin embargo en un 50% sobresale la colaboración en redes de las distintas empresas, lo anterior muestra que existe colaboración entre las empresas para el desarrollo de actividades de negocios y promoción.

Tabla 16 Grado de los principales beneficios.

Beneficios	Porcentaje
Mayor visibilidad/promoción de las empresas participantes.	30.0
Mejora de los procesos, productos y servicios de las empresas participantes.	15.5
Acceso a recursos externos.	5.5
Establecimiento de nexos, participación en redes con otras empresas.	50.0
Otros beneficios.	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

e. Financiamiento y recursos disponibles

1. *Identifica el presupuesto total de IACSA*

En relación a las actividades de financiamiento de la Integradora de Abarroteros Cajemenses, un 40% de las empresas integradas mencionan que el presupuesto es menor a 50,000.00 y un 60% indica que el presupuesto de operación está entre \$50,000.00 y \$250,000.00, (ver tabla 17).

Tabla 17 Presupuesto de la Integradora de Abarroteros.

Presupuesto	Porcentaje
(< \$50,000.00).	40.0
(\$50,000.00<=>\$250,000.00)	60.0
(>\$250,000.00).	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

1. *Por favor indique el número total de personas empleadas por la Integradora de Abarroteros Cajemenses.*

El personal que labora en IACSA es de 15 personas.

2. Instalaciones propias de IACSA

En relación a los resultados mostrados en la tabla 18, el 100% de las empresas integradas mencionan que si tienen instalaciones propias para desarrollar sus actividades de comercialización y operativas.

Tabla 18. Instalaciones propias

Instalaciones	Porcentaje
Si.	100.0
No.	0.0
Total	100

^b Fuente: Elaboración Propia.

3. Por favor señale las principales fuentes de financiación para el clúster.

La tabla 18 muestra que las fuentes de financiamiento son relacionadas en un 70% con las cuotas de socios y los servicios representan un 30%, esto es que no tienen financiamiento público dependiendo de los socios para sus actividades.

Tabla 18 Fuentes de financiamiento.

Grado de conocimiento	Porcentaje Si	Porcentaje No
Administración Pública Nacional /Administración Pública Regional	0.0	0.0
Cuotas de socios	70.0	0.0
Servicios ofertados por el clúster	30.0	0.0
Otros	0.0	0.0
Total	100	0.0

^b Fuente: Elaboración Propia.

4. Fuente de financiación plica para la Integradora de Abarroteros.

La tabla 19 muestra que el 100% de las empresas integradas no tiene un financiamiento público para sus actividades.

Tabla 19 Fuentes de financiamiento.

Financiamiento público	Porcentaje
Si.	0.0
No.	100.0
Total	100.0

^b Fuente: Elaboración Propia.

f. Perspectivas futuras de la cooperación

1. Por favor señale cuales son a su juicio los principales retos a los que se enfrenta la Integradora de Abarroteros Cajemenses en los próximos años.

Los socios indican a la cooperación como la unión entre ellos mismos, la capacidad de negociación y el acceso a financiamiento público como retos para el desarrollo a largo plazo de la comercialización.

2. Otras consideraciones/elementos que usted quiera añadir

Por otro lado, se añade la capacidad de la compra que se requiere aumentar la comercialización de productos abarroteros, a esto mismo, es importante destacar que para que exista un mayor poder de compra se debe de promover la inclusión de más socios.

Modelo de cooperación empresarial propuesto

En la literatura relacionada con los modelos de cooperación empresarial existen tipologías que influyen para que las empresas colaboren, sin embargo, no existen un modelo que determine los elementos que influyen en la colaboración y que presente referencia a los determinantes que infieren en dicha colaboración.

En el instrumento aplicado se obtienen resultados relacionados sobre el origen, conocimiento y razo-

y financiamiento mediante una orientación estratégica en la estructura organizacional; lo cual implica considerar una lógica de gestión por procesos tanto de las personas como de la dinámica de la organización. Cabe destacar la relación sistémica entre los elementos, la condición de agregar valor y la asociación entre ellos para poder obtener los resultados esperados. En este elemento se contemplan la administración por proyecto, la asignación y suministro de recursos y la rendición de cuentas. Los seis elementos del modelo interrelacionados entre sí, por su visión sistémica que los conceptualiza como un todo de forma integral. El compromiso de agregar valor en el servicio que se presta, así como la asociación que existe entre ellos para lograr los resultados esperados. Por último, cabe señalar que los elementos del modelo y sus relaciones están enmarcados por criterios de calidad en su operación a manera de “mejores prácticas” para garantizar el desempeño individual deseado que permita alcanzar más tarde el éxito organizacional. Así, la figura 1 representa gráficamente un modelo basado en los resultados del instrumento de IKEI (Research&Consultancy, 2015) que promueve la cooperación interorganizacional, soportado por las mejores prácticas para garantizar la calidad del producto generado y la obtención de los resultados esperados.

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El análisis de la información permite comprobar la co-existencia de clústeres con grados de madurez muy dispar, tamaño muy dispar en el número de empresas asociadas, tipologías dispares de empresas socias del clúster e información de presupuestos diferenciados. Las empresas agrupadas señalan la importancia del financiamiento y los riesgos derivados de la salida de socios, la búsqueda de mercados regionales externos o la creación de nuevos servicios de valor añadido para los socios.

El presente estudio ha permitido obtener resultados satisfactorios positivos, debido a que se aplicó

un instrumento para obtener resultados por lo que se procedió a elaborar el modelo de cooperación entre empresas del mismo sector. Estos resultados pueden proporcionar información útil para impulsar a las empresas a cooperar mediante alianzas entre empresas del sector abarroteros externas, así como empresas del sector de servicios, de tal forma que se beneficien en relación a la estructura de cooperación para lograr beneficios organizacionales en el mediano plazo.

La cooperación entre organizaciones debe estar enfocada a la visión-misión empresarial, ya que solo de esta forma tiende a lograr los objetivos propuestos.

REFERENCIAS

Altenburg, T., & Meyer-Stamer, J. (1999). *How to Promote Clusters: Policy Experiences from Latin America* *World Development* 27 (9): 1693 – 1713.

Asociación Nacional de Abarroteros Mayoristas. (2011). Boletín Mensual. Recuperado en <http://www.anam.mx/portal/index.php/Noticias-y-Medios/boletin-mensual.html>

Baltazar., R. V., Vásquez M., R., & Mejía d. L., Y. (2014). *La estrategia de cooperación empresarial una alternativa de cooperación empresarial para fortalecer la ventaja competitiva en la MIPYME: Caso Industria Metal Mecánica del Sureste de Coahuila*. *Revista Global de Negocios* Vol. 2, No. 4, 2014, pp. 91-104. Universidad Autónoma de Coahuila.

Baumol, W.J., Litan, R.E., & Schramm, C.J. (2007). *God capitalism, bad capitalism, and the economics of growth and prosperity*. Yale University Press. New Haven & London.

Banco Mundial. (2014). *Los datos y las mediciones son fundamentales para poner fin a la pobreza extrema*. Recuperado de: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2014/10/09/measurement-fundamental-ending-extreme-poverty-world-bank-report>

Bajona, C., & Kehoe, T.J. (2010). *Trade, growth, and convergence in a dynamic Heckscher–Ohlin mo-*

del. *Review of Economic Dynamics*. 13(3): 487–513

Becattini, G. (2004). *Distritos Industriales: Una aproximación al cambio industrial*. Cheltenham, UK. Edward Elgar Publishing Limited.

Bernardez M. (2008). *Capital intelectual*. Estados Unidos de Norteamérica: Global Business Press.

Chávez, M.C.; García, L.K. (2015). *Identificación de clúster regionales en la industria manufacturera mexicana*. Banco de México, 19, 1-19.

Capó, J. V., Expósito M. L., & Masiá E.B. (2007). *La importancia de los clústeres para la competitividad de las PYME en una economía global*. Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, 33, 98, 119-133. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612007000100007>.

Douard, J.P. & Heitz, M. (2003). *Une lecture des réseaux d'entreprises: prise en compte des formes et des évolutions*. *Revue Française de Gestion*, 5(146), 23-41.

Iansiti, M.; & Levien, R. (2004). *The keystone advantage: what the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation, and sustainability*. Harvard Business School Press.

Jacobo, H., Limón, V., Madrid, M., Moreno, M., & Salazar C., (2008). *Generando Capital Intelectual en Economías Emergentes*. "Caso Turismo Alternativo en el sur de Sonora". Ciudad Obregón Sonora. Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Contaduría y Finanzas, Buzón de Pacioly,, vol 18, n65 23 - 36 <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no65/18.pdf>

Martin, R., & Sunley P. (2003). *Deconstructing clusters: ¿chaotic concept or policy panacea?*. *Journal of Economic Geography*, 2003, 3, 5-35.

McKinsey and Company (2013). Perspectives on

retail and consumer goods. From

http://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/~/dotcom/~/client_service/~/retail..M.

McKinsey and Company, (2015). Perspectives on retail and consumer goods. Recuperado de: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/retail/our%20insights/perspectives%20on%20retail%20and%20consumer%20goods%20number%208/perspectives-on-retail-and-consumer-goods_issue-8.pdf

Instituto Nacional del Emprendedor, (2014). Recuperado en octubre del 2015 de: http://www.one.inadem.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7

Instituto Nacional del Emprendedor, (2014). Recuperado en octubre del 2015 de: http://www.one.inadem.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7

Porter, M. (2004). *Estrategias Competitivas*. México: CECSA.

Ricardo, D. (2013). Principios de economía política y tributación. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.

Sebastián, J. (2000). *Las redes de cooperación como modelo organizativo y funcional para la I+D*. *Redes*. 7, 15, 97-111.

IKEI Research&Consultancy. (2015). *Modelos de cooperación empresarial en el sector de componentes de automoción: Situación actual y perspectivas*. Observatorio Industrial de Fabricantes de Equipos y Componentes de Automoción del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Recuperado en noviembre del 2015 de: http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorAutomocion/Actividades/2011/MCA-UGT/Los_Modelos_de_Cooperacion_Empresarial.pdf



UNIVERSIDAD DEL ISTMO

CAMPUS JUCHITÁN

www.unistmo.edu.mx

LICENCIATURA EN NUTRICIÓN

Profesionales en la ciencia de la salud, que fomentan la correcta alimentación para tener una óptima nutrición para el cuerpo.



Ciudad Universitaria s/n Carretera
transístmica, Juchitán-La Ventosa km. 14
La Ventosa; Oaxaca.

Tel 971 7127050 ext. 312

CAMPUS TEHUANTEPEC



Titulación



Laboratorios



Talleres





Instituto de Energía



Equipo de alta tecnología



Centro de idiomas





RESUMEN

La impresión 3D es actualmente una de las tecnologías más prometedoras y disruptivas para la que aún no se ha escrito todo. El proyecto abierto RepRap, comenzando en el 2004, permite a la gente construir una impresora 3D por mucho menos dinero que los modelos comercialmente disponibles. En este capítulo se presenta un panorama general de las herramientas matemáticas utilizadas en diferentes fases del proceso de impresión 3D, desde el proceso de modelamiento hasta la impresión.

ABSTRACT

3D printing is currently one of the most promising and disrupting technologies and there are still things to write. The open source RepRap project, starting in 2004, allows people to build a 3D printer for much less money than commercially available models. In this paper the math used from modelling to printing is presented, giving a general panorama of the math tools used in different stages of the 3D printing process.

Palabras Clave: *Impresión 3D, modelamiento matemático*

MATEMÁTICAS BÁSICAS EN IMPRESIÓN

3D

1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D es una tecnología relativamente nueva que ha tenido cada vez mayor aceptación. Existen diversos escenarios donde la impresión 3D ha contribuido a mejorar los procesos de diseño o producción como en la aeroespacial (Torta & Torta, 2019) o la militar (sbondareff, 2019). En otras áreas como la arqueología permiten la investigación no destructiva (Torta & Torta, 2019). No sólo la industria se ha visto beneficiada del proceso de

impresión 3D. Por ejemplo, en la educación se tienen beneficios al utilizar impresoras 3D en áreas como el pensamiento creativo, crear objetos tangibles a partir de ideas abstractas, el trabajo en equipo, colaborativo y por supuesto habilidades para el trabajo. Y finalmente, otra área que también se está comenzando a ver afectada es la personal o familiar. Ahora es factible que una familia pueda producir algunos de sus objetos de consumo con

Castañeda-Mendoza^{a*}

Correo electrónico: alvaro.c.m@gmail.com

^a Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec, C.P. 70760, Oax., México

un grado de personalización antes difícilmente alcanzable. Para aquellas personas que gustan de construir o reparar cosas la impresora 3D también es una herramienta excepcional que permite construir objetos con partes que antes requerían máquinas especializadas.

El Proceso de Imprimir un objeto Para obtener un objeto impreso en 3D se sigue una secuencia de pasos que de manera muy simplificada serían estos:

- Modelar o diseñar el objeto.
- Rebanar el objeto.
- Imprimir el objeto.

cada uno requiriendo diversos algoritmos y herramientas matemáticas. Estos pasos bien podrían ser vistos como el algoritmo de la impresión 3D.

La tecnología más popular y barata para imprimir en 3D es la llamada FDM (Fused Deposition Modeling) o FFF (Fused Filament Fabrication) en la que un filamento de polímero se extruye para depositarlo y crear formas finales. Esta tecnología se ha abaratado tanto que ahora es factible encontrar impresoras 3d en escuelas, casas y negocios especializados en donde es posible adquirir objetos personalizados para diversas aplicaciones o usos tan fantásticos como decoración de pasteles. Debido a esta popularización del proceso de impresión 3D han surgido una gran cantidad de sitios en internet y foros en diversas plataformas de redes sociales donde la gente comparte conocimiento y busca resolver sus dudas al respecto. Uno de los problemas que el autor ha observado es que muchas veces la gente carece de los conocimientos subyacentes involucrados en diversos procesos de tal suerte que las explicaciones y soluciones que muchas veces proporcionan carecen totalmente de

fundamento físico o matemático, siendo, por consiguiente, erróneos en diversos niveles.

Para llevar a cabo los pasos anteriores, existen ciertas herramientas y algoritmos matemáticos que normalmente son ignorados por la mayoría de los usuarios. Por ejemplo, en el paso de diseño (que no será tratado en este documento), dentro de la industria, bien se pueden utilizar herramientas de observación y análisis como la estadística; de planificación y proyección como modelos de redes, optimización de producción como la programación lineal o no lineal; control de calidad como la estadística entre otras. En el paso de modelamiento, que será tratado más adelante, se ocupan herramientas matemáticas tales como la geometría analítica, o sistemas de ecuaciones lineales. En el paso de rebanado se emplean conceptos de geometría analítica, principalmente porque el modelo a imprimir está representado mediante puntos, líneas y superficies, y solución de ecuaciones lineales. Como durante el proceso de rebanado se crean las instrucciones que la impresora 3D va a seguir también se emplean conceptos relacionados con mecánica tales como volumen, velocidad y aceleración, sin embargo, se piensa más en estos desde el punto de vista de la máquina que es quien debe ejecutar las instrucciones mencionadas anteriormente. Finalmente, en el paso de imprimir el objeto se utilizan conceptos relacionados con cinemática y teoría de control por mencionar algunos. Si bien no se presenta una lista exhaustiva, se presentan las herramientas matemáticas más conocidas o menos complicadas para la mayoría de las personas que utilizan una impresora 3D en casa o en un taller.

2. MODELANDO UN OBJETO

La primera tarea en el proceso de impresión 3D es modelar el objeto y almacenarlo de alguna manera



en la computadora para que las siguientes tareas puedan ser realizadas. Los programas que permiten el diseño de objetos suelen ser llamados “modeladores” o “CAD” (Computer Aided Design). Estos programas permiten utilizar un conjunto de objetos geométricos básicos (normalmente llamados “primitivos”) que mediante ciertas operaciones matemáticas son convertidos en representaciones gráficas y matemáticas de objetos reales, o en este caso que serán reales. Aunque los diferentes programas de dibujo 3D tienen diferentes primitivos, en general todos ellos comparten algunos. Por ejemplo, FreeCAD permite dibujar puntos, segmentos de líneas, alambres (conjuntos de líneas unidas), circunferencias, arcos, elipses, polígonos, cubos, cilindros, esferas, elipsoides, conos y toroides. También incluye la posibilidad de crear curvas y superficies paramétricas. Por otro lado Blender, incluye NURBS mientras que programas de mapeo de rayo (raytracers) como POVRay incluyen relieves (Height Fields), Blobs y Primitivos Sólidos Infinitos.

Sea cual sea el programa utilizado, todos utilizan ciertas herramientas matemáticas, de las cuales se hablará a continuación.

Sistemas de coordenadas, puntos y vectores

En matemáticas, la herramienta o área encargada de representar lugares geométricos a partir de ecuaciones es la geometría analítica. Como es sabido, tomando un segmento rectilíneo dirigido,

donde se ha definido el origen o punto inicial y un extremo o punto final (Burden et al., 1996)(Lehmann, 1985) es posible establecer un sistema de referencia lineal que permite establecer una correspondencia biunívoca entre una recta y un subconjunto de los números reales, correspondiendo el cero al origen, y los números reales a la distancia entre un punto de la recta y el origen, el signo estableciendo la dirección, siendo negativo a la izquierda y positivo a la derecha. Tomando el producto cartesiano de dos ejes y haciendo coincidir sus orígenes entonces se obtiene un plano, y tomando el producto cartesiano de un plano con un tercer eje tenemos entonces un sistema tridimensional de coordenadas. A estos sistemas de coordenadas se les suele llamar “Sistema de coordenadas Cartesianas” y en general son bien conocidas.

Para especificar un lugar en estos sistemas de coordenadas basta enlistar las distancias en cada eje de dicho punto al origen mediante n-adas de números. Un punto bidimensional P sería representado por (P_x, P_y) mientras que en el espacio tridimensional sería (P_x, P_y, P_z) . Estas listas también sirven para representar otra cantidad llamada vector que además de connotar posición, como lo hace el punto, también connota dirección y magnitud. Sin entrar en detalles sobre el cálculo de magnitudes y direcciones vectoriales, baste decir con que se trabaja en un espacio euclidiano de tres

dimensiones. Para representar varias ideas en el resto del documento, sin pérdida de generalidad los vectores se dibujarán en el plano,

pero las ideas seguirán siendo válida en dimensiones de orden superior.

Línea recta

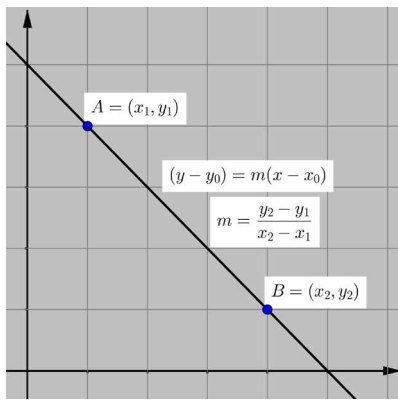


Figura 1: Línea recta que pasa por los puntos A y B.

La línea recta resulta de particular interés por varios motivos que se verán más adelante.

Utilizando dos puntos se puede obtener un segmento de línea. Ciertamente la ecuación de la línea recta que pasa por dos puntos está dada por la conocida fórmula “punto-pendiente” dada por

$$y - y_0 = m(x - x_0), m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

donde m es la llamada pendiente, y_0 puede ser y_1 o y_2 y x_0 puede ser x_1 o x_2 y cuya gráfica se muestra en la Figura 1 pero esta es una línea recta que se expande indefinidamente y no un segmento. También se tiene la semirrecta, que por conveniencia puede ser representada de forma paramétrica como

$$\vec{r} = \vec{A} + \hat{u}t \quad (2)$$

donde A es un punto del cual parte la recta, \hat{u} es un vector que indica la dirección en la cual se extiende la semirrecta (unitario o no), y t es un parámetro que permite construirla mediante el “estiramiento” o “encogimiento” del vector de dirección. Al igual que la recta, la semirrecta tiene

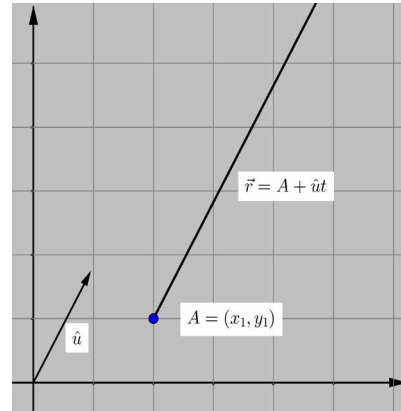


Figura 2: Forma paramétrica de la línea recta. La recta parte del punto A y sigue la dirección indicada por \hat{u}

un principio pero, no tiene un fin, es decir, se extiende hasta el infinito conforme t lo hace (Figura 2). Es posible restringir el valor de t, y con esto se logra un segmento de recta, pero existe una mejor manera aún, y es la combinación

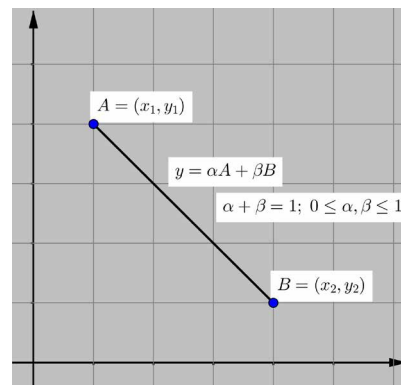


Figura 3: Forma convexa de la línea recta. El resultado en realidad es un segmento de línea.

convexa, mejor conocida como “Spline Bèzier Lineal”, o equivalentemente “curva lineal diferenciable definida en porciones mediante polinomios de Bèzier”.

Un segmento de recta que pase por los puntos A y B está dado por

$$\vec{r} = \alpha A + \beta B \quad (3)$$

con $\alpha + \beta = 1$ y ambas positivas. Puede verse una representación en la Figura 3.

Si se reescribe esta expresión es posible obtener $\vec{r} = \alpha A + \beta(B - A)$, que es similar a la forma paramétrica, solo que aquí se tiene clara la restricción sobre el valor de β dada por $\beta = 1 - \alpha$ y la dirección se obtiene de los puntos A y B .

La ventaja de la combinación convexa no termina en la simple representación de un segmento de recta, sino también en hallar el punto de intersección de dos segmentos. Cuando se utiliza la fórmula punto pendiente explicada anteriormente, independientemente de que los puntos de inicio y fin de cada recta sean conocidos, al hallar la intersección entre las dos, no es posible saber si esa intersección se encuentra en algún punto intermedio de los puntos que se utilizaron para definir dichas rectas, al igual que con la forma paramétrica, sobre todo si el vector de dirección es unitario. Utilizando la forma convexa de la semirrecta, entonces es sencillo saber si hay o no intersección entre dos semirrectas según el valor de los parámetros utilizados. Para ilustrar la idea consideremos cuatro puntos A_1, B_1, A_2, B_2 para los

segmentos S_1 y S_2 . La forma convexa para estos segmentos sería

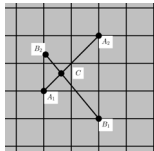
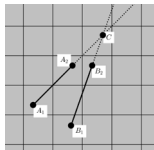
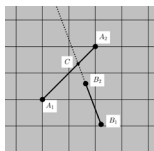
$$S_1 = t_1 A_1 + s_1 (B_1 - A_1) \quad (4)$$

y

$$S_2 = t_2 A_2 + s_2 (B_2 - A_2) \quad (5)$$

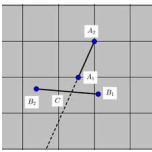
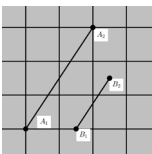
Resolviendo el sistema de ecuaciones se hallan los valores de s_1 y s_2 para la intersección. Si ambos valores están comprendidos entre 0 y 1, entonces los segmentos se intersecan¹. Las diferentes posibilidades se ilustran en la tabla 1. No olvidar que se cumple que $s_i + t_i = 1, s_i, t_i \geq 0$.

Tabla 1 Diferentes posibilidades para la solución de un sistema de segmentos de línea escritos en forma convexa.

Tipo de solución	Valor de s_1	Valor de s_2	Ejemplo
Solución única	$0 \leq s_1 \leq 1$	$0 \leq s_2 \leq 1$	
Solución no válida	$s_1 \geq 1$	$s_2 \geq 1$	
Solución no válida	$0 \leq s_1 \leq 1$	$s_2 \geq 1$	

¹ Muchas veces se habla de “intersección” de dos líneas rectas, lo cual es correcto si se está consciente de que la línea recta es un

conjunto de puntos. Suelo utilizar la palabra “intersecan” para denotar principalmente el aspecto geométrico.

Solución no válida	$s, \leq 0$	$0 \leq s, \leq 1$	
Sin solución	indefinido	indefinido	

Si bien un segmento de recta está conformado por infinitos puntos, solo bastan dos para especificarlo completamente. De manera similar, otros primitivos, como la circunferencia o la elipse son curvas continuas que contienen una cantidad infinita de puntos. La computadora no tiene memoria infinita, así que estas figuras y otras más complicadas son representadas por un conjunto finito de puntos, o mejor aún, por un conjunto finito de segmentos de recta como se verá a continuación.

Otras curvas

Matemáticamente hablando, curvas complicadas pueden ser representadas de forma paramétrica mediante las fórmulas

$$r(t) = (f_x(t), f_y(t), f_z(t)) \tag{6}$$

que al momento de ser evaluadas se debe tomar una partición para t en un intervalo dado y posteriormente se evalúa la función en los elementos de dicha partición, es decir

$$t \in [t_i, t_f]; r(t_k) = (f_x(t_k), f_y(t_k), f_z(t_k)) \tag{7}$$

dando a lugar una representación aproximada de la curva deseada en los puntos evaluados. Posteriormente, utilizando segmentos de línea se obtiene una representación aproximada de la curva completa. Es claro que, al utilizar más puntos para

representar una curva, más memoria será utilizada y más tiempo llevará procesar dicha curva, pero su apariencia visual será mejor.

A manera de ejemplo supongamos la curva definida por

$$s = (rcos(2\pi t), rsen(2\pi t)); t \in [0, 2\pi] \tag{8}$$

mejor conocida como circunferencia. Es necesario notar que el intervalo de definición de t es cerrado. Podría ser semiabierto por la derecha sin ningún problema, pero en este texto el interés

principal es en curvas cerradas como se verá posteriormente.

En la Figura 4 Se puede ver la circunferencia habiendo evaluado la función paramétrica utilizando dos particiones arbitrarias, siendo la segunda un refinamiento de la primera. Como puede observarse, al evaluar la función en el refinamiento se obtiene una mejor representación visual de la curva.

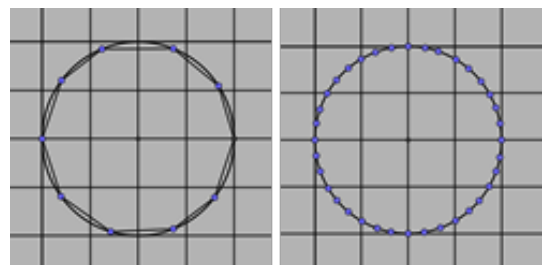


Figura 4: Dos aproximaciones a la circunferencia utilizando la forma paramétrica 1.2.8 con dos refinamientos para t .

Un caso más general es cuando se define una curva mediante un conjunto de puntos arbitrarios. Existen varios mecanismos para hacerlo, como los polinomios de Lagrange, la interpolación de Hermite, pero los preferidos son las curvas Bèzier y las curvas spline, cuya historia comienza con Pierre

Bèzier, que trabajando para Renault, desarrolló modelos matemáticos para representar superficies de forma arbitraria o libre. Estos modelos utilizan puntos de control para crear una superficie. Otro tipo de construcción, llamada NURBS, a su vez, está conformada por curvas spline, que son una clase de funciones que son utilizadas en aplicaciones que requieren la interpolación de datos, o un suavizado de curvas (Burden et al., 1996) (“Spline”, 2022) cuya teoría fundamental fue desarrollada en la década

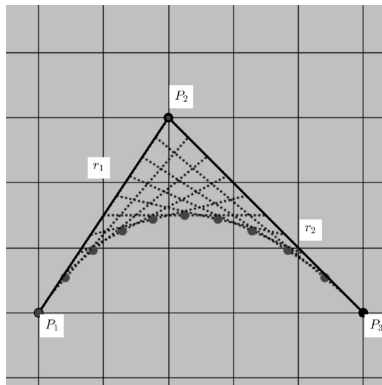


Figura 5: Curva Bèzier. Se muestra la construcción de rectas convexas que dan lugar a los puntos de la curva. También se puede observar cómo la recta convexa “intermedia” forma una envolvente de la curva.

de 1940 por el matemático estadounidense Isaac Jacob Schoenberg (“Spline”, 2022).

Curva Bèzier

Una curva Bèzier es una curva paramétrica que permite modelar superficies suaves, y se definen formalmente como

$$B(t) = \sum \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i P_i, 0 \leq t \leq 1 \quad (9)$$

que también puede ser escrita como

$$B(t) = \sum b_{i,n}(t) P_i, 0 \leq t \leq 1 \quad (10)$$

donde los términos $b_{i,n}$ son los llamados polinomios base de Bernstein de grado n y P_i los puntos de interés. (Burden et al., 1996)

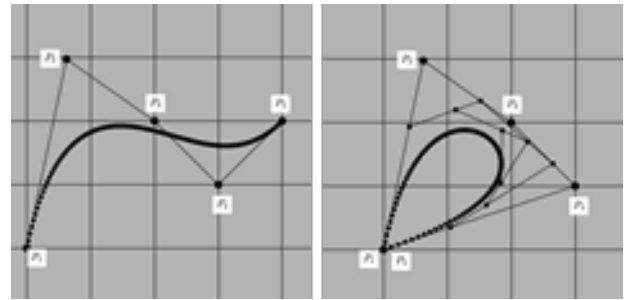


Figura 6: Curvas Bèzier. Se muestran las líneas “intermedias” que dan lugar a la curva. La segunda curva tiene los puntos P_1 y P_5 iguales.

La curva Bèzier guarda cierta relación con la combinación convexa. La idea no es complicada en realidad. En la Figura 5 se muestran tres puntos, que son los llamados puntos de control, y se definen el segmento de recta r_1 que va de P_1 a P_2 y el segmento de recta r_2 que va de P_3 a P_2 en la forma convexa, utilizando el mismo parámetro t para ambos. Conforme t varía de 0 a 1, se obtienen diferentes puntos en sendas rectas, que sirven a su vez para trazar una nueva recta en forma convexa dada por $r_1 + t(r_2 - r_1)$. Como se puede ver, se ha utilizado el mismo parámetro t que para las rectas previas. Variando t se obtienen los puntos mostrados que forman precisamente la curva Bèzier; también se muestran diferentes rectas r_1 y r_2 para diferentes valores de t , que como se puede observar, forman una envolvente de la curva Bèzier obtenida.

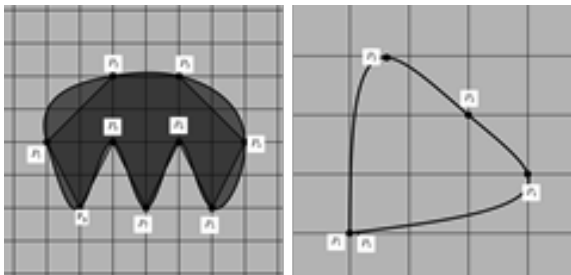


Figura 7: Curvas Spline. La segunda tiene los mismos puntos de control que una curva bezier mostrada anteriormente.

Como puede observarse, la curva Bèzier es tangente a las dos rectas r_1 y r_2 . En la Figura 6 se puede ver otras dos curvas Bèzier de orden superior. Esta vez se tomaron cinco puntos de control siendo en la segunda curva el primero y el último iguales. Al igual que con el ejemplo anterior se trazan las rectas “intermedias”, que dan lugar a la curva Bèzier.

Una curva B-Spline se define de manera similar, pero a trozos:

$$S(t) = \sum P_i b_{i,n}(t) t \in [t_{n-1}, t_{m-n}] \quad (11)$$

donde los puntos P_i son los llamados puntos de control y las $b_{i,n}$ son curvas spline básicas de grado n . Una curva spline, a su vez es una curva interpolante definida a trozos. Dicha curva puede ser de grado arbitrario, y se imponen condiciones sobre sus derivadas para garantizar que la curva sea suave en todo el intervalo de interés. En la Figura 7 se puede observar dos ejemplos. El segundo tiene los mismos puntos de control que la última curva Bèzier mostrada.

Sin importar la manera como se creen las curvas a utilizar durante el diseño de un objeto, el resultado final estará expresado por un conjunto de líneas rectas, como en el ejemplo anterior. En el caso tridimensional utilizar líneas rectas no será

suficiente, por lo que se debe recurrir a una forma simple. Si para representar objetos de una dimensión utilizamos segmentos de recta, para representar superficies entonces la figura más simple es el triángulo. También se pueden utilizar otros polígonos, de preferencia convexos, pero los más usados son el triángulo y el cuadrado, creando estructuras u objetos llamados mallas (mesh). Es importante destacar que podría ser deseable representar objetos huecos. Una manera efectiva de hacerlo es mediante mallas de triángulos como se muestra en la Figura 8. En la figura se muestra una forma arbitraria con un hueco también arbitrario. Tanto la forma como el hueco están representados mediante particiones de triángulos. El problema de crear particiones con polígonos convexos máximos aún es abierto y

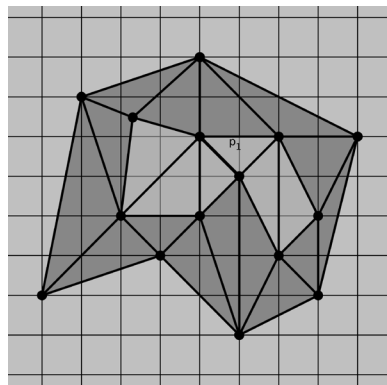


Figura 8: Forma arbitraria con hueco arbitrario. Esta representación es similar al problema de las coronas convexas.

al parecer no tiene solución única. Otro problema existente consiste en hallar subenvolventes convexas dado un conjunto de puntos, aunque no es tema de este trabajo.

Mallas poligonales

Una malla poligonal no es más que una colección de vértices, aristas y caras que definen la forma de un objeto poliédrico (“Polygon Mesh,” 2022).

El objeto básico es el vértice, que no es más que un punto en el espacio, Utilizando dos vértices se obtiene una arista o borde, que no es más que un segmento de recta. Utilizando a su vez un conjunto cerrado de segmentos se obtiene una cara. La más sencilla es el triángulo, porque

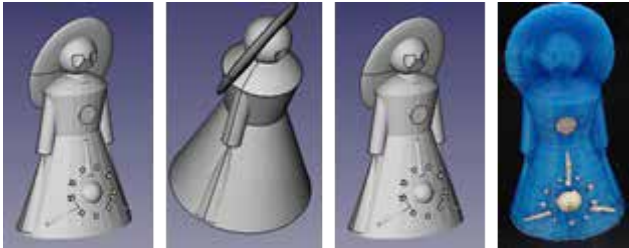


Figura 9: Proceso de creación de una figura humanoide. Se muestra el resultado final en PLA azul.

tiene sus lados y vértices coplanares. Finalmente al conjunto de caras se le llama superficie.

Durante el diseño de un objeto estas superficies pueden ser o no cerradas; para poder imprimir el diseño será necesario que las superficies sean cerradas para conformar un sólido, aunque este sólido puede tener partes huecas.

Dependiendo de la forma de estas partes huecas, y del mismo sólido es como se define que un objeto sea imprimible o no, pero ese tema no será tratado en el presente texto.

Crear una malla requiere de un conjunto de funciones que describan sus partes, y frecuentemente operaciones de transformación, que pueden ser geométricas o de carácter lógico o de conjuntos. De esta manera se pueden tener parametrizaciones que pueden provenir de funciones definidas arbitrariamente o a partir de puntos de control utilizando trazadores cúbicos (splines) o curvas Bèzier.

Modelando un objeto

Habiendo cubierto parte de la matemática empleada para diseñar un objeto, en la práctica se utiliza un programa de diseño como FreeCAD que tiene definidas internamente las funciones que permiten calcular las mallas que representan objetos. Mediante operaciones de rotación y escala los objetos primitivos se aproximan al objeto final deseado, para que finalmente con operaciones lógicas se obtenga el resultado final. En la Figura 9 se muestra algunas partes del proceso llevado a cabo para diseñar una figura humanoide.

La tehuanita, como suelo llamar a esta figura está conformada por primitivos definidos de forma paramétrica aplicando posteriormente operaciones de escala, rotación y de conjuntos para transformarlos y convertirlos en un solo objeto. En la Figura 9 puede observarse cómo han sido utilizados conos, esferas, cilindros y toroides para la forma base.

Posteriormente se han añadido cubos, conos y una esfera para el adorno del vestido, así como un cilindro a manera de medalla. Finalmente se observa el resultado final con pintura dorada agregada. Pueden observarse ciertas irregularidades en el color, estas son debidas a dos factores. El primero es el relleno, que no es completamente sólido, y el segundo es en relación con el control de la temperatura, sobre lo que se hablará posteriormente.

Sin entrar en detalles sobre las operaciones de rotación y escala, consideremos lo que sucede con las operaciones lógicas mediante el diseño de una taza. En la Figura 10 se observan una posible secuencia para crear una taza utilizando dos conos y un toroide. Rotando, escalando y trasladando el

toroide se obtiene el segundo paso, donde además la taza se ha ahuecado con fines ilustrativos. Posteriormente al toroide se le resta la taza; en realidad no es una resta simple, es una resta de conjuntos dando como resultado el asa que se muestra en la figura. Finalmente se agrega nuevamente el cono para obtener el resultado final mostrado. Las operaciones realizadas pueden expresarse como

$$\text{taza} = \text{toroide} - \text{cono} + \text{cono} + \text{base} \quad (12)$$

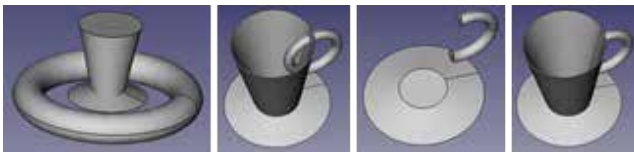


Figura 10: Proceso de creación de una taza.

donde base es el cono inferior. Si usáramos las reglas algebraicas “normales”, el resultado sería toroide + base, pero estamos en una situación en la que la ley asociativa no es válida. En la práctica la taza no tiene porqué quedar hueca, y se permite que el programa que prepara el objeto para imprimir le quite el relleno y la parte superior, quedando simplemente la superficie del objeto.

3. REBANADO

Como se mencionó previamente, para crear y describir los objetos se utilizan mallas, que resultan ser realmente aproximaciones al objeto real. En la Figura 11 se observa un toroide y una malla que lo representa, se ha disminuido exageradamente la cantidad de vértices para hacer más notorio este hecho. La impresora imprimirá capa a capa el objeto, por lo que se hace necesario obtener superficies de nivel. Esto es sencillo de realizar con una malla, sobre todo si está compuesta de triángulos o polígonos de cuatro lados.

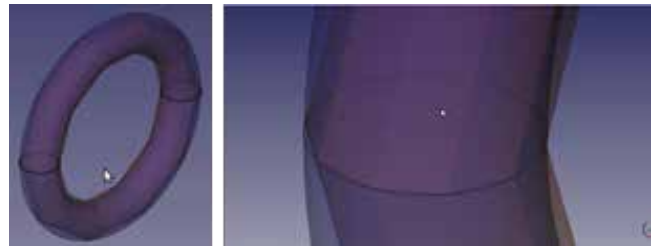


Figura 11: Los objetos a imprimir son representados mediante mallas de polígonos convexos. Aunque en la figura los polígonos son de cuatro lados, normalmente se usan triangulares por su facilidad de uso.

Sin pérdida de generalidad podemos considerar que la malla bidimensional de la Figura 12 representa una porción de un objeto tridimensional. Hallar una curva de nivel no significa otra cosa que resolver la intersección de un plano, aquí representado por la línea horizontal con los elementos de la malla. Puesto que el triángulo es un polígono convexo, es sencillo determinar el segmento de recta que pasa por su interior, y puesto que esta malla describe un objeto sólido, dicho segmento de recta representa lo que se llama “línea de extrusión”, que es por donde el cabezal de la impresora pasará depositando el material a imprimir en cada capa. En la figura también se puede notar que es posible tener diferentes segmentos no unidos entre si. En

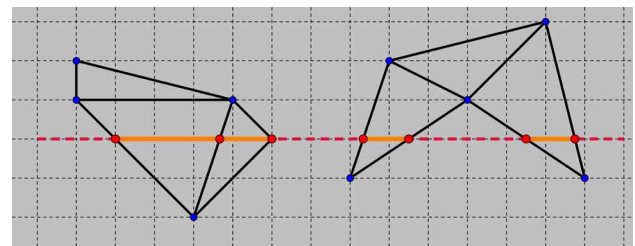


Figura 12: Una malla es intersecada por una línea que representa un plano en el eje Z. Los puntos rojos son los lugares donde el plano se interseca con los triángulos de la malla y se encuentran

utilizando las ecuaciones descritas anteriormente. Los segmentos color naranja corresponden entonces a las curvas de nivel y dan lugar a las líneas de extrusión

la Figura 13 se puede observar el proceso completo. Primero el programa rebanador carga las descripciones de los objetos. Posteriormente los rebana y finalmente escribe un archivo que será alimentado a la impresora para obtener el objeto final.

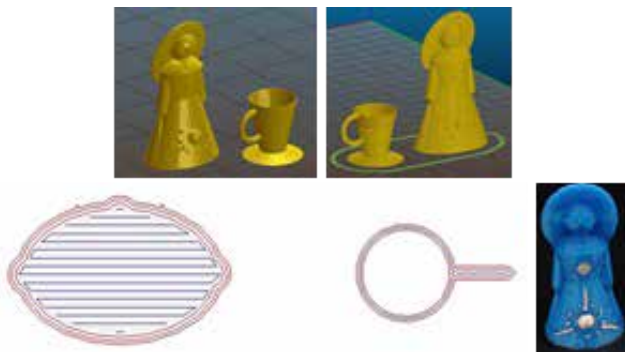


Figura 13: Proceso de rebanado. Primero se cargan las figuras y posteriormente se rebanan y muestra el resultado para ver si no hay errores o conflictos potenciales durante la impresión. A la derecha se muestran las líneas de extrusión para una capa.

Es evidente que para encontrar las líneas de extrusión en cada capa el plano de la superficie de nivel se debe ir elevando desde una altura $z = 0$ hasta la altura de la figura más grande. Cada capa tiene una altura h que depende de las características de la impresora. El archivo mencionado anteriormente contiene las instrucciones que indican a la impresora cómo mover el cabezal en los ejes X, Y y Z para que capa a capa se obtenga el objeto final. También contiene las instrucciones sobre las temperaturas necesarias y el control de enfriamiento.

4. IMPRIMIENDO EL OBJETO

La última fase es la de imprimir el objeto a partir del archivo generado en la fase anterior. Como se mencionó, este archivo tiene las instrucciones que la impresora 3D ha de ejecutar para crear capa a capa el objeto. Para realizar esta tarea correctamente se debe calcular el flujo exacto de material que será depositado mediante las líneas de extrusión que siguen los caminos generados por el rebanado. Para esto es necesario conocer el diámetro de la boquilla de extrusión, la altura de la capa a depositar y la velocidad con la que se mueve la boquilla. En el caso de una impresora que utiliza filamento también se debe conocer el diámetro de este para calcular correctamente la velocidad de alimentación. Adicionalmente la boquilla debe mantener una temperatura constante de acuerdo al tipo de material a ser depositado, si esta temperatura no se mantiene pueden aparecer diferencias de color o la máquina puede dejar de extrudir. Algunas impresoras pueden calentar la superficie sobre la que se imprime, mejorando la calidad de la pieza y ayudando al desprendimiento final siempre y cuando la temperatura utilizada sea la correcta.

Un modelo para la matemática del flujo

Tomando como ejemplo el programa Slic3r, con el fin de evitar que las líneas de extrusión estén a una distancia o grosor incorrecto se toman en cuenta dos preguntas principales (Slic3r Manual – Flow Math, n.d.)

1. ¿A qué distancia se deben encontrar las líneas de extrusión con el fin de obtener un buen acabado continuo?
2. ¿Qué cantidad de material se debe extruir a lo largo de esas líneas?

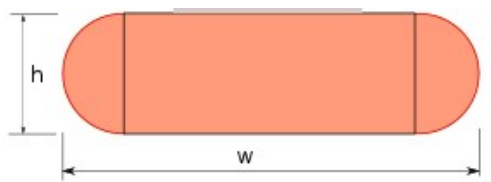


Figura 14: Modelo geométrico de una línea extrudida. (Slic3r Manual – Flow Math, n.d.)

El problema radica en que, si las líneas están muy cerca, o se extruye demasiado material, entonces se traslapan y el resultado final es una serie protuberancias que pueden hacer inservible la pieza. Por otro lado, si las líneas están muy separadas o no se extruye el material suficiente, entonces aparecen huecos que afectan la resistencia de la pieza, o simplemente hay una mala adhesión entre capa y capa, haciendo que la pieza se fracture fácilmente, incluso al retirarla de la cama de impresión.

Extruir una línea significa mover la boquilla mientras deposita el material, dando un espesor de extrusión. Cambiando la velocidad con la que se introduce el material en la extrusora entonces es factible obtener diferentes grosores de la línea de extrusión. Es necesario extrudir la cantidad correcta para obtener una pieza resistente del tamaño correcto. También eligiendo los



Figura 15: Modelo geométrico para varias líneas contiguas.

parámetros correctos permite imprimir puentes sin que se cuelguen².

Si se considera una línea de extrusión unitaria, el material a extrudir estaría dado por la expresión (Slic3r Manual – Flow Math, n.d.)

$$E = (d/2)^2\pi \tag{13}$$

donde d es el diámetro de la boquilla, y suponiendo que la forma que toma la línea de extrusión es como la de la Figura 14 entonces tenemos que

$$E = (w - h)h + \pi(h/2)^2 \tag{14}$$

donde w es el ancho de la parte cuadrada, h la altura de la capa y al mismo tiempo el diámetro de la parte circular.

Puesto que el comportamiento del material extrudido puede cambiar por varios factores, no siempre es factible extrudir dos líneas contiguas sin que quede un espacio entre ellas, como el indicado en la Figura 15, así que el programa Slic3r calcula la distancia entre líneas contiguas y tangentes mediante la fórmula:

$$d_{lineas} = grosor - h(1 - \pi/4) \tag{15}$$

Este programa calcula automáticamente el grosor de las líneas de extrusión para diferentes partes de una capa, como lo serían los perímetros y rellenos, pero también permite definirlos arbitrariamente; con base en mi experiencia es mejor considerar un grosor igual al diámetro de la boquilla y jugar con otros parámetros relacionados con el

ser un agujero redondo como para un tornillo o un agujero poligonal como para una tuerca.

² Un puente es una porción de la pieza que no tiene material abajo pero que se “sostiene” por sus extremos, un ejemplo podría

grosor del filamento hasta obtener una buena precisión en la pieza impresa.

Control de la temperatura

En la discusión anterior se considera que el material puede fluir sin problemas por la extrusora, para esto se debe mantener una temperatura adecuada en la boquilla y alimentar correctamente el material, que son tareas realizadas por le firmware de la misma impresora.

En las impresoras RepRap el software de control más utilizado es el Marlin utilizando un arduino Mega 2560 y un circuito añadido (RAMPS) que contiene componentes para las etapas de potencia, visualización y manejo del sistema. Actualmente está en diseño una nueva tarjeta con mejores características.

El firmware instalado en el arduino puede interpretar códigos G y M, que son instrucciones que le indican a la máquina qué hacer. Uno de particular interés para esta sección es el M104, que sirve para establecer una temperatura que debe ser mantenida constante, utilizándose para esto un modelo de control.

La extrusora consta de dos partes: un alimentador y una boquilla con un elemento calefactor llamado hotend. El alimentador tiene la función de proveer el material a ser extrudido al ritmo adecuado. El hotend por su parte debe mantener una temperatura constante a la que debe salir el extrudido. Durante el proceso de extrusión existen factores que pueden alterar la temperatura del hotend tales como

-
- La entrada del material a extrudir a ritmos no constantes.

Cambios de temperatura ajenos a la máquina, tales como los producidos por corrientes de aire.

Cambio del ritmo de enfriamiento de la pieza trabajada.

Los cambios de temperatura externos por lo general no son controlables, a no ser que el cuarto o lugar donde se encuentre la impresora esté aislado. Por otro lado, los ritmos de alimentación de material y enfriamiento de la pieza son programados de manera previa según las características del objeto a imprimir y el material utilizado, por lo que la única manera de mantener un control de la temperatura es mediante un sistema de lazo cerrado que utiliza un termómetro como mecanismo de retroalimentación.

El modelo más sencillo utilizado en la RepRap es el llamado “BangBang” que no es otra cosa que encender y apagar el elemento calefactor con la siguiente función matemática:

$$I = \begin{cases} 1 & \text{si } T < T_0 \\ 0 & \text{si } T \geq T_0 \end{cases} \quad (16)$$

donde I bien puede ser la corriente que pasa por el elemento calefactor y T_0 la temperatura objetivo que se desea mantener y T la temperatura medida por el termómetro de la máquina.

Este método funciona bien si la masa térmica es lo suficientemente grande, pero considerando que la extrusora se mueve al imprimir, entonces se vuelve deseable tener elementos poco masivos.

Otro problema es que el sistema nunca está en equilibrio térmico, en realidad aparecen gradientes de temperatura, y es factible que mientras el termómetro mide una temperatura, el elemento calefactor se encuentre a una más alta. Al hacer

ceros la corriente, la temperatura seguirá subiendo por un momento, algo que puede traer efectos indeseables en la pieza de trabajo. Para evitar esto se ocupa otro mecanismo, conocido comúnmente como controlador PID.

Un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivative) calcula un valor de error $e(t)$ como la diferencia entre el valor deseado para una variable y su valor medido para aplicar una corrección basada en tres términos llamados proporcional, integral y derivativo típicamente denotados por P, I y D. Suponiendo que ϕ es la ecuación del sistema a controlar, podemos modelar el controlador PID como

$$\phi(t, y, y', \dots) = pe(t) + i \int_0^t e(t) dt + d \frac{d}{dt} e(t) \quad (17)$$

donde las ganancias p , i y d son constantes que pueden ser ajustadas a mano para lograr el comportamiento deseado, sobre todo en el caso de que la función ϕ no sea conocida. De hecho, la importancia del controlador PID es que puede funcionar sin necesidad de conocer el proceso subyacente. De esta manera, la función que controlaría la corriente que se alimenta al elemento calefactor estaría dada simplemente por el lado derecho de la ecuación, es decir:

$$u(t) = pe(t) + i \int_0^t e(t) dt + \frac{d}{dt} e(t) \quad (18)$$

el valor obtenido para $u(t)$ será traducido a una cantidad física que alimentará al elemento calefactor, que puede ser corriente o frecuencia de un tren de pulsos.

Control del movimiento

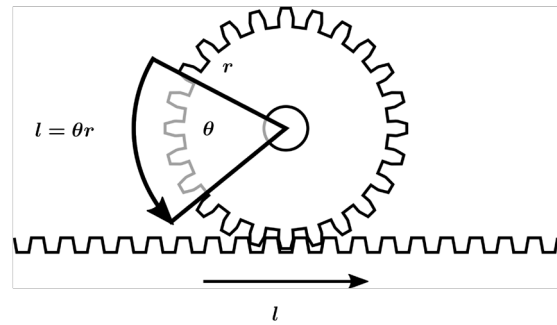


Figura 16. Modelo de movimiento lineal. Una polea dentada o piñón de radio r gira para mover una banda dentada. Si la polea gira un ángulo θ el arco subtendido será θr que a su vez será la distancia recorrida por la banda dentada.

El movimiento de la impresora es lo más sencillo de todo esto. Se utilizan motores de paso que hacen girar cierto ángulo una polea dentada o piñón que a su vez accionan bandas o barras roscadas que mueven las diferentes partes de la impresora. Como se ve en la Figura 16, si la polea es de radio r y gira un ángulo θ el desplazamiento lineal corresponde al de la longitud de arco subtendido por dicho ángulo y está dado por

$$l = \theta r \quad (19)$$

Si para este ángulo el motor gira n pasos, entonces $\theta = n\theta_0$ donde θ_0 es el ángulo de cada paso que usualmente es de $360/200^\circ$. En el caso del eje Z normalmente se utiliza una barra roscada, que por cada vuelta avanza cierta distancia, entonces la ecuación sería

$$d = n\theta_m \text{paso}_m \quad (20)$$

donde paso_m es precisamente el paso de la rosca utilizada, siendo n y θ_0 igual que el caso anterior.

Cabe destacar que el control de los motores es de lazo abierto, por lo que el sistema controlador no puede corregir posibles errores debido a problemas mecánicos.

5. CONCLUSIONES

El proyecto RepRap durante sus poco más de diez años de vida ha dado lugar a la proliferación y abaratamiento de las impresoras 3D. Cualquier persona en su casa puede imprimir y construir una de estas sin tener demasiados conocimientos técnicos. La naturaleza del proyecto ha permitido que personas de diferentes ámbitos y lugares contribuyan a mejorar este proyecto.

Como se ha visto, buena parte de las herramientas utilizadas tratan con la geometría analítica. Profundizando en el tema es posible ver que el análisis convexo juega un papel importante. Tópicos no tratados en el texto versan sobre la injerencia de la topología en este tema, dando lugar a diseños orgánicos con rellenos óptimos en cuanto al uso de material y resistencia.

Los tópicos relacionados con teoría de control resultan ser muy simples, en cuanto a la parte mecánica se utiliza un sistema de lazo abierto, mientras que para la parte térmica uno de lazo cerrado con un controlador PID, pero dada las características del sistema hay quienes utilizan un controlador Bang-Bang.

En la práctica, buena parte de los resultados obtenidos por la comunidad han sido de carácter

empírico sin pasar por modelos matemáticos muy complejos, en caso de que los halla. Cuando hay problemas, normalmente se resuelven mediante experimentación, como se puede constatar en la gran cantidad de foros y páginas con consejos útiles para lograr buenos resultados.

Sin embargo, existe otra cara de la moneda, y es la de las empresas que fabrican y patentan tecnologías para impresión 3D. Los métodos utilizados no están disponibles para el público en general.

REFERENCIAS

Burden, R. L., Faires, J. D., & Burden, R. L. (1996). *Análisis numérico*. Grupo Editorial Iberoamérica.

Lehmann, C. H. (1985). *Geometría Analítica*. Limusa.

Polygon mesh. (2022). In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Polygon_mesh&oldid=1070262454

Sbondareff. (2019, October 25). Industry applications. SPEE3D. <https://www.spee3d.com/industry-applications/>

Slic3r manual – flow math. (n.d.). Retrieved April 8, 2022, from <https://manual.slic3r.org/advanced/flow-math>

Spline. (2022). In Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Spline&oldid=141341526>

Torta, S., & Torta, J. (2019). *3D printing: An introduction*. Mercury Learning and Information.

DESARROLLO Y REGULACIÓN DEL VOLTAJE DE UN CONVERTIDOR BOOST PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Fotografía: Patricia Luna

RESUMEN

El desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes de energías renovables, cobra cada vez mayor importancia debido al interés en la reducción del daño ambiental que se genera utilizando las fuentes de energías convencionales. La aplicación de las tecnologías se focaliza en optimizar la fabricación de los dispositivos y sistemas de aprovechamiento de las fuentes de energía, por ejemplo, en la reducción del costo de producción, en mejorar la eficiencia de los materiales, así como reducir los niveles de contaminación y además generar una cultura de concientización que mejoraría el medio ambiente y la calidad de vida humana. Se presenta de manera experimental un sistema de control para un convertidor Boost con una estrategia de control del tipo PI con la finalidad de cancelar perturbaciones, logrando con ello coadyubar a la protección de la batería eléctrica ante cambios de voltaje provenientes de paneles fotovoltaicos.

G. Urbietta Ulloa ^{a,b}, A. Santiago Guerra ^{b,c}, E. Dueñas Reyes ^b, E. Campos Mercado ^{*d}

***Correo electrónico: ecampos@conacyt.mx**

ABSTRACT

The development of technologies for the use of renewable energy sources is becoming increasingly important due to the interest in reducing the environmental damage that is generated using conventional energy sources. The application of technologies focuses on optimizing the manufacture of devices and systems for the use of energy sources, for example, in reducing the cost of production, improving the efficiency of materials, as well as reducing pollution levels and also generate a culture of awareness that would improve the environment and the quality of human life. A control system for a Boost converter with a PI-type control strategy is presented experimentally in order to cancel disturbances, thereby contributing to the protection of the electric battery against voltage changes from photovoltaic panels.

Palabras Clave: *Control lineal, Convertidor Boost, Experimentos.*

^a Tecnológico Nacional de México, Campus Istmos, Juchitán, Oaxaca.

^b Universidad del Istmo, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca.

^c Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Etla, Oaxaca.

^d CONACYT-Universidad del Istmo, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca.

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de aprovechamiento de las fuentes de energías renovables, cobra cada vez mayor importancia debido al interés en la reducción del daño ambiental. En los últimos años la aplicación de las tecnologías se ha focalizado en optimizar la fabricación de los dispositivos y sistemas de aprovechamiento de las fuentes de energía, por ejemplo, en la reducción del costo de producción, en mejorar la eficiencia de los materiales, así como reducir los niveles de contaminación.

Normalmente los sistemas que existen para aprovechar la energía solar se dividen en dos grupos: sistemas térmicos y sistemas fotovoltaicos, como se muestra en la Fig. 1.

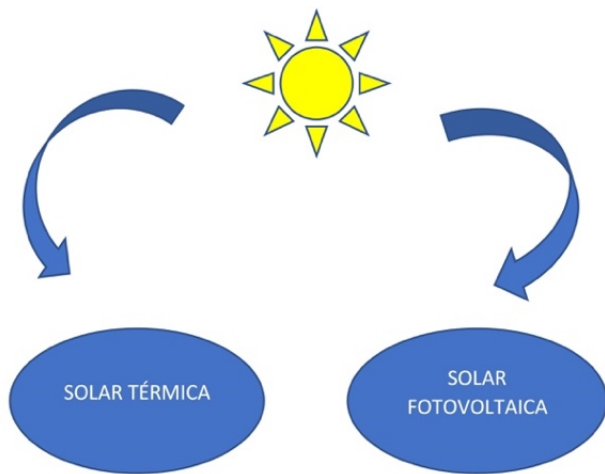


Fig. 1. Aprovechamiento de la energía solar.

La radiación solar que alcanza la tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad de diferentes formas según los avances tecnológicos de la época; actualmente una de las formas de

aprovechamiento del recurso solar que está ocupando los estudios y esfuerzos científicos son los sistemas fotovoltaicos (Sánchez, M. A. 2015).

El aprovechamiento y conversión directa de la luz solar en energía eléctrica se consigue mediante las celdas solares, por un proceso llamado efecto fotovoltaico (FV), este principio de conversión fotovoltaica ocurre al incidir luz sobre una unión p-n, se generan pares electrón-hueco, los cuales son separados e impulsados en direcciones opuestas por la acción del campo eléctrico interno, y pueden salir al circuito exterior a través de los contactos metálicos, entre dichos contactos se genera una diferencia de potencial, y las cargas en movimiento constituyen una corriente eléctrica (Perpiñan, O. 2012). Se transforma así la energía radiante en energía eléctrica.

La celda solar posee una estructura similar a la de un diodo, y como tal, los principales componentes que conforman su estructura interna son los materiales semiconductores (Solansky, C. S. 2013) como, por ejemplo, el silicio. Las cuáles por sus características de dopado que consiste en agregar elementos que aporten una mayor cantidad de electrones y huecos al silicio intrínseco, están compuestas básicamente por una capa de semiconductor tipo N, dopado de átomos con mayor cantidad de electrones de valencia y otra capa de semiconductor tipo P, dopados con átomos que aportan mayor número de huecos en el silicio.

1.1 Convertidor Boost

En la Fig. 2 se muestra la topología de un convertidor Boost, el cual tiene la característica de elevar el voltaje de Corriente Directa (CD) de entrada con respecto a la salida. Su aplicación principal es en fuentes de energía de CD regulada y en el frenado regenerativo de motores de CD.

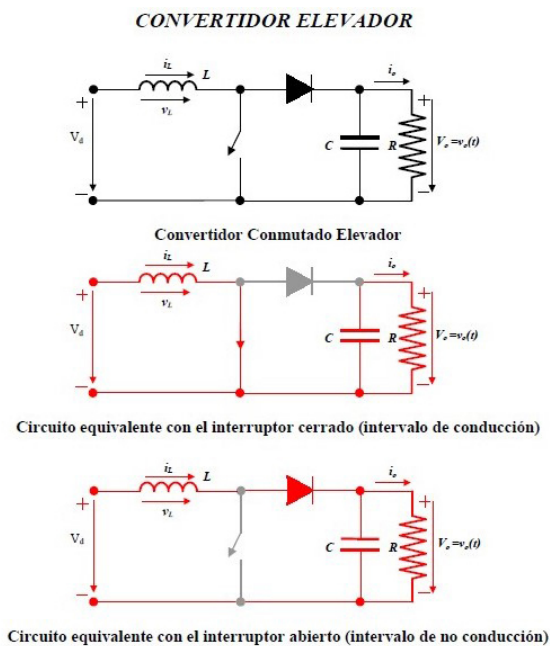


Fig. 2. Modos de operación del convertidor Boost.

Como implica su nombre, el voltaje de salida siempre es más grande que el voltaje de entrada. Cuando el interruptor está encendido, el diodo es de polarización inversa, lo que aísla la etapa de salida. Cabe mencionar que la entrada suministra energía al inductor. Cuando el interruptor está apagado, la etapa de salida recibe energía tanto del inductor como de la entrada. En el análisis del estado permanente que se presenta el condensador de filtrado de salida es muy grande, a fin de asegurar un voltaje de salida constante, (D'alesio et al, 2014) esto es: $V_o(t) = V_o$.

1.2 Estrategias de control

En la actualidad los procesos industriales y de manufactura requieren de un sistema de control para mejorar el desempeño y funcionalidad de sus equipos. En la aplicación de los sistemas fotovoltaicos el regulador de carga es el dispositivo que realiza la función de controlar la potencia del sistema, aplicando una estrategia de control para mantener en condiciones óptimas los parámetros de voltaje y corriente y así mejorar la eficiencia del sistema.

Las estrategias de control de un sistema tienen su principio de funcionamiento basado en el comparativo de la respuesta de salida con respecto a la entrada (retroalimentación), resultando esto en un error, el cual la estrategia de control tiene como objetivo reducir a cero (Ogata, K. 1998). Existen 2 modelos de estrategias de control de acuerdo a la metodología de funcionamiento las cuales son las siguientes: sistemas de control en lazo abierto y sistemas de control en lazo cerrado.

1.3 Sistema en lazo abierto:

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por lo tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada.

En la práctica, el control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control

realimentado. Observe que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo es en lazo abierto. Por ejemplo, el control del tránsito mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto.

1.4 Sistema en lazo cerrado

En los sistemas de control en lazo cerrado se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente.

El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. La variable controlada se mide y se utiliza esa medición para modificar la entrada sobre la planta. Esa medida se lleva a cabo normalmente por un sensor.

El controlador PI es un algoritmo de control robusto en muchas aplicaciones y es el que más se utiliza en la industria, la estructura de un controlador PI es simple, aunque su simpleza es también su debilidad, dado que limita el rango de plantas donde pueden controlar en forma satisfactoria la salida del sistema, sin embargo, existe un grupo de plantas inestables que no pueden ser manipuladas con un controlador PI. Los enfoques tradicionales al diseño de controladores PI se detallan en (Ogata, K. 2010), donde se describe la estructura del controlador PI considerando una entrada y una salida del sistema, como se muestra en la Fig. 3.



Fig. 3. Control en lazo cerrado.

1.5 Tipos de controladores

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D) (Ogata, K. 2010). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

P: acción de control proporcional, da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_p e(t)$, que descrita desde su función de transferencia queda:

$$C_p(S) = K_p \quad (1)$$

donde k_p es una ganancia proporcional ajustable, un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente.

I: acción de control integral, da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, es decir: $u(t) = K_i \int_0^t e(t)dt$ lo que implica que es un modo de controlar lento, su función transferencia queda:

$$C_i(S) = \frac{K_i}{S} \quad (2)$$

La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que, dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

El diagrama del convertidor de potencia CD-CD tipo elevador (Boost), con un conmutador ideal, se muestra en la siguiente Fig. 4 el convertidor Boost amplifica la tensión de entrada constante E por un factor escalar relacionado con el ciclo útil

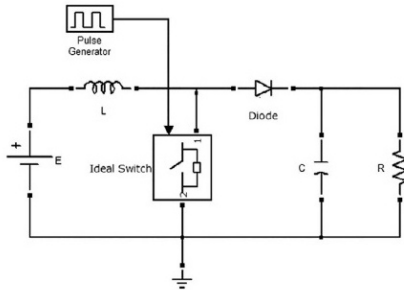


Fig. 4. Convertidor Boost.

La descripción del modelo matemático del convertidor Boost se presenta en la siguiente sección. Donde se aplican las leyes de Kirchoff sobre el circuito resultante tras posicionar el interruptor en modo de encendido o apagado. En adelante, estos modos de conmutación serán representados mediante la variable de control U .

Inicialmente, se considera el modo de no conducción para el diodo ($U = 1$). La topología correspondiente se muestra en la Fig. 5, a partir de ello, se obtiene el sistema de ecuaciones diferenciales dado por la ecuación (5) y (6), en las cuales se implementa el controlador definido como:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (3)$$

donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} \right) \quad (4)$$

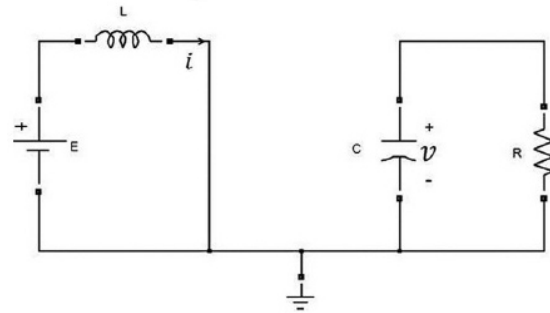


Fig. 5. Convertidor Boost en modo de no conducción.

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen estacionario será siempre cero.

2. DISEÑO DEL CONVERTIDOR BOOST

Para obtener el modelo matemático que describe la dinámica del convertidor Boost, se aplican las leyes de Kirchoff sobre el circuito resultante tras posicionar el interruptor en modo de encendido o apagado. La topología correspondiente se muestra en la Fig. 5 y 6. A partir de ello, se obtiene el sistema de ecuaciones diferenciales dado por las siguientes ecuaciones:

$$L \frac{di}{dt} = E \quad (5)$$

$$C \frac{dv}{dt} = -\frac{v(t)}{R} \quad (6)$$

donde $i(t)$ representa la corriente que pasa por el inductor, al tiempo que $v(t)$ es la tensión en el capacitor. Asimismo, los parámetros R , L , C y E representan para el circuito, respectivamente, los valores de resistencia, inductancia, capacitancia y tensión de entrada constante. Una segunda topología de circuito corresponde al modo de conducción para el diodo ($U = 0$), la cual se muestra en la Fig. 6. El sistema de ecuaciones diferenciales que describe este modo de operación, está dado por las ecuaciones (7) y (8).

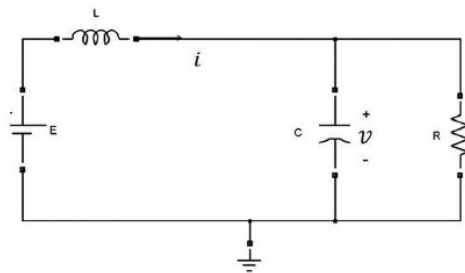


Fig. 6. Convertidor Boost en modo de conducción.

$$L \frac{di}{dt} = V + E \quad (7)$$

$$C \frac{dv}{dt} = -\frac{v(t)}{R} \quad (8)$$

Posteriormente, tras combinar las ecuaciones (5) y (8), se puede obtener el modelo del sistema unificado incorporando la acción de control U de la manera presentada en la ecuación (3), donde se definen como variables de estado la corriente en el inductor $x_1 = i(t)$ y la tensión en el condensador $x_2 = v(t)$ siendo U un valor binario que relaciona la posición del conmutador y obteniendo:

$$\dot{x}_1 = \frac{V^2}{R} \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{E}{(1-U)} \quad (10)$$

2.1 Descripción del sistema

El convertidor CD-CD tipo Boost es un sistema que nos permite elevar el voltaje de entrada respecto al voltaje de salida. Para obtener esos resultados, se lleva a cabo mediante un proceso de conversión utilizando diferentes elementos, como se muestra en el diagrama de la Fig. 7. En la Tabla 1. Se muestra las especificaciones del módulo fotovoltaico utilizado.

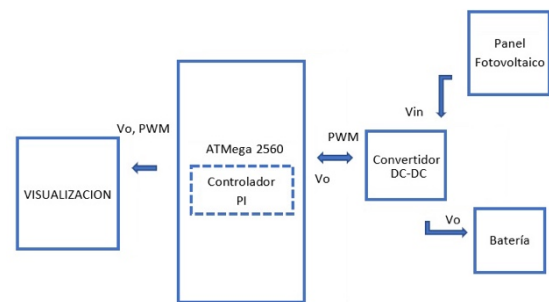


Fig. 7. Diagrama de bloques del sistema.

Tabla 1. Datos correspondientes a las especificaciones del fabricante en condiciones estándar, AM. 1.5, a una Temp de 25° y una irradiación de 1000 W/m².

Características del módulo fotovoltaico	Datos
Marca	Cermex
Modelo.	JWS130
Potencia máxima	130 W
Voltaje de máxima potencia	17.5 V
Corriente de máxima potencia	7.43 A
Voltaje de circuito abierto	21.9 V
Corriente de corto circuito.	8.25 A
Potencia mínima garantizada	123.5W
Voltaje máxima del sistema.	70 V

2.2 Modulo fotovoltaico

Para obtener un mejor conocimiento del desempeño del panel fotovoltaico se llevará una caracterización mediante la obtención de los valores de voltaje de acuerdo a la irradiación solar de 18 días.

De acuerdo al aprovechamiento de la energía solar incidente en el módulo, y por medio del efecto fotovoltaico se genera energía eléctrica de corriente directa con la finalidad de ser utilizada ya sea de manera directa a una carga del sistema o indirectamente por medio de almacenamiento de la energía de corriente directa a una batería. Para ello, en este trabajo se utiliza un panel fotovoltaico de silicio monocristalino para un sistema autónomo.



Fig. 8. Modulo fotovoltaico.

Este panel fotovoltaico fungirá como fuente de voltaje del convertidor CD-CD tipo Boost, considerando un voltaje promedio de 17.6 V, el cual también es descrito por el fabricante del mismo, como se muestra en la Tabla 1.

Debido a la necesidad de obtener el parámetro del voltaje de referencia para el diseño de los

componentes del convertidor Boost se obtuvieron del monitoreo de la irradiación de la localidad de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México. En la Fig. 9 se muestra el comportamiento de la irradiación del módulo FV monitoreado en el laboratorio de la Universidad del Istmo por medio de un sistema de adquisición de datos obtenidos de un arduino con la que se cuenta en el laboratorio, de la cual se obtuvo información correspondiente durante un periodo de 18 días. El valor promedio correspondiente es de 17.6 V, el cual fue considerado como voltaje de entrada de diseño del convertidor.

Los datos correspondientes fueron obtenidos mediante un sistema que captura el comportamiento de la irradiación, las cuales se graficaron en el software de Matlab™.

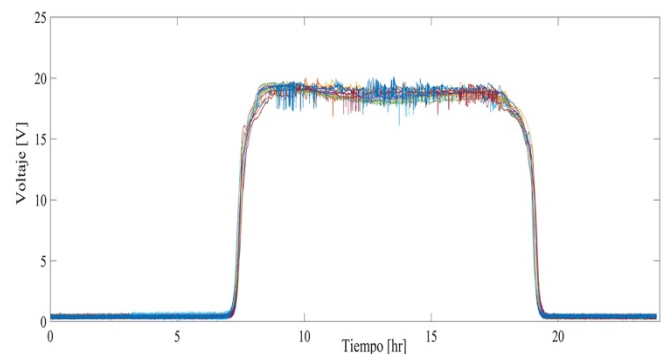


Fig. 9. Gráfica de irradiación solar analizada.

2.3 Cálculo de los elementos del convertidor

Con la finalidad de obtener los valores correspondientes de los elementos del convertidor CD-CD se utilizaron modelos matemáticos encontrados en la literatura. Los valores de los elementos se calcularon mediante los siguientes pasos:

Paso 1.- Cálculo de (Ciclo de trabajo.) “D”

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{17.6}{24} = 0.26 \quad (11)$$

Paso 2. Cálculo del inductor (L)

$$L = \frac{V_{in}D}{\Delta i_{(ON)}f_s} = \frac{(17.6)(0.26)}{(0.2)(\frac{130}{24})(20000)} = 2.1 \text{ mH} \quad (12)$$

Paso 3. Cálculo del capacitor (C)

$$L = \frac{DI_o}{\Delta_o V_o f_s} = \frac{DV_o}{\Delta_o V_o R f_s} = \frac{DP_o}{\Delta_o V_o V_o f_s} = \frac{(0.26)(130)}{(0.5)(24)(20000)} = 120 \mu F \quad (13)$$

Paso 4. Cálculo del interruptor I_Q

$$I_Q = \frac{I_o D}{1-D} = \frac{V_{in} D}{R(1-D)} = \frac{P_o D}{V_o (1-D)} = \frac{(130)(0.26)}{(24)(1-0.26)} = 1.96 \text{ Amp} \quad (14)$$

Paso 5. Cálculo de la corriente pico en el interruptor (I_{pkQ})

$$I_{pkQ} = \frac{I_o}{1-D} + \frac{V_{in}}{2Lf_s} = \frac{5.41}{1-0.2667} + \frac{(17.61-24)(1-0.2667)}{2(2.3mH)(20000)} = 7.38 - 0.51 = 6.87 \text{ Amp}$$

Paso 6. Tensión máxima en el Diodo

$$V_{AK} - OFF = V_o = 24 \text{ VCD} \quad (16)$$

Estos valores obtenidos nos permiten realizar la simulación del convertidor CD-CD para llevar a cabo un análisis de su comportamiento y poder validar los valores para el proceso de compra de los elementos

Tabla 2. Valores de elementos calculados

Componente	Valores
Inductor	2.3 mH
Capacitor	120 uF
IGBT	FGA25N12 0
Resistencia	4.43 ohms

2.4 Tarjeta de desarrollo

El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560, tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, Jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino MEGA.

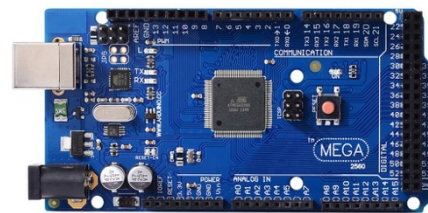


Fig. 10. Tarjeta Arduino.

2.5 Convertidor CD-CD

Los elementos que forman parte del convertidor [Boost CD-CD están dadas por un inductor, capacitor, resistencia, diodo, IGBT y carga, los cuales fueron calculados en el apartado anterior, los cuales se representan en la Tabla 2. De acuerdo a las

características de cada componente a utilizar en el circuito del convertidor Boost.

La inductancia es la medida de la oposición a un cambio de corriente de una bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético y su unidad en el sistema internacional es el Henrio (H) en honor al científico Joseph Henry. En este trabajo, se llevó a cabo la construcción del inductor, ya que no se encontró uno de manera comercial.

Para llevar a cabo la construcción del inductor, se toman en cuenta el calibre del alambre, el número de vueltas, entre otras consideraciones que se describen en la literatura, teniendo como resultado el inductor de la Fig. 11.

Mediante el modelo de simulación que se muestra que, se lleva a cabo el desarrollo del algoritmo de control que será implementado en la tarjeta de desarrollo ATmega. Para ello, utilizamos el software de Arduino para poder realizar el diagrama de bloques que describa el sistema de control. En la simulación se muestran diferentes módulos utilizados en el diagrama del sistema, los cuales son bloques de ganancias y constantes, bloque de integral, sumador y limitador, así como bloques dedicados al controlador.

En el apartado de la construcción del convertidor, se llevó a cabo el diseño de la tarjeta PCB, el cual se realizó por medio del software Eagle. Una vez impresa la tarjeta, se procedió a taladrar los pines en donde se colocaron los componentes. Los elementos que se utilizaron en el convertidor son los antes mencionados, el capacitor, IGBT, diodo y el inductor. Cabe mencionar, que el inductor fue

construido debido a que el valor resultante del diseño no concordó con un valor comercial.

3. CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DEL CONVERTIDOR

En el desarrollo y construcción del convertidor, se llevó a cabo el diseño de la tarjeta PCB, el cual se realizó por medio del software Eagle. Los elementos que se utilizaran en el convertidor son los antes mencionados, el capacitor, IGBT, diodo y el inductor. En la Fig. 11, se muestra la construcción del convertidor ya terminado.

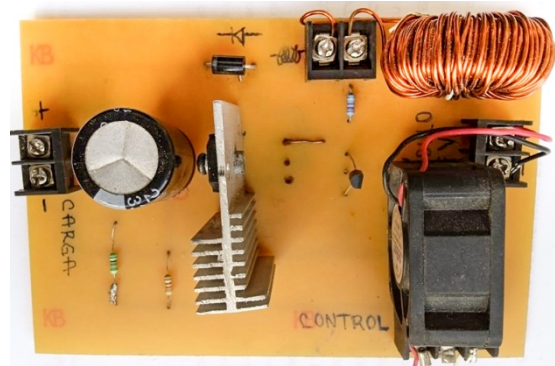


Fig. 11. Convertidor Boost construido.

3.1 Simulación del convertidor CD-CD

De acuerdo a los cálculos de los elementos que conforman el convertidor CD-CD se lleva a cabo la simulación de este para observar el comportamiento del sistema en modo de lazo abierto, es decir, sin ningún elemento de control.

Posteriormente, se realizó la simulación en lazo cerrado por medio de un sistema de control de tipo PI. Las simulaciones correspondientes se llevaron a cabo utilizando el programa de PSIM.9.1.1.

3.2 Simulación del convertidor Boost en lazo abierto

Con la finalidad de observar el comportamiento del sistema y realizar una propuesta de control adecuada a dicho sistema que nos permita hacerlo más eficiente y robusto. En la Fig. 12 se representa el diagrama de simulación del convertidor Boost en lazo abierto.

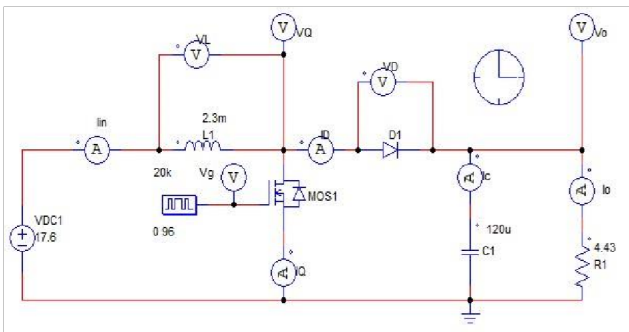


Fig. 12. Diagrama de simulación PSIM en lazo abierto.

A partir del diagrama de lazo abierto, se obtuvieron las variables de I_o , V_o , V_{in} y I_{in} respectivamente.

En la Fig. 13 se muestra los valores de la variable I_o teniendo un comportamiento adecuado, con un rizo de corriente de 0.1 A y teniendo un pico de arranque de 5.7 A.

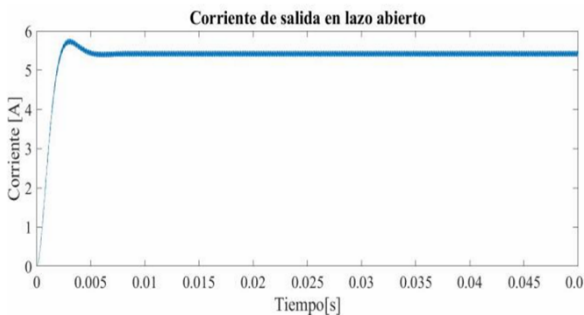


Fig. 13. Gráfica de corriente de salida en lazo abierto.

En la Fig. 14 se representa el comportamiento del voltaje de salida en lazo abierto observándose que tiene una respuesta de valor de voltaje que se encuentra alrededor de los 24 V.

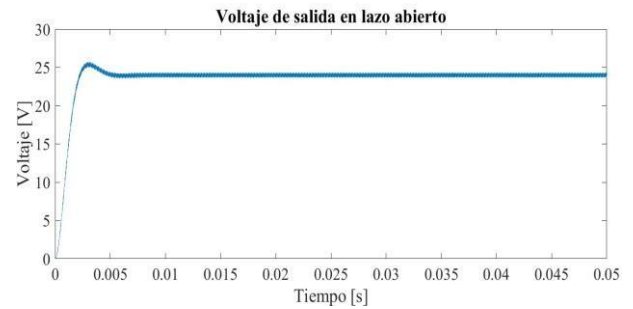


Fig. 14. Gráfica de voltaje de salida en lazo abierto.

En la Fig. 15 se presenta la gráfica de potencia de salida del sistema observando que tiene un comportamiento aceptable.

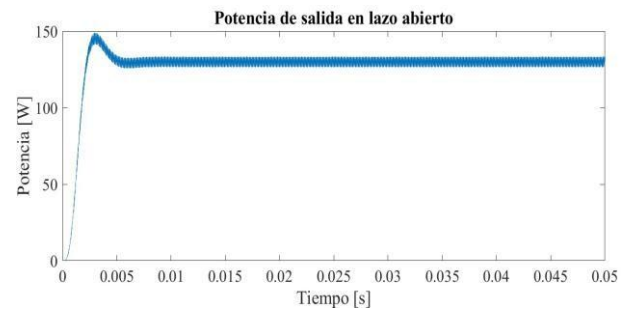


Fig. 15. Gráfica de potencia de salida del sistema.

3.3 Simulación del convertidor Boost en lazo cerrado

Después de haber realizado la simulación del sistema en lazo abierto y haber observado el comportamiento del mismo, se procede a cerrar el lazo por medio de un sistema de control, en este caso, se utiliza un

control de tipo PI (Proporcional-Integral) de acuerdo a la ecuación 3 como se muestra en la Fig. 16.

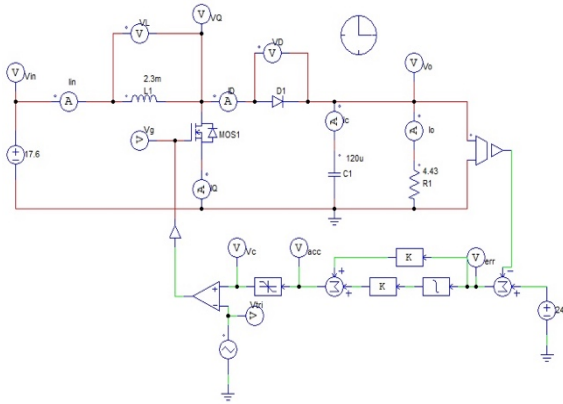


Fig. 16. Diagrama de control en lazo cerrado.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 Implementación de la tarjeta de desarrollo

Para la implementación del controlador, primeramente, se llevó a cabo el desarrollo del sistema de control de tipo PI en una tarjeta de desarrollo ATmega 380, lo anterior, con fines experimentales de diferentes estrategias de control y bases para proyectos a futuro. Para ello, se utiliza la generación de una señal PWM como señal para controlar el voltaje de salida del sistema por medio de una referencia de 24V. Por lo tanto, se realiza un código por medio de la plataforma Arduino, y posteriormente se implementará en el ATmega.

Así mismo, se utilizó un sensor de voltaje en el puerto A1, así como la señal PWM en el pin 3. Para poder monitorear las variables antes mencionadas, se utilizó el monitor serial de la plataforma, con el puerto de comunicación de recepción (Rx) y transmisión (Tx).

En este apartado, se describirán los resultados experimentales del convertidor CD-CD de tipo Boost, en lazo abierto y en lazo cerrado mediante pruebas experimentales con cargas resistivas e inductivas, donde estas nos permitirán conocer el desempeño y fiabilidad del convertidor ante diferentes perturbaciones.

Para llevar a cabo la simulación pertinente del sistema en lazo abierto, esto nos brindará una información del comportamiento del sistema. Así mismo, en la Fig. 17 se muestran los equipos utilizados para llevar a cabo la implementación del convertidor.

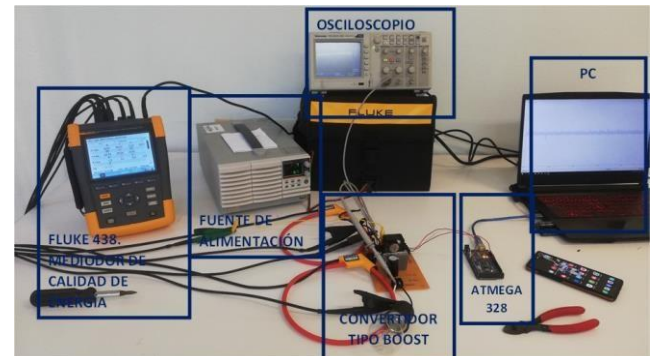


Fig. 17. Sistema completo.

4.2 Prueba de carga en lazo abierto

El convertidor Boost se utiliza para elevar un voltaje CD. En un convertidor CD-CD de tipo Boost el voltaje de salida es mayor que el voltaje de entrada. En este caso, el voltaje de entrada del convertidor CD-CD es de 17.6 V y un voltaje de salida de 24 V.

Así mismo, mediante la prueba en lazo abierto se ha obtenido un valor mínimo de 24.3 V, siendo aproximado al valor de 24 V que se requiere para su aplicación como se muestra en la Fig. 18.

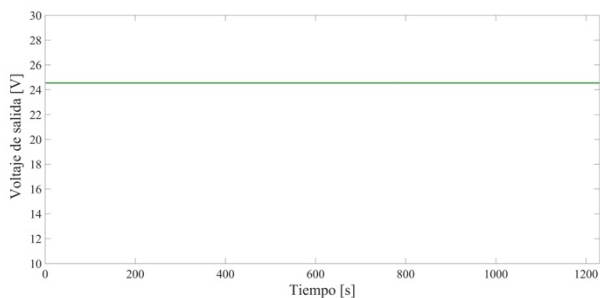


Fig. 18. Gráfica de voltaje de salida en lazo abierto con carga resistiva y batería.

4.3 Prueba de carga en lazo cerrado

Posteriormente, después de haber obtenido resultados favorables del convertidor CD-CD en lazo abierto, se procede a llevar a cabo la implementación de la ley de control con la finalidad de obtener una referencia de 24 V, el cual es requerido para la aplicación. Para ello, como se mencionó anteriormente, se lleva a cabo la implementación de un control de tipo PI en un ATmega 2560 para fines experimentales.

Llevando a cabo las mediciones correspondientes, se obtienen los voltajes, en este caso, voltaje de la carga a partir de una referencia de 24 V, como se muestra en la Fig. 19, teniendo un comportamiento relativo a la fuente de generación fotovoltaica por ser en lazo cerrado.

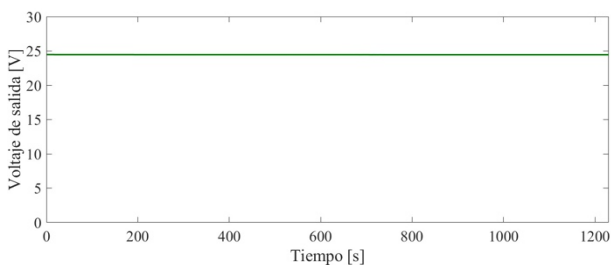


Fig. 19. Gráfica de voltaje de salida con control y carga resistiva.

Para verificar el buen funcionamiento de la estrategia de control PI, se presenta una prueba al sistema mediante una carga inductiva en conjunto de la batería, obteniendo como resultado lo mostrado en la Fig. 20, donde se observa que el voltaje oscila ligeramente en los 24 a 24.5V.

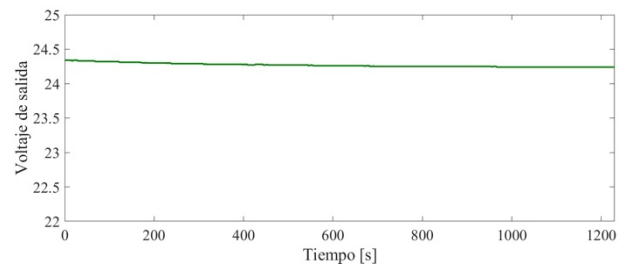


Fig. 20. Gráfica de voltaje de salida con control y carga inductiva.

4.4 Eficiencia del convertidor tipo Boost

La eficiencia se define como la razón de la energía útil que proporciona el convertidor de potencia, a la que llamaremos energía de salida E_s , y la energía que hemos “introducido” en el convertidor. Usando símbolos y empleando η para eficiencia, podemos escribir: $\eta = P_s/P_i$. En términos porcentuales se tiene:

$$\eta(\%) = \frac{P_s}{P_i} * 100$$

Por lo tanto, se sustituyen los valores de potencia obtenidos para hallar la eficiencia del convertidor, por lo que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\eta(\%) = \frac{13.35}{27.18} * 100 = 50\%$$

Entonces, podemos observar que la eficiencia del sistema es de 50% en lazo abierto.

CONCLUSIONES

Este trabajo conduce al diseño e implementación de un sistema de control para convertidores CD-CD tipo Boost, con una estrategia de control del tipo PI, el cual se encarga de cancelar las perturbaciones internas y externas que afectan al comportamiento del sistema.

Se tiene que la metodología usada para construir el inductor dio buenos resultados, dado que el valor del inductor de diseño no se encontró comercialmente. La respuesta de la estrategia de control PI fue satisfactoria para cumplir con el objetivo de regular el voltaje entregado por el módulo de paneles fotovoltaicos.

Dado el rizo obtenido del voltaje controlado, se tiene que el sistema construido coadyuvara en alargar la vida útil de las baterías. La eficiencia obtenida no fue satisfactoria, sin embargo, se obtiene experiencia para que en trabajos futuros se logre mejorar.

El presente trabajo servirá de base para realizar investigaciones referentes al seguimiento de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos.

Como trabajo futuro la plataforma experimental está abierta para la implementación de diversas

técnicas de conmutación en el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías en sistemas de control en convertidores.

REFERENCIAS

- D'Alessio, L. A., González, L. G., & Cáceres, R. O. (2014). Diseño y Construcción de un Convertidor Boost de Pequeña Potencia, con Propósitos Educativos y de Investigación. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 6(2).
<https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.183>
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. Prentice Hall Hispanoamericana.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación.
- Perpiñan, O. (2012). Energía solar fotovoltaica. Recuperado de <http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>
- Sanchez, M. A. (2015). *Energía solar fotovoltaica*. LIMUSA.
- Solanki, C. S. (2013) SOLAR PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND SYSTEMS. PHI Learning Private Limited.



CELDA SOLAR DE SnSe/CdS: En busca de una mejor eficiencia mediante SCAPS 1-D

RESUMEN.

En este trabajo se describe el proceso de modelado en SCAPS 1-D de una celda solar de unión p-n simple del tipo SnSe/CdS a partir de un conjunto de parámetros experimentales. Con esto, se obtuvo una validación teórica con una buena aproximación (0.1 % experimental y 0.11 % teórico). Además, se empleó el modelo obtenido para predecir comportamientos adicionales del dispositivo y a través de los cuales se pudieron aportar condiciones teóricas que favorezcan el desarrollo experimental con la finalidad de obtener mayores eficiencias en celdas solares. En este sentido, mediante una optimización de parámetros de la capa absorbidora (SnSe), la capa buffer (CdS) y la unión entre ellos tales como la densidad de defectos, las propiedades de dichos defectos, el espesor de las películas, las resistencias en serie y paralelo, y las reflexiones internas y externas en los contactos se alcanzó una eficiencia de 17 %.

A. Carrillo-Osuna^a, F.J. Sánchez-Rodríguez^a, C.M. Yee-Rendon^a, Maykel Courel^b

*Correo electrónico: sanchezr@uas.edu.mx

ABSTRACT

In this work, the modeling process in SCAPS 1-D of a simple p-n junction solar cell of the SnSe/CdS type is described from a set of experimental parameters. With this, a theoretical validation with a good approximation (0.1% experimental and 0.11% theoretical) was obtained. In addition, the model obtained was used to predict additional behaviors of the device and through which theoretical conditions could be provided that favor experimental development in order to obtain higher efficiencies in solar cells. In this sense, by optimizing the parameters of the absorbing layer (SnSe), the buffer layer (CdS) and the union between them, such as the density of defects, the properties of said defects, the thickness of the films, the resistances in series and parallel, and the internal and external reflections in the contacts, an efficiency of 17% was reached.

Palabras clave: SnSe, Celdas solares, Simulación, SCAPS-1D

^a Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Sinaloa, C.P. 80010, Culiacán, Sinaloa, México

^b Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara, C.P. 46600, Ameca, Jalisco, México

1.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años la tendencia en el uso de fuentes de energía alternativas como las celdas solares ha ido al alza y con ello la necesidad de desarrollar mejores dispositivos, es decir que en producción y mantenimiento sean más económicos a la vez que eficientes y escalables. Celdas solares de películas delgadas basadas en materiales tales como el telurio de cadmio (CdTe), y perovskita cuyas propiedades optoelectrónicas los postulan como alternativas en un mercado dominado actualmente por las celdas solares de silicio mono y policristalino. Sin embargo, un problema que persiste en este tipo de celdas es que ciertos elementos de los cuales están constituidas son poco abundantes, y en algunos casos altamente contaminantes. Además, algunos de estos materiales pueden ser químicamente poco estables ya que sus propiedades se degradan con rapidez.

Todas estas desventajas dificultan su implementación generalizada y es por ello por lo que actualmente continúa la búsqueda de materiales novedosos y distintas configuraciones de celdas que ayuden en la promoción de esta tecnología. Uno de estos materiales novedosos es el seleniuro de estaño (SnSe), un semiconductor binario tipo p con estructura cristalina ortorrómbica, gran estabilidad química, una alta capacidad de absorción óptica para longitudes de onda cortas y un band gap entre 0.9 eV y 1.2 eV (Kumar et al., 2021), lo cual es deseable para su aplicación en celdas solares. Además, los elementos constituyentes, el selenio y estaño, son

económicos, muy abundantes, y poco o nada contaminantes. A pesar de contar con todas estas propiedades, las celdas solares que se han fabricado empleando SnSe, aún no han alcanzado eficiencias como las que teóricamente se esperarían. Diversos autores han reportado eficiencias que van desde 0.03%, 0.6% hasta 1.4%, y una eficiencia récord de una celda del tipo SnSe/CdS en torno al 6% (Abd El-Rahman et al., 2014; Barrios-Salgado et al., 2014; Mathews, 2012; Minnam Reddy et al., 2018; Shinde et al., 2014), mientras que de acuerdo con el límite teórico de las características fotovoltaicas de una celda solar como la que se aborda en este artículo, y el cual se denomina límite de Shockley-Queisser (SQ), la eficiencia máxima en condiciones ideales se encuentra cerca del 30% (Rühle, 2016).

Abordar el problema de mejorar la eficiencia de este tipo de celdas con un enfoque experimental resultaría muy costoso y tardado, pues el desarrollo de una celda solar en el laboratorio requiere definir a priori la técnica adecuada para la síntesis, los materiales y el equipo a emplear, y el número de celdas a sintetizar de acuerdo con los parámetros cuya influencia se estudia. Aunque existe en todo caso una justificación para llevar a cabo estos estudios, no siempre hay garantía de que los resultados de la investigación incidan favorablemente sobre el objetivo de mejorar la eficiencia, lo cual vuelve al enfoque experimental poco viable si no se cuenta de antemano con las propiedades que optimicen la celda. Por otro

lado, estudiar a la celda mediante el modelado y simulación, lo cual está basado en métodos numéricos, permite variar parámetros de los materiales y características de los dispositivos de manera rápida y sin suponer un costo adicional. Existen códigos diseñados para la resolución de las ecuaciones que rigen el comportamiento de los semiconductores y con los cuales es posible modelar la celda, pero, además, hay una variedad de softwares que, sin necesidad de conocer un lenguaje de programación, nos permiten modelar celdas solares y simular sus características. Uno de estos softwares es *Solar Cell Capacitance Simulator* (SCAPS 1-D), desarrollado por el departamento de electrónica y sistemas de información (ELIS) de la universidad de Gent en Bélgica, es un software de uso libre y que se ha utilizado en la simulación de una gran diversidad de celdas solares unidimensionales y cuyos resultados se encuentran publicados en distintas revistas (M. Burgelman, K. Decock, S. Khelifi, A. Abass, 1998). Hacer un modelo en SCAPS implica definir una serie de parámetros optoelectrónicos de los materiales y de distintos atributos del dispositivo que se busca modelar. Esto con el fin de resolver las ecuaciones del semiconductor y lograr así simular las características fotovoltaicas de la celda solar.

En la siguiente sección se describe el resultado de modelar una celda solar del tipo SnSe/CdS a partir de un reporte experimental y algunas de las propiedades de la celda que podemos obtener de este modelo. Además, se muestran las propiedades en las cuales el modelo predice se obtienen mejores eficiencias.

2.- METODOLOGÍA

2.1 Estructura de la celda solar

En el reporte de Barrios-Salgado *et al.*, se describe una celda solar (figura 1) constituida por una unión metalúrgica entre una película de seleniuro de estaño, la cual se denomina absorbedor o base y una película de sulfuro de cadmio denominada como buffer o emisor y que permite el paso de la luz y a su vez permite conformar la unión *pn*. Los contactos posterior y frontal están conformados por una película de carbono y una película de óxido de estaño dopada con flúor (FTO), el cual es un óxido conductor transparente que en las celdas solares de película delgada reemplaza a los contactos metálicos tradicionales (Barrios-Salgado *et al.*, 2014). La estructura de la celda se puede denotar como C/SnSe/CdS/FTO.



Figura 1. Estructura de la celda solar C/SnSe/CdS/FTO

3.- RESULTADOS

Cuando se busca desarrollar un modelo a partir del cual simular una celda solar, hay distintos comportamientos de esta que nos permiten darle certeza al modelo. Ejemplos de estos comportamientos son, la

curva de densidad de corriente contra voltaje (J - V), la eficiencia cuántica externa (EQE), y las curvas que describen como las características varían con cambios en la temperatura de operación de la celda. Lo ideal es que, en un modelo, cada uno de estos resultados se pueda replicar y coincida con los resultados experimentales. Desafortunadamente, no siempre es posible encontrar simultáneamente todas estas descripciones en un solo reporte, por lo que en la práctica se suelen emplear uno o dos de estos criterios. En este caso en particular, el reporte de donde se obtienen algunos de los parámetros para desarrollar el modelo únicamente describe la curva J - V , de la cual se obtienen las características fotovoltaicas que definen a una celda solar: El voltaje de circuito abierto (V_{oc}); la densidad de corriente de corto circuito (J_{sc}); el factor de forma (FF) y la eficiencia (η) de conversión, cuyos significados físicos están bien descritos en la literatura (Neamen, 2012). La figura 2 muestra una comparación entre la curva J - V de la celda experimental de Barrios-Salgado *et al* y la simulación obtenida a partir del modelo basado en este reporte. Además, se muestra una tabla en la cual se concentran las características fotovoltaicas de cada celda.

Es evidente que la curva obtenida a partir del modelo presenta algunas diferencias con respecto a la curva experimental. Algunas de las causas a las cuales se les atribuye esta diferencia son el uso de parámetros durante el modelado que no aparecen en el reporte y los cuales se obtienen de diversas fuentes; diferencias entre la lámpara empleada en la simulación y la que se empleó durante la medición y una limitada capacidad de garantizar que los datos

presentados en el reporte experimental coinciden con sus valores reales.

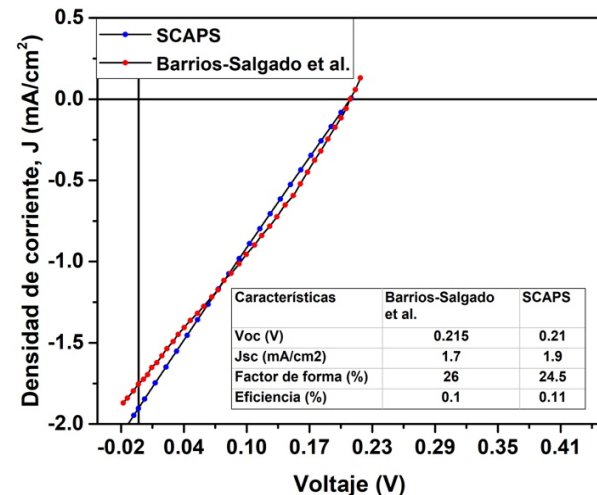


Figura 2. Curvas JV de la celda experimental (rojo) y la simulación (azul). Se muestran las características fotovoltaicas de cada celda.

Por ejemplo, de acuerdo con los autores del reporte experimental, las condiciones de iluminación bajo las cuales se obtiene la curva experimental son de $850 W/m^2$, mientras que las que se emplean para la simulación en este caso son de $872.8 W/m^2$ y resultan de delimitar las longitudes de onda presentes en las condiciones de iluminación comúnmente empleadas tanto para mediciones como simulación ($1000 W/m^2$ o AM 1.5 G).

3.1 Comportamiento de la celda solar derivados del modelo.

Como ya se mencionó, mediante la simulación es posible observar el comportamiento aproximado de algunos fenómenos que tienen lugar en la celda solar, y no siempre se han medidos experimentalmente. Tomemos por ejemplo la eficiencia cuántica

externa (EQE) de la celda solar. La eficiencia cuántica externa cuantifica la cantidad de electrones generados por longitud de onda y colectados por la celda. En la figura 3, se observa una curva de eficiencia cuántica externa contra longitud de onda, en la cual se observa que la región entre 500 y 900 nm es la que mayormente aporta a la corriente foto generada y a pesar de ello, la curva indica que cerca del 18% de los electrones generados son colectados por la celda. Esto se debe en parte a los defectos en el volumen del absorbedor y el buffer y a las pérdidas debido a la presencia de resistencias en serie y baja resistencia en paralelo, ya que impiden que los electrones colectados se conduzcan hacia el exterior de la celda y en su lugar originen corrientes parásitas en el dispositivo (Gray, 2011).

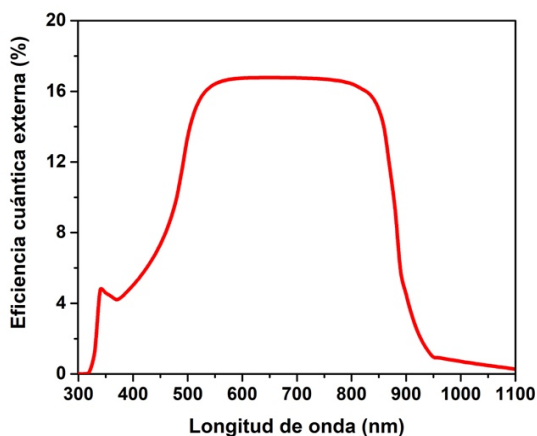


Figura 3. Eficiencia cuántica externa simulada de la celda solar C/SnSe/CdS/FTO.

3.2 Optimización de la celda solar de SnSe

Mediante la variación de parámetros del absorbedor, el buffer y la unión entre ellos tales como la densidad

de defectos, las propiedades de dichos defectos, el espesor de las películas, las resistencias en serie y paralelo, y las reflexiones internas y externas en los contactos es posible encontrar un conjunto de parámetros bajos los cuales la celda solar presente las mejores características fotovoltaicas. Uno de los principales fenómenos responsables de la baja eficiencia en celdas solares es la recombinación, fenómeno en el cual los portadores de carga generados por la luz que se conducen por el semiconductor vuelven a un estado menor de energía. Hay dos tipos de recombinación que resultan de mayor relevancia en la celda solar SnSe/CdS. El primero de ellos es el mecanismo de recombinación radiativo. Siempre presente en el semiconductor, este mecanismo se debe esencialmente a la relajación de los electrones de la banda de conducción a la banda de valencia y tiene como resultado la emisión de un fotón con energía igual al band gap del semiconductor (transición de banda a banda). El segundo tipo, es el mecanismo de recombinación no radiativo, debida a la relajación de electrones de la banda de conducción a estados energéticos discretos asociados a los defectos y los cuales se localizan dentro del band gap del semiconductor (transición de banda a defecto). La condición bajo la cual se obtienen las mejores características de una celda solar es en ausencia de defectos y con resistencias ideales. Las características obtenidas bajo esta condición se encuentran en lo que se denomina límite radiativo. Para simular dichas características, se omiten los defectos en el absorbedor, el buffer, y en la intercara entre el absorbedor y el buffer. Además, se asume a la resistencia en serie como

nula y a la resistencia en paralelo como muy grande. En la figura 4, se muestra la curva J - V bajo el límite radiativo obtenida a partir del modelo.

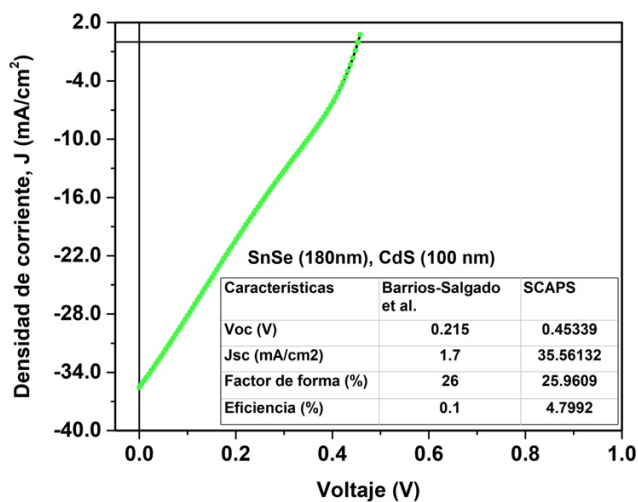


Figura 4. Curva J - V bajo el límite radiativo. Se muestra una tabla con las características reportadas experimentalmente y las obtenidas mediante la simulación. El espesor del absorbedor es de 180 nm y el del buffer es de 100 nm.

Comparando las características presentadas en la tabla podemos ver un incremento en el V_{oc} , J_{sc} , el factor de forma y la eficiencia. Es evidente el papel que las resistencias en serie y en paralelo, en conjunto con la presencia de defectos, tienen sobre la celda. La aparición de corrientes parásitas, un bajo tiempo de vida media de los portadores de carga y una corta longitud de difusión se explican en gran

medida si se analiza desde la perspectiva del transporte de cargas. Este resultado nos dice que teóricamente, una celda solar de unión pn simple de SnSe y CdS con espesores de 180 nm y 100 nm respectivamente, podría alcanzar una eficiencia cercana al 5%. Sin embargo, se ha mencionado ya que el límite SQ de eficiencia para este material absorbedor se encuentra en torno al 30%, por lo que es necesario indagar qué otros parámetros pueden contribuir al desarrollo de una mayor eficiencia.

Anteriormente, se describió que el papel del SnSe es absorber la mayor cantidad de luz posible pues esta se encarga de generar portadores de carga, mientras que el papel del CdS es permitir el paso de la luz y a su vez ayudar a conformar la unión pn . Por este motivo, si se busca absorber una mayor cantidad de luz y evitar pérdidas por transmisión y reflexión, una de las estrategias es emplear mayores y menores espesores en el absorbedor y buffer, respectivamente. En la figura 5, se muestran las características fotovoltaicas de la celda con distintos espesores de absorbedor. Como se puede ver, la eficiencia aumenta conforme aumenta el espesor y ocurre una desaceleración en dicho incremento debido a limitaciones con la cantidad de luz que puede ser absorbida por el material, por tanto, incrementar el espesor indefinidamente, no aumenta la eficiencia indefinidamente y además resultaría en un gran gasto de materiales.

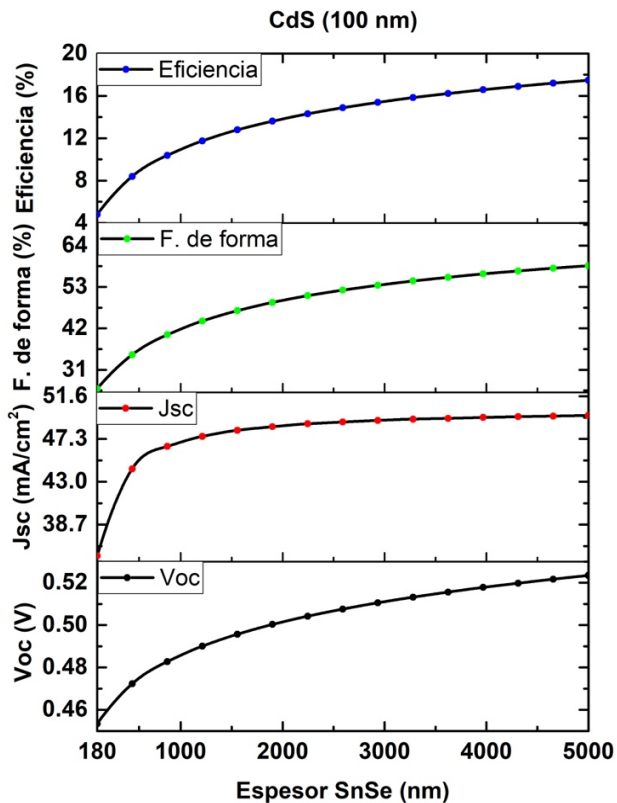


Figura 5. Simulación de características fotovoltaicas contra espesor del absorbedor bajo el límite radiativo. El espesor del buffer se mantiene fijo en 100 nm.

Finalmente, como resultado de los análisis presentados anteriormente se obtuvo la curva J - V de la celda solar que presenta las mejores características fotovoltaicas, es decir, una mayor eficiencia y factor de forma (figura 6). Podemos ver también que J_{sc} tiene un valor de 49.66 mA/cm^2 , el cual es cercano a lo que establece el límite SQ ($\approx 52 \text{ mA/cm}^2$). En este punto es importante mencionar que un criterio que debemos emplear cuando se esté simulando con un modelo realizado en SCAPS (o con otras herramientas), consiste en comprobar que las características

fotovoltaicas no excedan a las establecidas por el límite SQ cuando la simulación se lleve a cabo en las condiciones más idealizadas (límite radiativo, sin pérdidas por reflexión o transmisión).

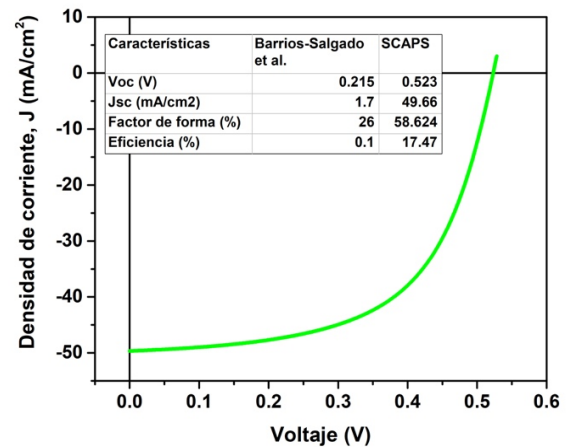


Figura 6. Simulación de la curva J - V de la celda con las mejores características fotovoltaicas bajo el límite radiativo y con espesores óptimos. El espesor del absorbedor es de $3 \mu\text{m}$, el espesor del absorbedor se mantuvo fijo en 100 nm.

4. CONCLUSIÓN

En este artículo se ha presentado de manera breve, el proceso para desarrollar un modelo de una celda solar del tipo SnSe/CdS mediante SCAPS. Los resultados de esta simulación se han comparado con los presentados en un reporte experimental que sirvió de base para el desarrollo del modelo mostrando buena concordancia entre ambos. Además, se describió la eficiencia cuántica externa (EQE) como un ejemplo de las posibilidades que SCAPS otorga, para comprender distintos fenómenos que tienen lugar en la celda solar. Finalmente, se mostró como

bajo el límite radiativo se obtienen mejores características fotovoltaicas, pero, además, que hay otros parámetros, como el espesor del absorbedor, que influyen en dichas propiedades. Particularmente, para mostrar este punto, se simuló una celda solar basada en SnSe/CdS, bajo el límite radiativo y con espesores de absorbedor de $3\mu\text{m}$ y del buffer de 100 nm , y arrojó un V_{oc} de 0.52 V , una J_{sc} de 49.66 mA/cm^2 , un factor de forma de 59% y una eficiencia en torno al 17%.

REFERENCIAS

- Abd El-Rahman, K. F., Darwish, A. A. A. & El-Shazly, E. A. A. (2014). Electrical and photovoltaic properties of SnSe/Si heterojunction. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 25, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2013.10.003>
- Barrios-Salgado, E., Nair, M. T. S. & Nair, P. K. (2014). Chemically Deposited SnSe Thin Films: Thermal Stability and Solar Cell Application. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 3(8), Q169–Q175. <https://doi.org/10.1149/2.0131408jss>
- Gray, J. L. (2011). The Physics of the Solar Cell. In *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (pp. 82–129). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470974704.ch3>
- Kumar, M., Rani, S., Singh, Y., Gour, K. S. & Singh, V. N. (2021). Tin-selenide as a futuristic material: properties and applications. *RSC Advances*, 11(12), 6477–6503. <https://doi.org/10.1039/d0ra09807h>
- M. Burgelman, K. Decock, S. Khelifi, A. Abass. (1998). A user program for realistic simulation of polycrystalline heterojunction solar cells: SCAPS-1D. *Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 672–675. <http://hdl.handle.net/1854/LU-281948>
- Mathews, N. R. (2012). Electrodeposited tin selenide thin films for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 86(4), 1010–1016. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.012>
- Minnam Reddy, V. R., Lindwall, G., Pejjai, B., Gedi, S., Kotte, T. R. R., Sugiyama, M., Liu, Z. K. & Park, C. (2018). α -SnSe thin film solar cells produced by selenization of magnetron sputtered tin precursors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 176(September 2017), 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.12.003>
- Neamen, D. A. (2012). *Semiconductor physics and devices: basic principles* (Fourth Ed). McGraw-Hill.
- Rühle, S. (2016). Tabulated values of the Shockley–Queisser limit for single junction solar cells. *Solar Energy*, 130, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.015>
- Shinde, D. V., Min, S. K., Sung, M. M., Shrestha, N. K., Mane, R. S. & Han, S. H. (2014). Photovoltaic properties of nanocrystalline SnSe-CdS. *Materials Letters*, 115, 244–247. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.10.073>



UNIVERSIDAD DEL ISTMO

CAMPUS JUCHITÁN

LICENCIATURA EN ENFERMERÍA

En esta carrera, podrás desarrollar destrezas para desempeñarte en el área asistencial, administrativa, docente y de investigación.

www.unistmo.edu.mx



Arte: Aylín Matamoros

Ciudad Universitaria s/n Carretera Transistmica
Juchitán-La Ventosa km. 14 La Ventosa; Oaxaca.

Tel. 971 7127050 ext. 312

ANIMACIÓN Y TRAZO DE RAYOS EN ÓPTICA GEOMÉTRICA CON PROCESSING

RESUMEN

Una tarea importante es la simulación de sistemas ópticos como los utilizados en colectores solares o reflectores de luz para luminarias eficientes. Aunque existen varios paquetes comerciales, estos presentan un costo elevado. También existen varios lenguajes de programación, pero la realización de gráficos requiere de bibliotecas especiales que no siempre están disponibles para todos los sistemas operativos y la creación de interfaces gráficas presenta una distracción importante. Processing es un lenguaje de programación basado en Java orientado a la producción de animaciones. En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir de bibliotecas de graficación y trazo de rayos creadas en Processing. De manera sistemática se eligieron diversos sistemas ópticos a simular y se analizó cualitativamente la salida del programa con el fin de crear un programa de simulación óptica físicamente correcto. Como resultado no sólo se ha obtenido software de simulación, sino también algunos parámetros de diseño para sistemas de colección solar. Se concluye que a pesar de que Processing, a pesar de ser un lenguaje muy simple, es eficiente para la elaboración de complejas simulaciones y animaciones en óptica.

ABSTRACT

One important task is the simulation of optical systems such as those used in solar collectors or light reflectors for optimal lighting systems. There are some commercial programs available for this task, but they use to be expensive. There are also several programming languages, but plotting capabilities require extra libraries which not always are available for all operating systems and building Graphical User Interfaces (GUI) make an important distraction. Processing is a Java based programming language intended for animation production. In this paper, results obtained by creating plotting and ray tracing libraries are shown. Systematically, several optical systems were simulated and qualitatively analyzed the results in order to obtain a physically correct optics simulation software. As result, not only simulation software was obtained but some design parameters for a solar collector system. It is concluded, despite Processing being a very simple language, it allows the creation of optical systems animations and complex simulations.

Palabras Clave: Óptica geométrica, trazo de rayos, Processing, energía solar.

A. Castañeda-Mendoza^{a*}
e-mail: alvaro.c.m@gmail.com

^aUniversidad del Istmo, Campus Tehuantepec,
C.P. 70760, Oax., México

1. INTRODUCCIÓN

La parte de la física que trata con los fenómenos relacionados con la luz y su interacción con la materia se llama óptica, y debido a la gran importancia del concepto de luz el humano la ha estudiado desde tiempos inmemoriales.

Alrededor de los siglos V o VI a.C. en la india se desarrollaron teorías sobre la luz, de acuerdo a tres escuelas: Sāmkhya, Vaisheshika y Budista. En la primera la luz es uno de los elementos “sutiles” de los cuales emergen los elementos “brutos”. Para la segunda se trata de una teoría atómica, donde los átomos básicos son los de la Tierra, el Agua, el Fuego y el Aire, que se combinan para formar moléculas más grandes, siendo los rayos de luz corrientes de alta velocidad de los átomos de Fuego. Finalmente, para la tercera, la luz es una entidad atómica equivalente a la energía, similar al concepto moderno de fotones que conforman toda la materia (Musa & Srivastava, 2020)

No es de extrañarse que también existiesen teorías Griegas y Helenistas, que en el siglo V a.C., postulado por Empedocles, se creía que Afrodita hizo el ojo humano a partir de los cuatro elementos y que dio fuego al ojo que producía un brillo que le permite ver. También postulaba una interacción entre los rayos de los ojos y los rayos de otras fuentes (Musa & Srivastava, 2020)

Cerca del año 300 a.C. Euclides ya usaba el término Óptica (título de uno de sus escritos) quien postula que la luz viaja en forma de líneas rectas y también llegó a describir y estudiar matemáticamente las leyes de la reflexión, mientras que en el 55 a.C. Lucrecio afirma que la luz proveniente del sol estaba

conformada por partículas, teoría poco aceptada (Musa & Srivastava, 2020)

Por su parte, Descartes, proponía una teoría que requería del “plenum”, algo similar al éter, dando a la luz una naturaleza ondulatoria.

También hubieron teorías que ven la luz como partícula, sin entrar en muchos detalles, Ibn al-Haytham, Avicenna (980-1037), Pierre Gassendi (1592-1655), Newton (1675) fueron quienes proponían una teoría corpuscular. Newton, sin embargo, también hablaba de un comportamiento como onda para el fenómeno de la difracción (Musa & Srivastava, 2020)

Existen varias formas de abordar estos fenómenos, pero dada su naturaleza, la manera más evidente de explicar algunos fenómenos fue mediante el uso de rayos de luz, que no son más que una abstracción que permite representar la trayectoria de la luz mediante rayos, a esta forma en particular de estudio se le conoce como **óptica geométrica** (Musa & Srivastava, 2020) (Berger, 2010) (Paschotta, 2008). La razón por la que existe es que todas las propiedades de la luz han sido descritas conforme fueron descubiertas mediante experimentos, y cuando estas propiedades pueden ser descritas en términos de: una propagación rectilínea, velocidad finita, reflexión, refracción y dispersión, estamos en el ámbito de la óptica geométrica.

La óptica geométrica supone que la luz viaja en línea recta y se ocupa de las leyes que controlan la reflexión y la refracción de la luz (Musa & Srivastava, 2020). Es importante destacar que en esta forma de analizar los fenómenos de la luz solo está centrada en los fenómenos asociados a los rayos y nunca en cuanto a la naturaleza de la luz. La idea entonces es

trazar la ruta de los rayos que pasan por un sistema óptico para analizar su comportamiento.

En particular, un fenómeno que puede ser analizado por la óptica geométrica, pero que también es estudiado en la geometría euclidiana es el de las **cáusticas**. Sin entrar en detalles que están fuera del alcance de este documento, se puede decir que la **cáustica** asociada a una curva es la envolvente de las líneas que se obtienen reflejando rayos provenientes de un punto en una superficie (Berger, 2010) Esta misma definición se puede emplear directamente en la óptica geométrica cambiando el término “rayos” por rayos de luz”, “punto” por “fuente de luz” y “superficie” por “superficie reflectora. Desde otro punto de vista, podemos pensar en la **cáustica** como aquel lugar geométrico que se obtiene tomando un punto en una superficie y trazar su “desenvolvimiento” con ayuda de una cuerda tensa, a dicho lugar geométrico se le llama **involuta**, pero solo cuando esta es algebraica se trata de una **cáustica** (Berger, 2010). La figura 1 muestra dos **cáusticas**. En 1a se puede observar una superficie conformada por un canal de perfil circular segmentado e iluminada por una fuente de luz aproximadamente puntual (una barra de LEDs perpendicular a la sección del perfil), si bien los rayos incidentes no se pueden observar, los reflejados se ven claramente, la zona de concentración es la **cáustica**. En 1b se puede observar el mismo fenómeno para una superficie de canal de perfil parabólico. Dada la naturaleza de la fuente de luz no todos los rayos inciden paralelamente al eje de la parábola, haciendo que la **cáustica** no corresponda al conocido (y esperado) punto. La **cáustica** resultante es similar a la mostrada en la figura 3. Las primeras investigaciones, oficialmente, datan de 1682 por Tschirnhausen (en *Inventa nova, etc., Acta Eruditorum*, pp. 364.) quien también

trató el problema de las **cáusticas** (Paschotta, 2008). Uno de los problemas de la antigüedad era cómo enfocar los rayos del sol con el fin de controlar sus efectos, por lo que la gente de aquellos tiempos buscaba la manera de construir superficies reflectoras que lograran los efectos deseados sobre los rayos de luz, cabe destacar que eso es precisamente lo que ahora se llama **problema inverso**. Cuando las **cáusticas** fueron descubiertas, estas fueron determinadas como la **envolvente** de los rayos secundarios, ya fuesen reflejados o refractados, pero el mismo Tschirnhausen, en el documento citado previamente, es quien concibe a la **cáustica**, también, como el lugar en donde se cruzan los rayos que es el mecanismo utilizado en los cálculos de este trabajo (Paschotta, 2008). Intuitivamente, se puede decir que la **cáustica** es aquella región o curva donde los rayos de luz se concentran. Debido a que esta concentración de rayos de luz en ocasiones es capaz de quemar algunos materiales es que fue llamada **cáustica**, del griego $\kappa\alpha\upsilon\sigma\tau\acute{o}\varsigma$ que significa quemar.

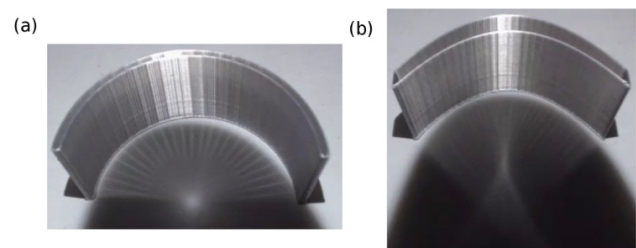


Figura 1. Cáusticas formadas por superficies segmentadas reflectoras alumbradas con una fuente aproximadamente puntual. En ambos casos se pueden observar los rayos reflejados, y las zonas de concentración correspondientes a las **cáusticas** ideales. (a)Circunferencia. (b) Parábola.

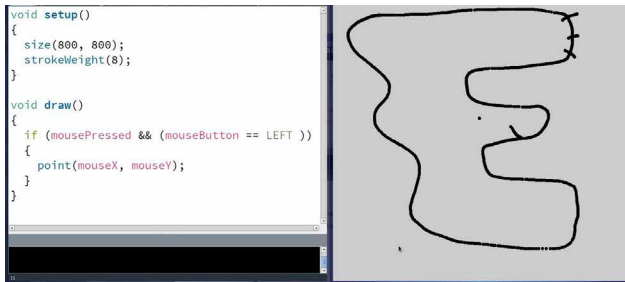


Figura 2. Captura de pantalla mostrando un programa de dibujo básico con el ratón en Processing y su entorno de desarrollo (a la izquierda) con la salida a la derecha.

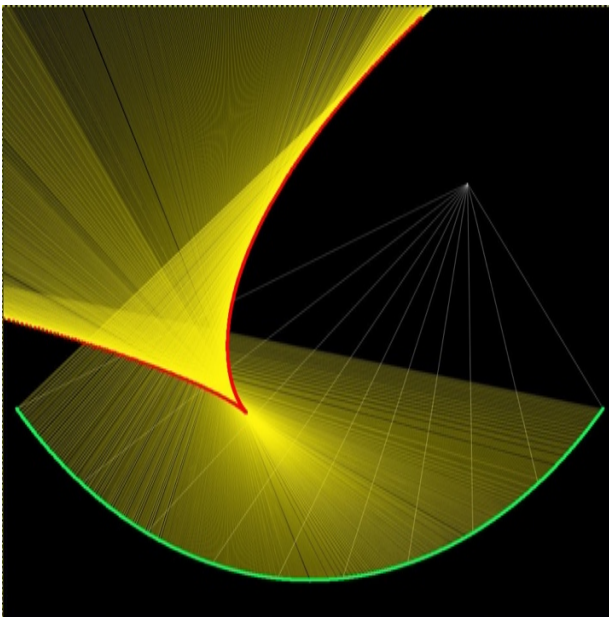


Figura 3. Captura de pantalla mostrando un perfil parabólico iluminado por una fuente de luz puntual. La línea roja superior corresponde a una pantalla nula, mientras que las líneas rojas verticales de la parte inferior son los datos para crear la pantalla nula. La curva roja es la cáustica.

Debido a la naturaleza de la luz, la óptica geométrica es suficiente para diseñar diversos instrumentos ópticos tales como telescopios, microscopios, proyectores entre otros así como la realización de pruebas ópticas (Musa & Srivastava, 2020) (Crawford, 1968) (Malacara, 1992) que permiten probar la calidad de los sistemas ópticos y sus componentes. Un grupo de pruebas son las llamadas *pruebas nulas*, en las que se busca obtener un patrón específico utilizando el sistema óptico. Si existiesen deformaciones en el patrón obtenido, entonces el sistema óptico tiene desviaciones respecto al diseño teórico (Díaz-Uribe & Campos-García, 2000).

Como caso específico y relativamente sencillo se puede considerar un colector solar de canal parabólico. El sistema, consta de una superficie alargada con perfil parabólico cuyo eje debe apuntar al sol. La ecuación para tal sistema es bien conocida y está reportada en (Malacara, 1992) donde además se plantean los términos para diversas aberraciones que no corresponden a todas las deformaciones existentes en dichos sistemas.

Otro problema a considerar es el diseño de pruebas ópticas. Un caso en particular es la prueba de pantallas nulas (Díaz-Uribe & Campos-García, 2000). Una de las tareas es calcular la pantalla nula, esto se realiza mediante trazo inverso de rayos. Posteriormente la superficie óptica es reconstruida con base en el cálculo de centroides, tal y como se describe en (Moreno-Oliva et al., 2012). Se cree que esta prueba puede ser mejorada tomando en cuenta información no considerada hasta ahora, tal como la magnitud y tipo de deformación de las manchas y posiblemente los cambios de intensidad lumínica.

El cálculo de cáusticas también es un tópico importante en el desarrollo del presente trabajo, y algunos resultados numéricos corresponden a los reportados en otros artículos y resultados futuros serán comparados de la misma manera (Castro-Ramos et al., 2013) (Marciano-Melchor et al., 2012) (Marciano-Melchor et al., 2011) (Román-Hernández et al., 2010) (Román-Hernández et al., 2009) (Román-Hernández & Silva-Ortigoza, 2008).

Para analizar casos como los presentados se desarrolló software de trazo de rayos. Uno de los resultados ya obtenidos es el análisis de la concentración de luz cuando el sistema óptico está desviado de su posición ideal respecto al sol y/o presenta diversos tipos de deformaciones, tal como se menciona en (Castañeda-Mendoza et al., 2012). Para el caso de la prueba de pantallas nulas, el mismo software puede ser utilizado tanto para diseñar pantallas nulas como para simular la prueba de pantallas nulas.

Un lenguaje usado exitosamente para el trazo inverso de rayos es Python (Moreno-Oliva et al., 2012), que es un lenguaje muy popular y también muy empleado en cálculo numérico.

La simulación de sistemas ópticos es un tópico importante en el diseño y la construcción de tales. Un caso que va a ser tomado a futuro es el diseño y optimización de sistemas de iluminación, tema importante en el ahorro de energía (Francini et al., 2012) (Campos-García et al., 2008) (Moreno-Oliva et al., 2008b) (Moreno-Oliva et al., 2008a) (Avendaño-Alejo et al., 2009) (Moreno-Oliva et al., 2009) (Moreno-Oliva et al., 2010) (Beltrán-Madrigal et al., 2010) (Dehra, 2010) (Milea et al., 2010).

Teniendo como meta la simulación de sistemas

ópticos así como algunas pruebas ópticas, el objetivo del presente trabajo es el desarrollo de rutinas y programas de simulación físicamente correcto que permita simular sistemas ópticos y elaborar programas más complejos de optimización o simulación de pruebas ópticas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo realizado es un estudio cualitativo con un diseño sistemático. Lo que se busca es tener un sistema de visualización y simulación interactivo, así que se escribe el software de acuerdo a las necesidades requeridas y cualitativamente se evalúa si cumple o no con las expectativas. De acuerdo a esta evaluación se realizan modificaciones o adiciones posteriores.

El lenguaje de programación Processing

En palabras de los autores de Processing: “Processing es un lenguaje de programación, entorno de desarrollo y comunidad en línea. Inicialmente creado para servir como borrador para software y enseñar los fundamentos de programación en un contexto visual, Processing evolucionó en una herramienta de desarrollo para profesionales. Hoy en día, hay miles de estudiantes, artistas, diseñadores, investigadores y aficionados que utilizan Processing para aprender, desarrollar y producir.” (Welcome to Processing!, n.d.).

Processing, a diferencia de otros lenguajes como FORTRAN, C o C++ está orientado muy fuertemente a la creación de gráficos y animaciones; elimina la necesidad de escribir demasiadas líneas de código para obtener una ventana gráfica en la cual dibujar la salida de un programa. Una característica es que el cuerpo principal es un ciclo, haciendo simple la creación de

animaciones. Finalmente, la interacción con el ratón es extremadamente sencilla. En la Figura 2 se muestra un volcado de pantalla mostrando un programa de dibujo básico junto con el código fuente necesario.

Processing también ofrece ciertas facilidades. Por ejemplo, tiene la capacidad de importar bibliotecas de Java y así obtener números de doble precisión. También posee estructuras de datos para vectores y primitivos de salida tales como puntos, líneas y polígonos.

Óptica geométrica con Processing

Para simular una superficie iluminada por una fuente de luz se siguen básicamente los siguientes pasos:

1. Definir la superficie. Esto puede ser realizado de dos maneras. Una es mediante funciones matemáticas de la forma $y = f(x)$, o de forma paramétrica de la forma $(x(t), y(t))$, y la otra es mediante puntos completamente arbitrarios que podrían ser dibujados con el ratón en la pantalla.

2. Definir las fuentes de luz. Los tipos de fuente de luz que pueden utilizarse son: puntual y solar. Una fuente de luz continua puede ser simulada con varias fuentes puntuales.

3. Calcular rayos incidentes a superficies. Este es un paso íntimamente relacionado con la definición de las fuentes de luz. Los rayos generados pueden tener o no estructura y tener cierta dirección preferencial de acuerdo al modelo de fuente de luz utilizado.

4. Calcular rayos reflejados por superficies. Este paso es crucial y está íntimamente relacionado con la manera como fueron generadas las superficies ópticas a simular. Para poder utilizar la ley de la reflexión

es necesario conocer el ángulo entre el rayo incidente y la normal a la superficie reflectora en el punto de incidencia, para el caso de superficies definidas con una función continua se utiliza la derivada de dicha función, pero para superficies completamente arbitrarias esto es complicado como se explica a continuación: supongamos que se desea simular una superficie con imperfecciones, el modelo a elegir debe ser realista; es cuando un modelo basado en fractales o mediante números pseudoaleatorios es buen candidato frente a deformaciones periódicas como las utilizadas en (Castañeda-Mendoza et al., 2012), tal modelo implica la utilización de funciones no derivables. En este trabajo, para evitar el uso de la derivada se utilizan segmentos para definir la superficie, mientras más pequeños es mejor. El cálculo del punto donde se interseca el rayo de luz con la superficie se obtiene mediante una combinación convexa. Para esto se consideran dos puntos contiguos \vec{a} y \vec{b} de la superficie así como un rayo cuyo origen es el punto \vec{s} y tiene dirección \vec{v} . Utilizando la combinación convexa para representar los puntos del segmento \vec{ab} y una expresión paramétrica con parámetro t para el rayo de luz se tiene que resolver el sistema de ecuaciones

$$\{\vec{y} = \alpha\vec{a} + \beta\vec{b} = \vec{s} + t\vec{v}\} \quad (1)$$

donde el vector \vec{y} es un punto del segmento entre los puntos \vec{a} y \vec{b} , mientras que el vector \vec{l} es un punto del rayo de luz con origen en \vec{s} y dirección \vec{v} siendo t el parámetro. Por supuesto se tiene la condición $\alpha + \beta = 1, \alpha, \beta \geq 0$. Una vez obtenido el punto de intersección, se procede a calcular el rayo reflejado.

5. Calcular la cáustica asociada al sistema. Por tratarse de una simulación basada en rayos, el cálculo de la cáustica se realiza encontrando la intersección de dos rayos contiguos.

6. Calcular otras cantidades de interés (pantalla nula, proyección de imágenes, etc.). Este es un paso adicional. El programa está hecho con rutinas que realizan tareas específicas. En cada ciclo del programa es posible alterar parámetros del sistema con base en una secuencia preestablecida o con base en el comportamiento del mismo sistema. De esta manera es posible crear programas que busquen una solución a determinado problema, por ejemplo mantener enfocado un sistema de colección solar, encontrar la posición ideal de una fuente de luz o la forma conveniente de una superficie para optimizar un sistema de iluminación, entre otros. También es posible simular algunas pruebas ópticas como la de pantallas nulas, permitiendo elegir los parámetros de diseño así como la forma de la pantalla.

Una característica importante a destacar es la naturaleza cíclica del lenguaje. En la Figura 2 la construcción `void draw{}` se ejecuta de manera cíclica, esto permite mostrar en cada ciclo el efecto del cambio de algún parámetro del sistema. Por supuesto en cada ciclo se pueden guardar los datos en algún medio de almacenamiento masivo para un análisis posterior o la obtención de gráficas de mejor calidad como algunas de las mostradas en el presente documento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación serán presentados algunos resultados obtenidos con el software desarrollado.

Simulación de perfiles reflectores con fuente de luz puntual, cálculo de cáustica y pantalla nula.

En la Figura 3 se muestra la cáustica (línea roja) asociada a un perfil parabólico iluminado por una fuente

de luz puntual. La simulación está realizada con 10,000 rayos. Simulación de perfiles reflectores parabólicos con fuente de luz solar y cálculo de cáustica para diseño del absorbedor térmico. En la figura 4 se puede observar la simulación del perfil de un colector solar de canal parabólico iluminado por una fuente solar. La región amarilla corresponde a 10,000 rayos de luz y el punto rojo que se aprecia es la cáustica y una ampliación a la derecha. Los datos para un sistema similar se muestran en la Figura 5a, cuya forma es la que debe tener un absorbedor térmico para tal sistema. En la Figura 5b se ha cambiado el ángulo del sol en un grado. Se muestra la cáustica original en verde y la nueva obtenida en azul. Se pueden observar dos curvas mientras la tercera se superpone con la cáustica original. Esto demuestra que un colector solar de canal parabólico no debe desviarse más allá de medio grado de su posición ideal.

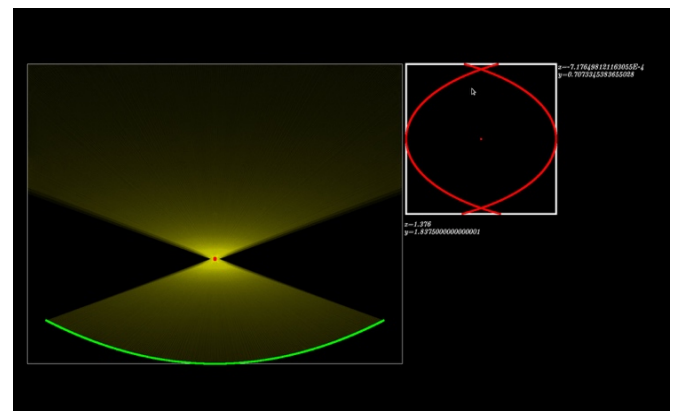


Figura 4. Captura de pantalla donde se muestra el programa utilizando bibliotecas de graficación simulando un perfil parabólico para un colector solar. A la derecha se observa la cáustica ampliada, misma que en la salida gráfica de la izquierda se aprecia como un punto. Los rayos incidentes son solares y no se muestran.

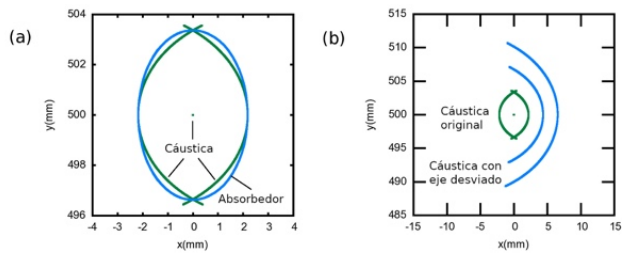


Figura 5. (a) Cústica asociada a un colector parabólico. La elipse superpuesta representa el posible diseño de un captador solar. (b) Cústica asociada a un colector solar parabólico con el eje desviado un grado de la dirección del sol. Se muestra la cústica original y la nueva.

Simulación de un colector solar segmentado de geometría variable

En la Figura 6 se puede observar la simulación de un colector segmentado de geometría variable. Este colector está siendo diseñado en el marco del proyecto PROMEP/103.5/12/3718 y consiste en un conjunto de segmentos planos reflectores que se mueven de tal manera que concentran la luz en un lugar arbitrario. En la Figura 7 se puede observar el mismo colector con dos zonas de concentración. Un resultado de esta simulación es que en caso de tener una sola zona de concentración es factible mover todos los segmentos con un único motor. Esta simulación también permite estimar el tamaño y forma óptimos para el absorbedor térmico así como la separación entre segmentos para evitar que uno ensombrezca al otro. Finalmente cabe destacar que este simulador también puede controlar los motores del sistema de seguimiento del colector.

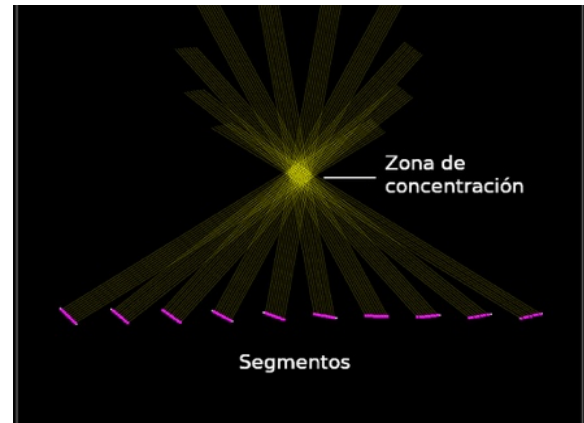


Figura 6. Simulación de un colector solar segmentado de geometría variable. Cada segmento se mueve para reflejar la luz solar en la localidad programada en el simulador.

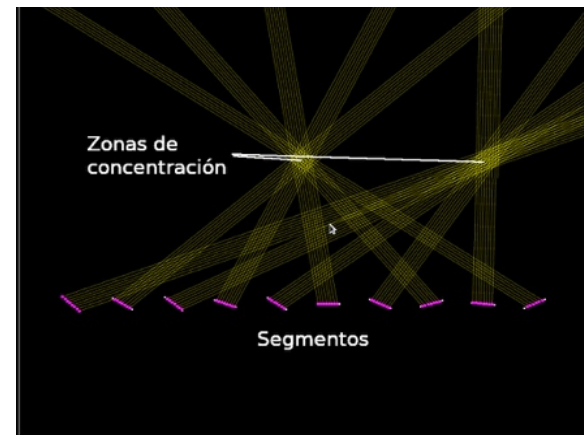


Figura 7. Simulación similar a la de la figura 6 pero esta vez se tienen dos zonas de concentración solar.

Cústicas en superficies deformadas

En la Figura 8 se muestra la cústica asociada a una superficie circular con deformaciones senoidales (Díaz-Urbe & Campos-García, 2000) con amplitud lo suficientemente pequeña como para ser observada a

simple vista en la gráfica (.01m suponiendo que la unidad de medida en la gráfica es el metro.)

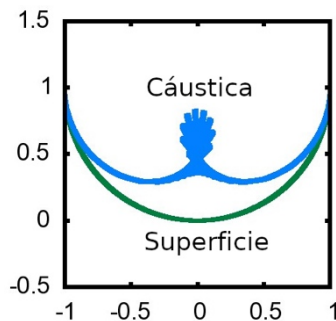


Figura 8. Cáustica asociada a una superficie circular con pequeñas deformaciones.

4. CONCLUSIONES

Existen muchos lenguajes de programación, y se ha escrito software de trazo de rayos en muchos de ellos, pero si se trata de portabilidad y sencillez en la obtención de una salida gráfica estática o animada Processing demostró ser eficiente tal y como se ha visto al realizar simulaciones de sistemas ópticos tales como colectores solares de canal parabólico o segmentados de geometría variable. Tener una biblioteca de simulación que permita obtener cálculos precisos físicamente correctos es importante para realizar otras tareas tales como el diseño de pruebas ópticas, simulación de colectores solares y su sensibilidad a errores o la optimización de sistemas de iluminación.

Agradecimientos

El autor del presente artículo agradece a la SEP por el financiamiento otorgado mediante el proyecto PROMEP/103.5/12/3718 así como la beca de PTC y el reconocimiento a la trayectoria académica.

REFERENCIAS

Avendaño-Alejo, M., Moreno-Oliva, V. I., Campos-García, M., & Díaz-Urbe, R. (2009). Quantitative evaluation of an off-axis parabolic mirror by using a tilted null screen. *Applied Optics*, 48(5), 1008-1015. <https://doi.org/10.1364/AO.48.001008>

Beltrán-Madriral, J., Campos-García, M., & Moreno-Oliva, V. I. (2010). Nuevos diseños de pantallas nulas para la prueba de un colector solar parabólico de canal. In Agustín Santiago (Ed.), *Memorias en Extenso; DOS/AMO Sesiones de Óptica (en CD-ROM)*.

Berger, M. (2010). *Geometry revealed*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70997-8>

Campos-García, M., Bolado-Gómez, R., & Díaz-Urbe, R. (2008). Testing fast aspheric concave surfaces with a cylindrical null screen. *Applied Optics*, 47(6), 849-859. <https://doi.org/10.1364/AO.47.000849>

Castañeda-Mendoza, A., Román-Hernández, E., & Moreno-Oliva, V. I. (2012). Cáusticas Generadas por superficies deformadas. *Memorias Arbitradas de La XXV Reunión Anual de Óptica.*, OA-11, 10.

Castro-Ramos, J., Marciano-Melchor, M., Marcelino-Aranda, M., Román-Hernández, E., Santiago-Santiago, J. G., Silva-Ortigoza, G., Silva-Ortigoza, R., Suárez-Xique, R., & Zárate-Paz, J. M. (2013). Wavefronts, caustics, and ronchigrams of a spherical wave reflected by a spherical mirror. *Journal of the Optical Society of America A*, 30(2), 177-188. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.30.000177>

Crawford, F. S. (1968). *Waves. Berkeley physics course*. McGraw-Hill publ.

Dehra, H. (2010). Solar energy absorbers. In R. Manyala (Ed.), *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications*. Sciyo. <https://doi.org/10.5772/10334>

Díaz-Uribe, R., & Campos-García, M. (2000). Null-screen testing of fast convex aspheric surfaces. *Applied Optics*, 39(16), 2670-2676. <https://doi.org/10.1364/AO.39.002670>

Francini, F., Fontani, D., Sansoni, P., Mercatelli, L., Jafrancesco, D., & Sani, E. (2012). Evaluation of surface slope irregularity in linear parabolic solar collectors. *International Journal of Photoenergy*, 2012, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2012/921780>

Malacara, D. (1992). *Optical shop testing*. Wiley.

Marciano-Melchor, M., Montiel-Piña, E., Román-Hernández, E., Rosado, A., Santiago-Santiago, J. G., Silva-Ortigoza, G., Silva-Ortigoza, R., & Suárez-Xique, R. (2011). Wavefronts, light rays and caustic of a circular wave reflected by an arbitrary smooth curve. *Journal of Optics*, 13(5), 055705. <https://doi.org/10.1088/2040-8978/13/5/055705>

Marciano-Melchor, M., Navarro-Morales, E., Román-Hernández, E., Santiago-Santiago, J. G., Silva-Ortigoza, G., Silva-Ortigoza, R., & Suárez-Xique, R. (2012). The point-characteristic function, wavefronts, and caustic of a spherical wave refracted by an arbitrary smooth surface. *Journal of the Optical Society of America A*, 29(6), 1035-1046. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.29.001035>

Milea, L., Zafiu, A., Oltu, O., & Dascalu, M. (2010). Theory, algorithms and applications for solar panel MPP tracking. In R. Manyala (Ed.), *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications*. Sciyo. <https://doi.org/10.5772/10337>

Moreno-Oliva, V. I., Campos-García, M., Bolado-Gómez, R., & Díaz-Uribe, R. (2008a). Point shifting in the optical testing of fast aspheric concave surfaces by a cylindrical screen. *Applied Optics*, 47(5), 644-651. <https://doi.org/10.1364/AO.47.000644>

Moreno-Oliva, V. I., Campos-García, M., & Díaz-Uribe, R. (2008b). Improving the quantitative testing of fast aspherics with two-dimensional point shifting by only rotating a cylindrical null screen. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 10(10), 104029. <https://doi.org/10.1088/1464-4258/10/10/104029>

Moreno-Oliva, V. I., Campos-García, M., Grana-dos-Agustín, F., Arjona-Pérez, M. J., Díaz-Uribe, R., & Avendaño-Alejo, M. (2009). *Optical testing of a parabolic trough solar collector by a null screen with stitching* (H. Bosse, B. Bodermann, & R. M. Silver, Eds.; p. 739012). <https://doi.org/10.1117/12.827829>

Moreno-Oliva, V. I., Díaz-Uribe, R., & Campos-García, M. (2010). Shape measurement of solar collectors by null screens. In R. Manyala (Ed.), *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications*. SCIYO. <https://doi.org/10.5772/10336>

Moreno-Oliva, V. I., Castañeda-Mendoza, A., Campos-García, M., & Díaz-Uribe, R. (2012). Improving the quantitative testing of fast aspherics surfaces with null screen using Dijkstra algorithm. *Proceedings of the SPIE.*, 801124-801125.

Musa, S. M., & Srivastava, A. (2020). *Optics: An introduction*. Mercury Learning and Information.

Paschotta, R. (2008). Optics. In *Encyclopedia of laser physics and technology* (I). Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-40828-3, <<https://www.rp-photonics.com/optics.html>>, consultado en agosto del 2020.

Román-Hernández, E., Santiago-Santiago, J. G., Silva-Ortigoza, G., & Silva-Ortigoza, R. (2009). Wavefronts and caustic of a spherical wave reflected by an arbitrary smooth surface. *Journal of the Optical Society of America A*, 26(11), 2295-2305. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.26.002295>

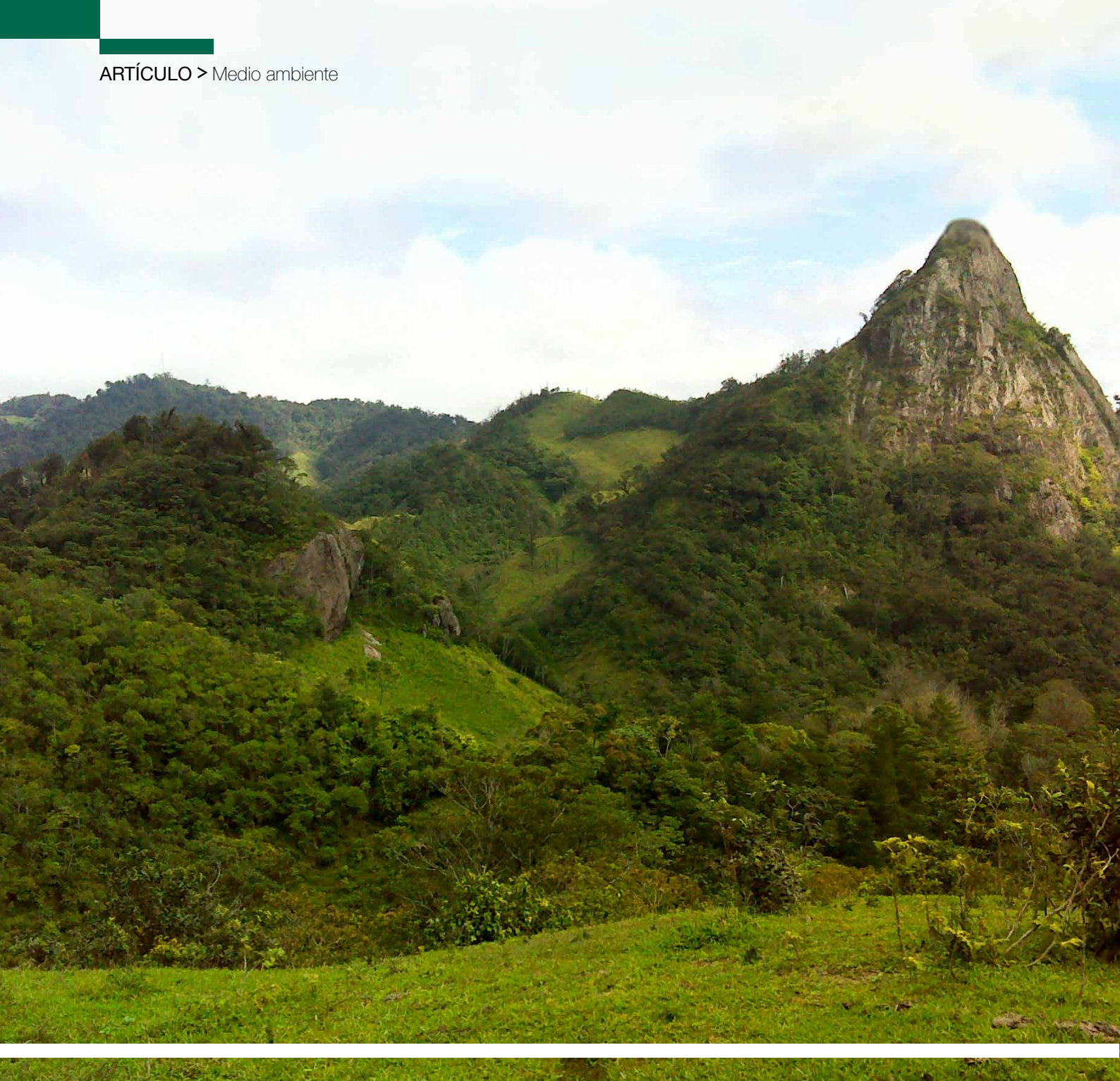
Román-Hernández, E., Santiago-Santiago, J. G., Silva-Ortigoza, G., Silva-Ortigoza, R., & Velázquez-Castro, J. (2010). Describing the structure of ronchigrams when the grating is placed at the caustic region: The parabolical mirror. *Journal of the Optical*

Society of America A, 27(4), 832-845. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.27.000832>

Román-Hernández, E., & Silva-Ortigoza, G. (2008). Exact computation of image disruption under reflection on a smooth surface and Ronchigrams. *Applied Optics*, 47(29), 5500-5518. <https://doi.org/10.1364/AO.47.005500>

Scarpello, G. M., & Scimone, A. (2005). The work of tschirnhaus, la hire and leibniz on catacaustics and the birth of the envelopes of lines in the 17th century. *Archive for History of Exact Sciences*, 59(3), 223-250. <https://doi.org/10.1007/s00407-004-0092-7>

Welcome to processing! (n.d.). Processing. Retrieved April 6, 2022, from <https://processing.org/>



CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUENCA RÍO LOS PERROS, OAXACA.

RESUMEN

La cuenca hidrológica Río Los Perros pertenece a la región hidrológica Tehuantepec RH22-Laguna Superior e Inferior en el Istmo Oaxaqueño. El Río nace cerca de la cabecera municipal de Guevea de Humboldt, fluye por nueve municipios y desemboca en la Laguna Superior cerca de Santa María Xadani. En esta cuenca se ubicaron y geoposicionaron diecisiete descargas de aguas residuales sin tratar que desembocan al río, nueve plantas de tratamiento de aguas residuales que no operan, además de trece tiraderos municipales donde se depositan los residuos sólidos urbanos. Por lo cual se concluye que el 100 % de las aguas residuales sin tratar generadas por los nueve municipios y el mal manejo de los residuos sólidos urbanos contaminan el río “Los Perros” y este a su vez al Sistema Lagunar Huave afectando la pesca principal actividad productiva de los Ikoots asentados en la zona. El objetivo de este trabajo consistió en recabar e interpretar información de la cuenca (geología, hidrografía, clima, vegetación), así como identificar sitios de contaminación (descargas de aguas residuales y basureros a cielo abierto) para su visualización en un sistema de información geográfica a fin de comprender la problemática ambiental de la cuenca Río Los Perros.

ABSTRACT

The hydrological basin of the river Los Perros belongs to the hydrological region Tehuantepec RH22-Upper and Lower Lagoon in the Oaxacan Isthmus. The river rises near the municipal seat of Guevea de Humboldt, flows through nine municipalities and discharge into the Upper Lagoon near Santa María Xadani. In this basin, seventeen discharges of untreated wastewater flowing into the river were located and geopositioned, nine wastewater treatment plants that do not operate, in addition to thirteen municipal dumps where municipal authorities throw away urban solid waste. Therefore, it is concluded that 100% of the untreated wastewater generated by the nine municipalities and the mismanagement of urban solid waste pollute the river “Los Perros” and this in turn to the Huave Lagoon System affecting the main fishing productive activity of the Ikoots settled in the area. The objective of this work was to collect and interpret information from the basin like geology, hydrography, climate, vegetation, as well as to identify pollution sites like wastewater discharges and open dumps for a visualization in a geographic information system in order to understand the environmental problems of the River Los Perros basin.

Palabras Clave: *Sistemas de información geográfica, cuenca Río Los Perros, Oaxaca.*

Elsa Mendoza Amézquita^{a*} y Jens Andreas

Seim^a

e-mail: amezquitaelsa96@gmail.com

^a Universidad del Istmo, Santo Domingo
Tehuantepec 70760, Oaxaca, México.

1. INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor rezago y severos problemas de calidad del agua, ocupa el lugar 106 entre 122 países evaluados a partir de un indicador de calidad de agua por el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Esta evaluación coloca a México como un país cuya calidad del agua debe ser una prioridad de la política hídrica (Carabias et al., 2005).

Las descargas de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamiento provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas (CONAGUA, 2016).

De acuerdo a la entrevista realizada a Eduardo Cota (Director de Restauración y Conservación Ecológica de la Asociación Mexicana Pro Conservación de la Naturaleza) en México cada cuatro segundos se genera alrededor de un millón de litros de agua residual, entre agua de drenaje, aguas grises y jabonosas. Se estima que únicamente del 20 % al 30 % del agua residual se trata a nivel nacional. En los municipios existen 2 300 plantas de tratamiento de aguas residuales de las cuales solo funciona el 40 %, debido a los altos costos de operación y mantenimiento (Bigio, 2018). Por su parte en las estadísticas del agua en México de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) presenta resultados que indican que el 76 % del agua se destina al uso agrícola, de las cuales el 63.6 % provienen de fuentes superficiales, por lo que investigar la calidad del agua de ríos es sumamente importante (CONAGUA, 2018).

La región del Istmo cuenta con dos cuencas hidrológicas de gran importancia “Río Tehuantepec” y “Río Los Perros”, que es donde se recargan los acuíferos

Oaxaca pertenece a la V Región Pacífico Sur en donde el 26.7 % de la distribución porcentual de los cuerpos de agua superficial monitoreados se encuentran catalogados como contaminados por coliformes fecales y el 16.6 % como fuertemente contaminados de acuerdo (CONAGUA, 2018).

La región del Istmo cuenta con dos cuencas hidrológicas de gran importancia “Río Tehuantepec” y “Río Los Perros”, debido a su enorme extensión, gran diversidad biológica y a que en la parte alta de esta última cuenca todavía se pueden apreciar bosque mesófilo de montaña amenazado en el resto del territorio nacional y en donde todavía un adecuado plan de manejo puede conservarlos. Esto es de gran importancia para la región del Istmo ya que es donde se recargan los acuíferos. Por lo que las acciones que se tomen en él, repercutirán no solo en la calidad de vida de los habitantes de la cuenca Río Los Perros sino en todo el Istmo de Tehuantepec.

En este trabajo de investigación se utilizó un sistema de información geográfica (SIG), el cual es una herramienta que facilita el manejo y la visualización gráfica para comprender la problemática ambiental. Algunos autores han utilizado el SIG para determinar áreas susceptibles a peligros por procesos gravitacionales (Aceves-Quezada et al., 2016). Se han aplicado en estudios de redes carreteras rurales en los cuales se obtuvieron resultados adecuados (Amaral-Manzo et al., 2016). La aplicación de los SIG se recomienda en estudios de vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas (Gaspari et al., 2011). Así

como en estudios de erosión, evaluación de susceptibilidad y riesgo con resultados exitosos (Fuzzeti et al., 2012).

Este trabajo se plantea como objetivo recopilar información existente que permita elaborar un diagnóstico ambiental de la cuenca Río Los Perros mediante la generación de mapas temáticos y ubicar las principales fuentes de contaminación al río (descargas de aguas residuales y sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos) aplicando los sistemas de información geográfica para comprender la problemática ambiental.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrológica Río Los Perros forma parte de la región hidrológica Tehuantepec RH22-Laguna Superior e Inferior, colinda al norte con la región hidrológica RH29 Coatzacoalcos, al sur con el Golfo de Tehuantepec, al este con la cuenca hidrológica Río Estancado y las lagunas Superior e Inferior, al oeste con la cuenca hidrológica Río Tehuantepec (Figura 1).

La cuenca Río Los Perros tiene una superficie de 1917 km² y cuenta con un perímetro de 396.5 kilómetros. La precipitación, principalmente entre mayo y septiembre, varía entre 800 a 1250 mm anualmente. En zonas con alturas superiores a 1000 metros se muestran mayores precipitaciones pluviales en donde se originan arroyos perennes.

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda (INEGI) en la cuenca Río Los Perros viven 163 591 habitantes (INEGI, 2010). En la figura 1 se presenta la localización de la cuenca Río Los Perros, marcado en blanco el polígono de la cuenca.

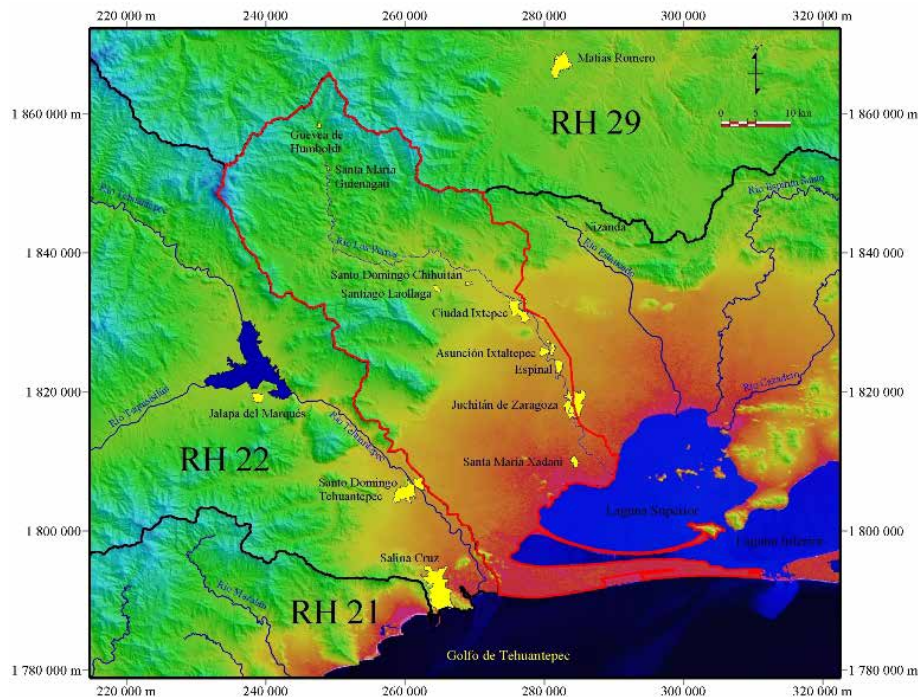


Figura 1. Localización de la cuenca Río Los Perros marcado en blanco el polígono de la cuenca.

3. METODOLOGÍA

Los recorridos en el campo se realizaron de enero a febrero de 2012 donde se identificaron 17 descargas de aguas residuales sin tratar en los nueve municipios de la cuenca Río Los Perros. Cada descarga fue georreferenciada mediante el GPS GARMIN Oregon 550, además se ubicaron trece sitios municipales de disposición final de residuos sólidos urbanos, aunque existen más, pero son particulares y clandestinos. Posteriormente en octubre de 2017 luego de los sismos ocurridos en septiembre se realizó otro recorrido de campo a fin de reconocer la zona de estudio y el funcionamiento de las nueve plantas de tratamiento.

Para el estudio del clima se recopilaron datos climáticos de cinco estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua ubicadas en cinco sitios de la cuenca.

Se utilizó el programa TNT mips de la empresa Micro Images para elaborar el sistema de información geográfica (SIG). La elaboración de los mapas temáticos se utilizaron

cartas topográficas 1:50 000 en formato GeoTiff INEGI: Guevea de Humboldt E15C52, Matías Romero E15C53, Santiago Lachiguiri E15C62, Ciudad Ixtepec E15C63, Tehuantepec E15C73, Salina Cruz E15C83. Carta Geológico-Minera Juchitán E15-10 D15-1 del Servicio Geológico Mexicano. Modelo digital de elevación de Shuttle Radar Topography Mission de la NSA <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, Imagen sa-

telital de Landsat ETM Pan Mosaics MEN-15-15_LL2000, Imagen satelital Landsat ETM LE70230482003084EDC00 y se trabajaron en el SIG – TNTmips Versión profesional 2012.

Para la estimación de producción de aguas residuales se tomaron en cuenta los datos del Censo de población del INEGI (2010) y la estimación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en Oaxaca un habitante consume 180 litros/día.

4. RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra el modelo digital de elevación de la cuenca Río Los Perros, donde se puede apreciar, que más del 50% de la superficie de la cuenca tiene una altura menor a 200 metros con una pendiente muy baja, especialmente en el parte sur, que es la llanura costera, mientras las zonas más altas son el cerro Las Flores con 2155 metros ubicado en el noroeste de la cuenca, el cerro Tres Picos con 1260 metros en el extremo norte, el cerro Guichona con 1450 metros, el cerro Grande con 1480 metros y el cerro El Campanario con 1555 metros ubicado en el noreste de la cuenca. Solo cerca 10 % de la superficie de la cuenca tiene altura mayor a 800 metros, zonas en donde se generan suficiente precipitaciones y humedad, en consecuencia, arroyos perennes. El promedio de la altura de toda la cuenca es de 304 metros sobre nivel del mar.

Una característica importante de la topografía en zonas montañosas es la pendiente expresada como un ángulo medido desde la horizontal. Un estudio de la pendiente de un terreno es muy útil para la estimación del riesgo de deslizamientos de rocas y para estimaciones del grado de erosión o para zonas de inundaciones. En la figura 3 se muestra la pendiente de la Cuenca Río Los Perros. El ángulo de la pendiente se expresa en grados

Los recorridos en el campo se realizaron de enero a febrero de 2012 donde se identificaron 17 descargas de aguas residuales sin tratar en los nueve municipios de la cuenca Río Los Perros.

entre 0 a 90 grados o en porcentaje. La pendiente en la cuenca Río Los Perros varía entre 0 a 58 grados. Las zonas de colores azul y verde varían entre 0° y 6°, se presentan en gran parte las áreas de sedimentación reciente o el Aluvi3n. Las zonas de color amarillo son pendientes entre 30° a 58°, cuales representan principalmente zonas de caliza-dolomita.

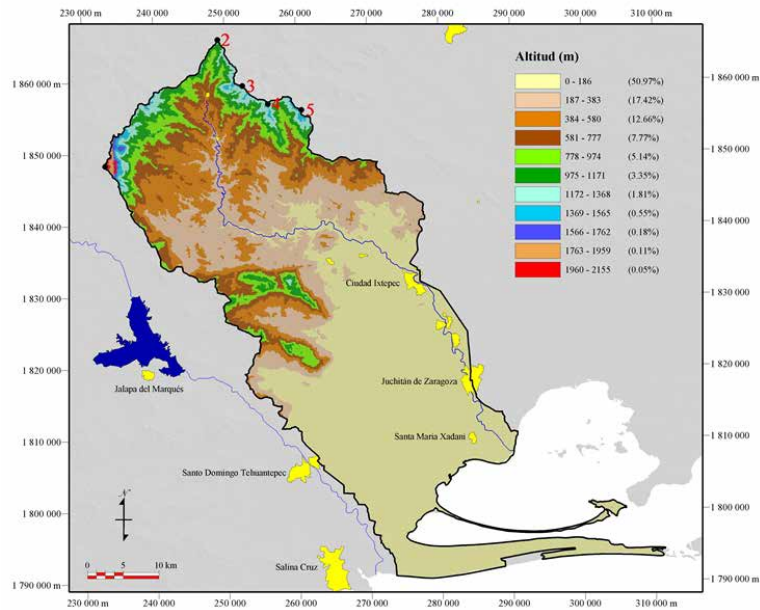


Figura 2. Modelo digital de elevación de la cuenca Río Los Perros con la ubicación de los cerros Las Flores (1), Tres Picos (2), Guichona (3), Grande (4), El Campanario (5).

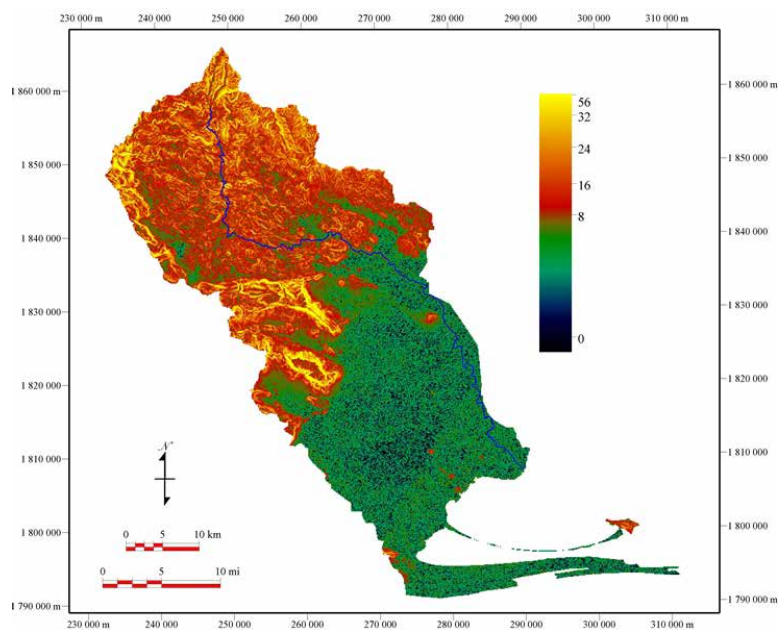


Figura 3. Pendiente en grados de la cuenca Río Los Perros.

4.1 Clima

Según datos climatológicos del servicio meteorológico nacional (SMN), el clima en toda la cuenca corresponde al tipo Aw, significa zona tropical – seco en invierno, según la clasificación de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007). La tabla 2 muestra los datos climatológicos de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca en los sitios descritos, cabe resaltar que los datos de la estación 00020330 ubicada en Laollaga no están completos.

El clima en la cuenca Río Los Perros varía, especialmente en la parte alta de la cuenca en los municipios de Guevea de Humboldt y de Santa María Guienagati, lo cual es principalmente un resultado de la diferente altitud en esta parte montañosa.

De acuerdo a Etling (1996) la temperatura presenta una reducción en la atmósfera de 0.65°C/100m. Spreen (1947) predice un aumento de la precipitación de aproximadamente 7.5% con la altura. Si consideramos estos factores, podemos estimar la temperatura y la precipitación en las zonas más elevadas, debido a que no se cuenta con estaciones meteorológicas en la parte alta. Por ejemplo, si tomamos la altura de Guevea de Humboldt, de 600 m, podemos calcular la temperatura media anual por ejemplo de una altura de 1,400 m en el cerro de León, nos arrojó una temperatura de 18.8 °C (clima templado). Otros factores, que influyen el clima pueden ser la humedad, la presión, los vientos predominantes, la orientación del relieve, entre otras.

El clima en Guevea de Humboldt es diferente al resto de los otros municipios de la cuenca, debido principalmente a la altura.

La desviación estándar (σ_T) para la temperatura muestra un valor bajo, significa que la temperatura durante del año es aproximadamente constante, mientras la desviación estándar de la precipitación (σ_P) presenta un valor elevado, lo cual indica que la precipitación no es uniforme a lo largo del año.

En la parte alta de la cuenca Río Los Perros se presentan temperaturas más bajas, existe mayor precipitación, evaporización reducida y abundante vegetación, condiciones favorables para generar suficiente agua en forma de arroyos perennes que alimentan al río Los Perros a lo largo del año.

Tabla 1 Datos climatológicos, tomada de las lecturas del Servicio Meteorológico Nacional.

Parámetro	Guevea de Humboldt	Laollaga	Ciudad Ixtotec	Asunción Ixtaltepec	Juchitán de Zaragoza
Estación	00020289	00020330	00020039	00020052	00020048
Altura (m.s.n.m.)	600	170	57	41	10
Temperatura (media en °C)	24.0	26.4	27.9	27.9	27.3
σ_T	1.59	1.64	1.58	1.44	1.25
Precipitación (mm)	1239.0	-	796.9	906.9	1036.1
σ_P	110.25	-	76.6	93.46	97.79
Evaporización (mm)	1749.2	-	2448.0	2663.5	2561.6
σ_E	18.62	-	19.52	17.56	14.06
Koepen-Geiger	Aw	Aw	Aw	Aw	Aw

Notas:	σ_T	desviación estándar para la temperatura
	σ_P	desviación estándar para la precipitación
	σ_E	desviación estándar para la evaporización

4.2 Geología

La cuenca Río Los Perros es parte del terreno tectonoestratigráfico Cuicateco ubicado entre el terreno Zapoteco y Maya. Los límites tectónicos se encuentran en el borde occidental con la falla Oaxaca como límite con el terreno Zapoteco, y en el oriente la falla inversa Vista Hermosa que es el límite con el terreno Maya (Solari et al., 2004). El terreno Cuicateco está formado en general por una secuencia de rocas vulcanosedimentaria con metamorfismo de bajo grado (Campa y Coney, 1983).

La distribución de las rocas de la cuenca se muestra en la figura 4. La base de información de esta figura es la Carta Geológico-Minera Juchitán E15-10 D15-1 del Servicio Geológico Mexicano y recorridos de campo. La cuenca está compuesta por rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas.

Aproximadamente 60% de la cuenca está formada por sedimentos y rocas sedimentarias. Por ejemplo, en el sur de la cuenca existen sedimentos detríticos (aluvión), que cubren 774 km² de la superficie. En el norte de la cuenca aflora una arenisca-limolita (16 km²) y en el parte central un arenisca-conglomerado (18 km²). La caliza, una roca sedimentaria bioquímica, se encuentra en el norte, oeste y parte central de la cuenca con 262 km². La Foto 1 muestra un afloramiento de caliza en el Cerro de León al este de Guevea de Humboldt. Típica de estas rocas es su relieve kárstico originada por procesos de disolución del carbonato cálcico con agua meteórica. En el sur de la laguna Superior aflora una roca vulcanosedimentarias. Como indica el nombre tiene su origen de erupciones volcánicas.

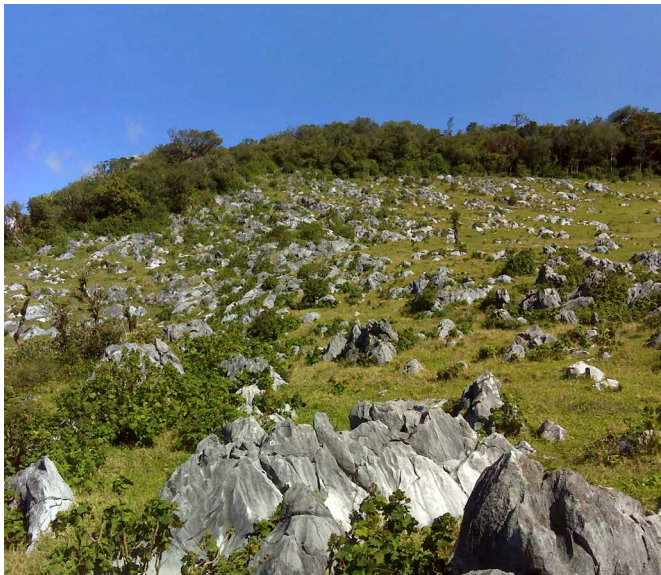


Foto 1. Relieve kárstico de piedra de caliza en el cerro de León al este de Guevea de Humboldt.

Las rocas metamórficas tipo filita-esquistos afloran al noroeste, son de la época Jurásico Medio y cubren una superficie de 61 km². Al norte con 3 km², aflora un esquistos-meta sedimentario de la época Pérmico-Carbonífero.

La andesita y toba andesítica, rocas ígneas extrusivas y de la edad Paleógeno, cubren 30% de la superficie en el norte de la cuenca. Granito-Granodiorita, rocas ígneas intrusivas, afloran en la parte central de la cuenca con una superficie de 128 km².

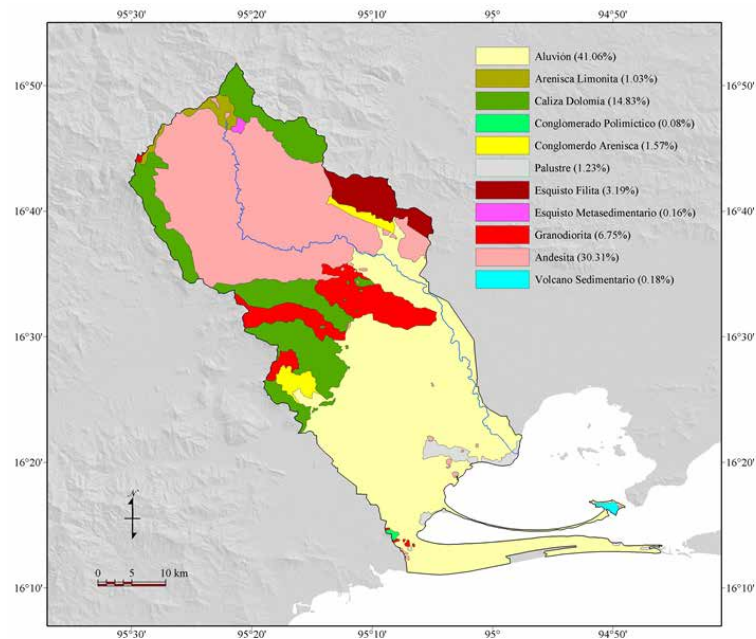


Figura 4. La litología en la cuenca Río Los Perros, basada en la Carta Geológico-Minera Juchitán E15-10 D15-1 (SGM) y recorridos de campo.

4.3 Hidrología

El río Los Perros nace cerca de Guevea de Humboldt, donde se unen los arroyos Nisavia y Santa Cruz - Ojo del Agua. El río pasa por los siguientes nueve municipios: Guevea de Humboldt, Santa María Guienagati, Santo Domingo Chihuitán, Santiago Laollaga, Ciudad Ixtepec, Asunción Ixtaltepec, El Espinal, Juchitán de Zaragoza y Santa María Xadani, en donde desemboca a la Laguna Superior. Su longitud total es de 98.7 km.

En la parte alta de la cuenca con una superficie de 904.35 km² hay varios arroyos como Nisavia, Santa Cruz - Ojo de Agua, Ceniza, Lodo, Guisihui, Algodón, Nizavigana, La Palma, Seco, Guichixu, Llenagana, El Zapote, Maravillas, Guigovidxi, Trapiche, Agua Blanca y El Riito.

En la parte sur de la cuenca vemos un delta con varios brazos o canales fluviales e islas entre los brazos. Durante la temporada de lluvia de mayo hasta octubre el río Los Perros causa inundaciones, afectando los Municipios Juchitán de Zaragoza y Santa María Xadani.

4.4 Vegetación

En la cuenca Río Los Perros se presentan distintos tipos de vegetación, se describen de acuerdo a los trabajos de Gallardo Cruz, Meave y Pérez-García (2005). El tipo de vegetación que se describe (remarcado en negritas) se realiza en base a la clasificación de Rzedowski (1978), y la clasificación marcada entre paréntesis es según la clasificación de Miranda y Hernández (1963).

Bosque tropical caducifolia (selva baja caducifolia) se presenta principalmente en zonas de clima Aw. Este tipo de vegetación pierde las hojas durante 5-8 meses en verano, sin embargo, muchas especies florecen durante la sequía. La altura de los árboles oscila principalmente entre 5 a 15 metros. El bosque tropical caducifolia cerca de Nizanda en el municipio de Asunción Ixtaltepec, registraron 194 especies de 52 familias con dos familias más ricas *Leguminosae* y *Asteraceae* con 24.2% de todas especies. Luego siguen las familias de *Euphorbiaceae*, *Apocynaceae*, *Malpighiaceae*, *Rubiaceae*, *Bignoniaceae*, *Capparaceae* y *Solanaceae*.

Bosque tropical subcaducifolio (selva alta o mediana subcaducifolia) se presenta en general en un clima de tipo Aw y Am. Este tipo de vegetación se agrupa entre la selva baja caducifolia y la selva mediana subperennifolia. Por lo menos 50% de los árboles pierden sus hojas durante la época de sequía. La altura de los árboles oscila entre 15-40 metros en general entre 20-30 metros. Los árboles crecen, donde hay una cierta humedad como cerca de los arroyos intermitentes. Especies son por ejemplo *Ficus sp.*, *Brosimum alicastrum*, *Bumelia persimilis*, *Sapindus saponaria*, *Andira inermis*, *Bursera simaruba*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Licania arborea*, *Guarea glabra*, *Coccoloba barbadensis*, *Trichospermum mexicanum*, *Lonchocarpus sp.*, *Trichilia havanensis*.

Bosque tropical perennifolio (selva alta perennifolia o selva alta o mediana subperennifolia) se desarrolla en climas del tipo Am, Af, Cw y Aw, zonas con suficiente humedad y calor, en altitudes de 500 metros hasta más que 1000 metros. La altura de los árboles oscila entre los 20 y 35 metros. Este tipo de la vegetación podemos encontrar en el norte de los municipios de Guevea de Humboldt y de Santa María Guienagati. Especies como *Bursera simaruba*, *Ficus pertusa*, *Ficus sp.*, *Tapirira mexicana*, *Cupania dentata*, *Cordia alliodora*, *Trichospermum mexicanum*, *Cojoba arborea*, *Inga latibracteatus*, *Stemmadenia pubescens* entre otros pertenecen a este tipo de vegetación.

Bosque de quercus y de coníferas (encinares y pinares) consisten en general de especies de *Quercus* y *Pinus*, crecen en climas del tipo Cw. Se encuentra con gran cobertura por ejemplo en el cerro de León en altura de 1025 m.s.n.m. Especies son: *Pinus strobus var. chiapensis*, *Agarista mexicana*, *Miconia sp.*, *Pinus oocarpa*, *Quercus castanea*, *Quercus elíptica*, *Quercus glaucescens*, *Quercus peduncularis.*, y *Ciprés*.

Bosque mesófilo de montaña (selva mediana o baja perennifolia, bosque caducifolio en parte) prospera en climas del tipo Cf, Af, Am, Aw y Cw, con suficiente humedad con la presencia de neblina la mayor parte del año. Los árboles alcanzan altitudes hasta 25 metros, su distribución depende de los vientos húmedos del Golfo de México. Se encuentra en zonas altas de alrededor 1000 m especial donde se encuentra el parteaguas en el norte de la cuenca.

Pastizal (pastizal, sabanas) conocido como vegetación secundaria o donde se ha eliminado la vegetación original, consiste de herbáceas en general de gramíneas, son zonas de intensa utilización humana, de agricultura de temporal y para la alimentación del ganado. En la foto 2, se muestra el pastizal inducido cercano al cerro de Picacho en el municipio de Guevea de Humboldt a una altura de 1180 m.s.n.m.



Foto 2. Pastizal cerca del cerro Picacho, Guevea de Humboldt (Enero 2012).

Vegetación acuática y subacuática es una comunidad vegetal, que crece en las orillas de las lagunas y desembocaduras de los ríos, donde la cantidad de la precipitación no es importante, porque agua es disponible todo el año. Podemos observar especies de manglares por ejemplo alrededor de las lagunas en el sur de la cuenca. En la foto 3, se muestra vegetación flotante cerca Santa María Xadani, ubicado en el delta del río Los Perros, caracterizado por fuertes inundaciones en la época de lluvia.



Foto 3. Vegetación flotante cerca Santa María Xadani (Febrero 2012).

4.5 Ubicación de descargas de aguas residuales

En el 2012 se lograron geo posicionar 17 descargas de aguas residuales de los nueve municipios que integran la cuenca río Los Perros (ver figura 5). Se pudo constatar que una gran parte de la población utiliza fosas sépticas para coleccionar las aguas residuales, las cuales presentan riesgo de contaminación de los acuíferos someros de la cuenca.

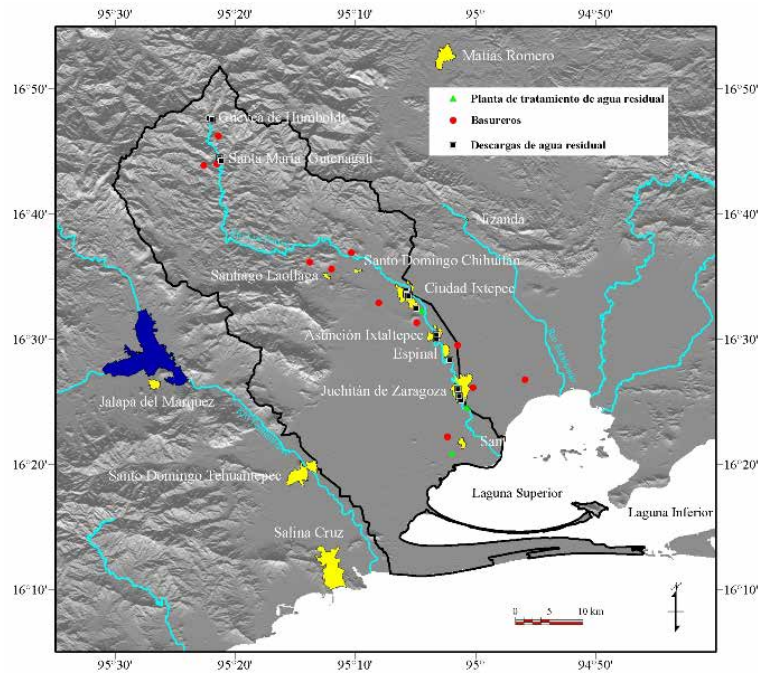


Figura 5. Ubicación de las fuentes potenciales de contaminación (sitios de disposición final de RSU municipales y descargas de aguas residuales) elaborado en 2012.

4.6 Situación general de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca Río Los Perros.

Para el 2012 se generaba un volumen anual estimado de 6.5 millones de m³ de aguas residuales en los nueve municipios de la cuenca Río Los Perros. Operaban dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), una en El Espinal mediante un sistema de tratamiento a base de humedales (ver foto 4), donde se trataba un estimado del 88 % del agua residual producida en la localidad. En Juchitán de Zaragoza (ver foto 5) operaba una PTAR a base de lodos activados que trataba un caudal inferior al 20 % del agua residual total producida en la ciudad para posteriormente ser descargada al cauce del río en donde se mezclaba con el otro 80 % del caudal de aguas residuales sin tratar.

En el 2012 se trataba aproximadamente el 18 % de las aguas residuales producidas en la cuenca Río Los Perros. Actualmente, ninguna de las nueve plantas de tratamiento se encuentra en operación, aunque se tiene contemplado la reactivación de las plantas pertenecientes a los municipios El Espinal y Juchitán de Zaragoza. En la tabla 2 se presenta un resumen que incluye estimación del volumen de agua generado en los municipios que

integran la cuenca Río Los Perros, tipo de proceso de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes, gasto teórico planteado y observaciones.

Cabe resaltar que la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa María Xadani (ver foto 6) se entregó al municipio el 22 de octubre de 2010, sin embargo, nunca operó y actualmente se encuentra saqueada (no cuenta con arrancador de corriente eléctrica y se observan fisuras en los biodigestores). Otro inconveniente de esta planta de tratamiento de aguas residuales y el más grave es que fue construida en el delta del río Los Perros a 50 metros del estero en donde los pobladores se dedican a la pesca, además de que en época de lluvias se inunda.

Tabla 2 Estimación del volumen de agua generado en los municipios que integran la cuenca Río Los Perros, tipo de proceso de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes, gato teórico planteado y observaciones.

Municipio	V (m3) de Aguas Residuales	Tipo de tratamiento	Capacidad instalada (L/s)	Observaciones
Guevea de Humboldt	143, 500	Humedales	N.A	No se concluyó la PTAR por lo que las aguas residuales descargan al río
Santa María Guienagati	129, 922	Fosas sépticas	N.A	No cuenta con drenaje ni PTAR, las aguas residuales se infiltran al río y al acuífero
Santo Domingo Chihuitán	75, 719	No tiene	N.A	Las aguas residuales sin tratar descargan al río
Santiago Laollaga	148, 701	No tiene	N.A	Las aguas se descargan al río sin tratar y se mezclan con el agua de excelente calidad apta para consumo humano de los tres manantiales
Cd de Ixtepec	1, 319,804	Lodos activados	60	No se concluyeron las dos plantas tratadoras de aguas residuales, las aguas sin tratar descargan al río
Asunción Ixtaltepec ^a	407, 450	Lagunas de <u>estabilización</u>	15	Una planta se terminó, pero no opera y la otra no se concluyó. Las aguas sin tratar descargan al río
El Espinal	431, 211	Humedales	18	No opera la PTAR aunque hay un proyecto de reactivación, sin embargo, las aguas residuales sin tratar descargan al río
Juchitán de Zaragoza	3, 894,970	Lodos activados	70	No opera la PTAR, actualmente las aguas residuales sin tratar descargan al río
Santa María Xadani	548	Humedales	20	Se terminó, pero nunca ha operado por lo que las aguas residuales sin tratar descargan a la Laguna Superior

Notas: Estos datos fueron recabados en recorridos de campo en este trabajo

^ahttp://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS_18_11InventarioPlantasTratamiento.pdf



Foto 4. Planta de tratamiento de aguas residuales en El Espinal en 2010.



Foto 5. Planta de tratamiento de aguas residuales en Juchitán de Zaragoza en 2012.



Foto 6. Planta de tratamiento de aguas residuales en Santa María Xadani 2012.

4.7 Residuos sólidos urbanos

El mal manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) es otra de las grandes problemáticas ambientales de la cuenca Río Los Perros, ya que afecta la calidad del aire, suelo y agua.

Es tan grave este problema que en una sola campaña de limpieza en Santa María Xadani se colectaron cinco toneladas de PET productos de todos los municipios de la cuenca Río Los Perros. Esto afecta fuertemente a los pescadores de la Laguna Superior que es donde desemboca el río Los Perros.

En el año 2012 se tenían registrados trece tiraderos de residuos sólidos urbanos a cielo abierto municipales en los nueve municipios que integran la cuenca Río Los Perros. Actualmente existen más ya que han llegado a la zona grandes tiendas comerciales por lo que se ha incrementado la generación de RSU y debido a la falta de concientización de autoridades y población. Actualmente se incineran en los domicilios gran cantidad de residuos mezclados con plásticos que generan dioxinas y furanos. También se observan grandes aglomeraciones de residuos en suelos y en el río Los Perros a lo largo y ancho de la cuenca.

Aunque se han desarrollado programas de limpieza en la cuenca Río Los Perros, no ha sido suficiente. En 2011, la CDI (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas) aportó recursos económicos para la construcción de centros de acopio de envases de botellas de plásticos (botellas de agua y refrescos), así como apoyo para que se realizaran operativos de limpieza en el cauce del río. En el 2012 Santa María Guienagati contaba con un relleno sanitario y centro de acopio del PET (ver foto 7), gestionado por la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales y Protegidas). Sin embargo, nunca funcionó adecuadamente el proyecto de reciclaje por lo que se abandonó y se convirtió en un tiradero más a cielo abierto. En Juchitán de Zaragoza desde el 2015 se construyó un centro de tratamiento integral de residuos sólidos urbanos (RSU) de inversión millonaria que nunca operó. En la actualidad se ha convertido en un basurero a cielo abierto y la infraestructura de la planta se encuentra altamente deteriorada (ver foto 8).

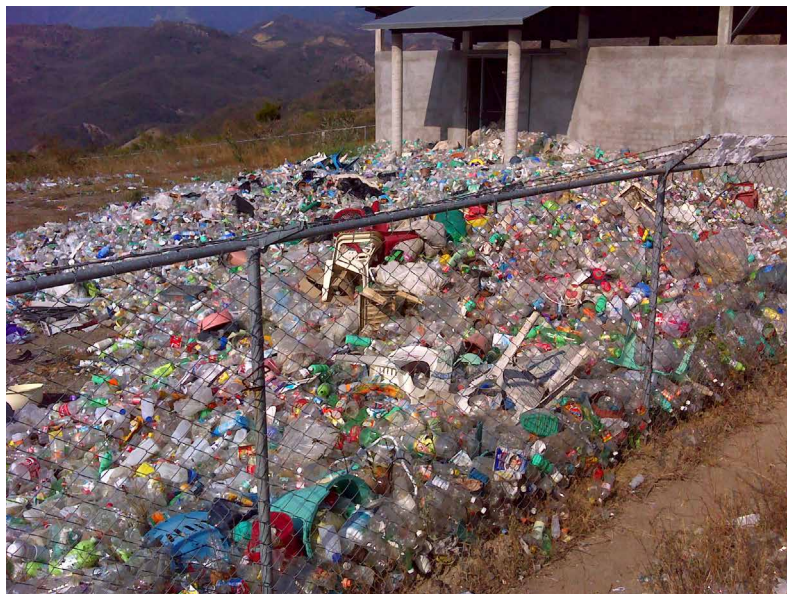


Foto 7. Centro de acopio de PET en Santa María Guienagati en 2012.



Foto 8. Centro de tratamiento integral de RSU en Juchitán de Zaragoza.

Actualmente continúa el problema del mal manejo de los residuos sólidos urbanos debido a la poca sensibilización de los habitantes de la cuenca y falta de compromiso de las autoridades municipales que no incluyen el tema ambiental como una de sus prioridades. La propuesta es que todos los actores tomen conciencia del grave problema que presenta esta cuenca y establezcan un plan de acción urgente para sanear el río Los Perros. En la figura 8 se puede observar la enorme cantidad de basureros y descargas de aguas residuales sin previo tratamiento que descargan al río. Esta imagen es un producto del sistema de información geográfica.

En la foto 9 se muestran ejemplos de la situación actual de la problemática ambiental en el río Los Perros, las descargas de aguas residuales y la mala disposición de los residuos sólidos urbanos. Como se puede apreciar la problemática ambiental en toda la cuenca es muy compleja por lo que se requieren acciones inmediatas. En el apartado de recomendaciones se dan algunas medidas propuestas.



Foto 9. Problemática del mal manejo de los RSU en la cuenca del río Los Perros foto de la izquierda a la altura de Ixtaltepec y la derecha Santa María Xadani.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la parte alta de cuenca al extremo norte de Guevea de Humboldt se cuenta con bosque mesófilo de montaña, que son impactados por la tala y deforestación. En toda la cuenca se observa vegetación altamente impactada, erosión del suelo por la expansión de la frontera agropecuaria especial en zonas montañosas que resulta en grandes pérdidas de suelo durante la época de lluvia por su altitud y por la pendiente. Como consecuencia de la degradación y erosión del suelo se genera fuerte sedimentación que produce cambios en los cauces de los arroyos y ríos. Como resultado de este proceso de la alteración del régimen fluvial y de la deforestación en la parte alta donde tienen fuertes pendientes se registran anualmente inundaciones en la parte baja de la cuenca en los municipios Juchitán de Zaragoza y Santa María Xadani.

Luego de los sismos ocurridos en el 2017 los escombros producto de los derrumbes fueron trasladados en las inmediaciones del Río Los Perros a la altura de Santiago Ixtaltepec, lo cual incrementará el riesgo de futuras inundaciones en épocas de lluvias torrenciales.

En 2012 se geoposicionaron diecisiete descargas de aguas residuales sin tratamiento en los nueve municipios que integran la cuenca Río Los Perros, se estima una producción de 6.5 millones de m³ de aguas residuales sin tratar que son vertidas al río Los Perros. Actualmente y luego de los sismos del 2017 el drenaje se encuentra colapsado en varios municipios de la cuenca principalmente en Juchitán de Zaragoza donde se estima que producen 3, 894,970 m³ de aguas residuales que son vertidas en un sinfín de puntos de la ciudad lo que pone en riesgo la salud de los habitantes.

Ninguna de las nueve plantas de tratamiento de aguas residuales funciona por lo cual se requiere elaborar estudios ejecutivos que incluyan costo-beneficio para reactivarlas, es importante señalar que no se sabe de las condiciones actuales ya que luego del sismo de 2017 existe el riesgo de que se encuentren fracturadas. Aunado a esto son insuficientes para el volumen de aguas residuales que se genera actualmente por lo que se requiere realizar estudios que propongan sistemas de tratamiento alternativos.

Se identificaron y geo posicionaron doce tiraderos de residuos sólidos urbanos municipales oficiales en los nueve municipios que integran la cuenca, aunque existen más de forma clandestina por lo largo y ancho de la cuenca. Se tiene un relleno sanitario en Santa María Guienagati que nunca operó como tal, así mismo en Juchitán de Zaragoza se cuenta con una planta integral de manejo de RSU que nunca operó adecuadamente, en la actualidad funciona como tiradero a cielo abierto y la infraestructura se encuentra muy deteriorada.

No se cuenta con sistemas de agua potable, drenaje y saneamiento autónomos que recaben suficientes recursos económicos para la operación y mantenimiento. Para 2020 se tenía contemplada la reparación de los drenajes colapsados de Juchitán de Zaragoza luego de los sismos de 2017, además de la operación y ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales, en donde se produce aproximadamente la mitad de las aguas residuales que se generan en la cuenca, mismas que descargan en el río Los Perros.

Se recomienda antes de tomar decisiones, elaborar un estudio del levantamiento topográfico de las ciudades a fin de elaborar propuestas de sectorización de drenajes y evaluar la posibilidad de implementar plantas de tratamiento en distintas zonas de la ciudad, es

importante contar con proyectos ejecutivos que incluyan estudios de costo-beneficio antes de tomar decisiones equivocadas.

A la par se recomienda elaborar campañas de cultura del agua, sensibilizar a la población acerca de la urgencia del saneamiento en la cuenca y la cultura del pago a través de programas de educación ambiental a la par de legislar en cada municipio y contar con reglamentos de ecología. Además de sistemas de aguas potable de agua, drenaje y saneamiento autónomos que permitan cubrir los gastos de operación y mantenimiento.

Los nueve municipios que integran la cuenca tienen la problemática del mal manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU). Por lo que es urgente establecer programas de manejo integral de RSU que pueden ser regionales para que sean más rentables, en donde se involucre la educación ambiental como eje principal y aterrice en programa de reducción, reuso y reciclaje. Además de implementar plantas productoras de abonos orgánicos que reducirían la mitad del volumen de los residuos sólidos urbanos generados.

Otra propuesta es la creación de centros de acopio municipales donde se acopien materiales consumibles (plásticos de todos tipos, llantas, aceites de motor), de contarse con ellos podrían ser recolectados por la Cementera La Cruz Azul a fin de reusarse en los hornos de cemento que requieren altas temperaturas. Al respecto esta empresa cuenta con los permisos de la SEMARNAT. Esto podría aminorar la generación de residuos sólidos urbanos mientras se cuentan con empresas recicladoras de materiales como plásticos, vidrio, metales, cartón y papel que sería la solución ideal. Otro grave problema es el mal manejo de los residuos peligrosos en esta y otras cuencas del Estado de Oaxaca.

AGRADECIMIENTOS

Al Profr. Tomás Chiñas Santiago Coordinador del Comité de Cuenca Río Los Perros por su valioso apoyo y colaboración. Al Consejo de Cuenca Costa de Oaxaca en especial al Ing. Edwin Gazga Pérez † y al Lic. Pedro Hernández Sánchez.

REFERENCIAS

Aceves-Quesada, J. F., Legorreta-Paulín, G., Lugo-Hubp, J., Umaña-Romero, J. & Legorreta-Cuevas, H. A. (2016). Sistemas de información geográfica y cartografía geomorfológica aplicados al inventario de deslizamientos y cartografía de susceptibilidad en la cuenca del río El Estado, Pico de Orizaba, México. *Investigaciones geográficas*, (91), 43-55. <https://doi.org/10.14350/rig.46503>

Amaral-Manso, M.L., Gelmi, M., Vornetti, A., & Améndola, G. (2016). Utilización de un Sistema de Información Geográfica en la red carretera rural del distrito de Olavarría. *Ingeniería*, 20(1),46-56.[fecha de Consulta 19 de Enero de 2022]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750927005>

Bigio, J. (2018, 17 de marzo). México produce un millón de litros de aguas residuales cada cuatro segundos. El país. Recuperado el 21 de marzo de 2018 de https://elpais.com/internacional/2018/03/21/mexico/1521659492_767138.html

Campa, Fernanda M., & Coney, Peter J. (1983). Tectonostratigraphic terranes and mineral resources distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth, Sciences* 20, 1040-1051.

doi.org/10.1139/e83-094

Carabias, J., Landa, R., Collado, J., & Martínez, P. (2005). Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Ciudad de México: Universidad Autónoma de México (UNAM), El Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte. México D.F. 221.

CONAGUA (2016). Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Recuperado el 17 de marzo de 2018, de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf.

CONAGUA (2018). Estadísticas del agua en México. Recuperado el día 10 de febrero de 2020 de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

Denegri, G.A. (2011). Vulnerabilidad Ambiental en Cuencas Hidrográficas Serranas mediante SIG. *Multequina*, (20),3-13.[fecha de Consulta 19 de Enero de 2022]. ISSN: 0327-9375. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42824203001>

Etling, D., (1996). Theoretische Meteorologie. Braunschweig / Wiesbaden :Vieweg
Spreen, W.C. (1947). A Determination of the Effect of Topography upon Precipitation. *Trans. Am. Geophys. Union* 28, 285-290. doi.org/10.1029/TR028i002p00285

Gallardo-Cruz, J.A., Meave, Jorge A., & Pérez-García, E. A. (2005). Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 76, 19-35. DOI: 10.17129/botsci.1701

Gaspari-Fernanda J., Rodriguez-Vagaría, A.M., Delgado, M.I., Senisterra, G.E., Guzzeti, A.F., Mondini, C., Cardenali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M.K., & Kang-Tsung, Ch. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problema. *Earth-Science Reviews* 112, 42-46. doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001

INEGI, (2010). Censo General de Población y Vivienda publicado el 20 de junio de 2013. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>

Miranda, Fernanda., & Hernández-X., E. (1963). The types of vegetation of Mexico and their classification. *Botanical Sciences*, (28), 29-179. <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>

Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1633-1644.

Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Limusa, México, DF, 431 pp.

Solari, Luigi A., Keppie, J. Duncan, Ortega Gutiérrez, Fernando, Cameron, Kenneth L., & Lopez, Robert (2004). ~990 Ma peak granulitic metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, Mexico: U-Pb zircon geochronological and common Pb isotopic data. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(2), 212-225. [fecha de Consulta 19 de Enero de 2022]. ISSN: 1026-8774. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57221202>

HAZ DEPORTE, ¡VIVE MEJOR!

LAS PERSONAS QUE HACEN **DEPORTE** TIENEN MENOS PROBABILIDADES DE ENFERMARSE Y VIVEN UNA **VIDA MÁS PLENA Y DURADERA.**



BENEFICIOS DE HACER DEPORTE

- ▶ Relaja y libera tensiones emocionales y musculares.
- ▶ Combate celulitis y flacidez.
- ▶ Despeja la mente y fomenta la creatividad.
- ▶ Previene enfermedades.
- ▶ Fortalece los músculos.
- ▶ Quema toxinas y grasas agresivas.

CAMPUS JUCHITÁN



Aulas y talleres



Exposiciones



Prácticas





Cafetería



Biblioteca



Clínica robotizada



EL EXTRAÑO CASO DEL DOCTOR JEKYLL Y EL SEÑOR HYDE


Robert Louis Stevenson

Edú Ortega-Ibarra^{a*}

e-mail: eoí@bizendaa.unistmo.edu.mx

^a. Centro de Investigación en Nutrición
y Alimentación de la Licenciatura en
Nutrición. Universidad del Istmo.

Artes: Patricia Luna



En la literatura se ha plasmado diversas perspectivas de la Salud, sabiendo que existen divergentes en su entendimiento. La Salud Mental ha sido parte de obras literarias que han marcado época, y que han plasmado entre líneas la necesidad de ayuda o simplemente redactar las vivencias personales ante la sociedad que desafortunadamente vive con algún trastorno. Actualmente se conocen actualizaciones en la clasificación en materia psicología, pero en este caso es desde la mirada de la psiquiatría.

Para 1886 la publicación británica de la novela *psicológica de horror*, “The Strange Case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde”, que, de acuerdo a la temática, se clasifica también como de tipo policiaca, ciencia ficción o gótica. Desde el título podemos identificar dos personas, que invita al lector a conocerlos. La obra está ambientada en el siglo XIX en Londres, donde un abogado (Gabriel J. Utterson) funge de investigador privado por decisión, para investigar a su amigo el Dr. Henry Jekyll y su nuevo inquilino, el señor Edward Hyde.

Durante el inicio de la lectura hay un narrador y conocemos a Doctor Jekyll, que, de acuerdo a su descripción, se le conoce como un eminente y respetado científico, una persona social y empática; quien diseña una bebida con una función que puede generar curiosidad e interés, como la de separar en dos partes la naturaleza humana, entre el bien y el mal, como es bien sabido la experimentación es fundamental para la comprobación de invenciones; tal líquido al ingerirse por Henry hizo que se transformase en el señor Edward Hyde. Entendiéndose que el doctor era el lado bueno, y el señor el malo.

Por su parte, Hyde tiene características antagónicas, mencionándose que es todo lo contrario a la descripción del creador de la bebida. Edward sería entonces un ser antisocial, generador de caos, crímenes, anarquía, inestabilidad. Actualmente lo definiríamos como las palabras en inglés “creepy” o “freaky”, que bien sus significados al español nos dan una imagen brusca, desagradable, rara, de extraño, entre otros.



Durante la lectura, el narrador desaparece para ahora leer al mismísimo Jekyll, donde la trama te transporta un escenario oscuro, con momentos de ansiedad por tratar de entender por qué el doctor comete actos, escondiéndose en Hyde por beber su magistral pócima. Todo esto en la mirada del abogado Utterson, que funge como el iniciador del interés de conocer mejor a su amigo. Por su parte, el señor Hyde, al ser una persona escurridiza y desapercibida, genera más inquietud durante el trayecto de cada apartado del libro.

Louis Stevenson durante diez capítulos nos muestra cómo es que un ser humano vive con una dualidad y con una analogía que la bebida que él preparó, hizo sacar lo más oscuro, los deseos más bajos y lo que jamás había intentado hacer o que sabía que podría efectuar dado a que las inhibiciones no serían juzgadas por la sociedad.

Desde una perspectiva social, nos invita a juzgar la moral, la ética y pensar en la etiqueta social; en sí entender que la filosofía es necesaria como parte de cualquier ciencia, ya que no tendríamos panoramas deontológicos, epistemológicos y axiológicos. Además, reconocer que tenemos pensamientos positivos y negativos, y que forman parte de nuestra naturaleza humana, pero en conciencia que somos seres sociales y que nuestros actos (sean “buenos” o “malos”) traen consecuencias. Eso debería hacer reflexionar a las generaciones sobre la necesidad de la atención personal, normalizar acudir con los profesionales de la salud en materia de la psicología como medida de prevención o promoción.

Robert Louis Stevenson, (2006). El extraño caso del Dr. Jekyll y el Sr. Hyde. Editorial Universidad Veracruzana (Biblioteca del Universitario). ISBN-13 (15) 9786075025773



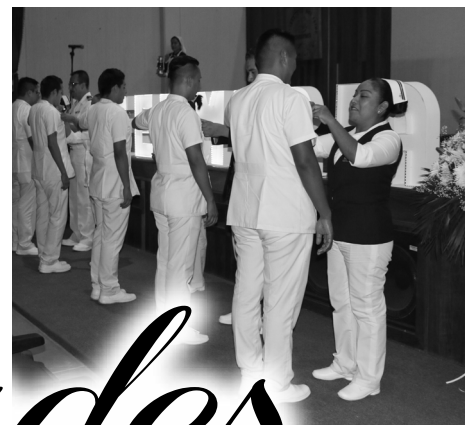
UNIVERSIDAD DEL ISTMO

Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca

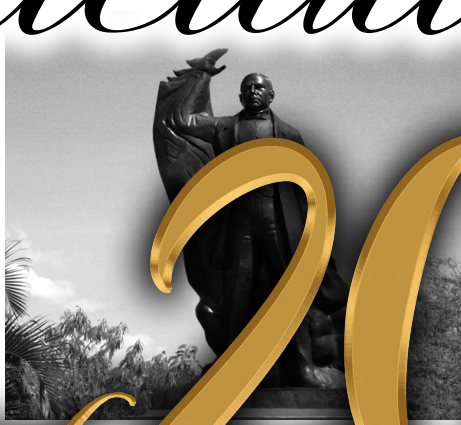


ARTE Y DISEÑO: PATRICIA LUNA

XX *Semana de la Cultura* *Zapoteca*



Felicidades



20 Aniversario



Este 2022, celebramos dos décadas de creación de la **UNIVERSIDAD DEL ISTMO** perteneciente al Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (**SUNEIO**), han sido **20 AÑOS** dedicados a la enseñanza, la investigación, la difusión de la cultura y la promoción del desarrollo a nivel regional, estatal y nacional. El festejo es compartido con todas y todos los que formamos parte de esta gran institución educativa porque festejar significa recordar lo logrado y los motivos por los cuales nació la **UNISTMO**: "la verdadera justificación de la institución universitaria, "es la de actuar como instrumento cultural de transformación social. Así una universidad, aunque surja en un entorno económico y social desfavorable, puede servir y debe servir, como base para un proyecto de transformación total" (Seara, 2019, p. 58).

*¡Con voluntad todo se puede!
guiráa zanda ne guendaracala'dxi*