



Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería Civil
Solicitud de Temas de Tesis



13 de noviembre de 2023

Decano(a)
Ingeniero Angelino Harris
Facultad de Ingeniería Civil
E. S. D

Estimado Ingeniero(a): Angelino Harris

Por este medio sometemos a consideración de la Facultad el siguiente tema de investigación como opción a trabajo de graduación (tesis) que hemos titulado:
Propuesta de un Modelo Inteligente para la Determinación de Contaminantes Atmosféricos emitidos por Buques utilizando el Sistema de Identificación Automática.

Para optar por el título de:
Maestría en Ciencias en Planificación y Gestión Portuaria con especialización en Sistemas de Transporte.

Atentamente,

Elydenis Guillermina Pérez Vásquez

Estudiante

8-824-16

Cédula

Estudiante

Cédula

Profesor(a) asesor(a): Ing. Humberto R. Álvarez A., Ph. D. (Facultad de Ingeniería Industrial)
Profesor(a) co- asesor(a): Dr. Ing. Luis A. Mendoza P. (Dirección de Investigación)

Línea de investigación en la que se desarrolla la investigación: Logística y Transporte
1.Contaminación Producto de Fuentes Móviles y 2.Gestión Marítima Portuaria
(ver líneas definidas en <http://www.fic.utp.ac.pa/>)

La investigación puede apoyar la bibliografía del curso: 1.Gestión de la Protección Marítima y Portuaria y 2.Planificación y Gestión Ambiental Portuaria

Firma del asesor(a): Firma del co- asesor(a):

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil: _____

Fecha de aprobación: _____

Nota: Una vez llenado el formulario, original y tres (3) copias del mismo deben ser entregadas en Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería Civil, acompañado de una descripción de la investigación que contenga lo siguiente:

- a. Antecedentes
- b. Justificación
- c. Objetivos Generales
- d. Objetivos Específicos
- e. Metodología propuesta
- f. Bibliografía consultada
- g. Cronograma de actividades

RESUMEN EJECUTIVO

PROPUESTA MODELO INTELIGENTE PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS POR BUQUES UTILIZANDO EL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA

Antecedentes

Actualmente nuestra sociedad está en constante cambio, evolución y transformación, por el uso de tecnologías digitales disruptivas y emergentes. El uso de estas tecnologías digitales en las actividades y operaciones de los buques, como el Sistema de Identificación Automática (SIA), recopila datos tanto sobre las características, especificaciones técnicas, funcionamiento e historial cronológicos de los buques, los cuales expulsan las mayores Emisiones de Contaminantes Atmosféricos (ECA) procedentes de las fuentes móviles asociadas al entorno logístico, marítimo y portuario. Por su fiabilidad, el SIA proporciona los datos y parámetros para el generar un modelo inteligente para generar un inventario de estimaciones de ECA emitidos por los buques.

Justificación del Problema

En la actualidad, en Panamá no cuenta con un inventario de estimaciones de ECA generados propiamente por actividades, condiciones operativas, operaciones de trabajo, tipo de combustibles y energía de los buques, como contaminación producto de fuentes móviles de los puertos y del transporte marítimo. Por lo anterior, es un instrumento que tiene como objetivo mitigar el impacto ambiental y los efectos del cambio climático procedentes de la contaminación marítima y portuaria.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un modelo inteligente que permita estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por los buques en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá a través del uso del Sistema de Identificación Automática.

Objetivos Específicos

- Identificar los buques posicionados en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá, a través del SIA para su estudio.
- Establecer las categorías y los parámetros de los datos para el análisis de las ECA emitidos por los buques.
- Analizar los datos de los buques generados por el SIA para modelar las emisiones procedentes del entorno logístico, marítimo y portuario.
- Estimar, a partir de los datos del SIA, las ECA emitidos por los buques.
- Desarrollar el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por los buques.

Metodología

La metodología propuesta consta de cuatro etapas en las cuales se utilizarán los datos del SIA como materia prima para el desarrollo del modelo inteligente. Una vez el modelo se ajusta al contexto de la investigación, se implementa con el objetivo principal de estimar con mayor precisión las ECA emitidos por los buques en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá.

Resultados

Los resultados de esta investigación servirán como base para futuros estudios de contaminación y gestión de la marítima y portuaria, implementación de medidas para la reducción de ECA y planificación y revisión de las normativas ambientales nacionales

Con esta investigación se busca aportar a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como 9, 11, 13, 14 y 17 del Plan Estratégico Nacional con Visión de Estado Panamá 2030.

Palabras Claves: Análisis de Datos, Cambio Climático, Contaminación Marítima y Portuaria, Contaminantes Atmosféricos, Impacto Ambiental, Machine Learning, Transporte Marítimo.

PROPUESTA DE UN MODELO INTELIGENTE PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS POR BUQUES UTILIZANDO EL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA

Antecedentes

Actualmente nuestra sociedad está en constante cambio, evolución y transformación, por el uso de tecnologías digitales disruptivas y emergentes. El uso de estas tecnologías digitales está transformando las actividades y operaciones propias de los puertos, generando nuevas características como conectividad, integración e interoperabilidad entre las rutas de origen a destino. Esto conlleva el intercambio, transferencia y almacenamiento de cantidades masivas de datos generados de las actividades y operaciones logísticas, marítimas y portuarias.

A través de la tecnología digital como el Sistema de Identificación Automática (SIA), se recopilan datos tanto dinámicos como estáticos, sobre las características, especificaciones técnicas, funcionamiento e historial cronológicos de los buques. Los datos derivados del SIA pueden ser utilizado para estudios e investigaciones multidisciplinarias (Kim, Lee, Mokashi, & Young, 2019), como se ilustra en la Figura 1. Por su fiabilidad, el SIA proporciona datos y parámetros para el generar un inventario de estimaciones de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos (ECA) emitidos por los buques.

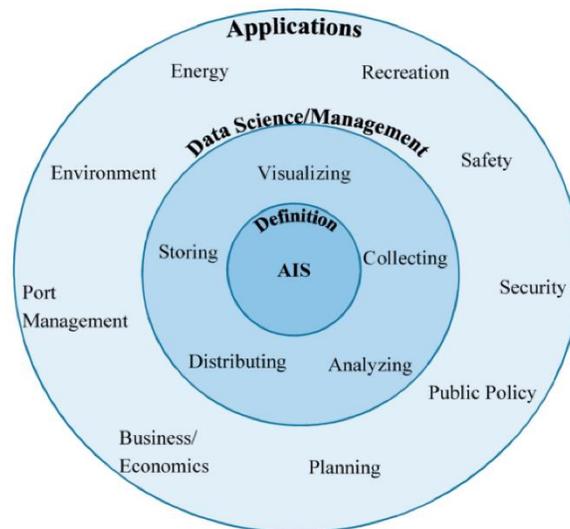


Figura 1: Aplicaciones del Sistemas de Identificación Automática
Fuente: (Kim, Lee, Mokashi, & Young, 2019)

Las actividades, condiciones y operaciones de trabajo de un buque expulsan las mayores ECA procedentes de las fuentes móviles asociadas al entorno logístico, marítimo y portuario. Los contaminantes atmosféricos como el Carbón Negro (BC), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (N₂O), Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Azufre (SO_x), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y Material Particulado (MP), que, a su vez, se clasifica por tamaño: MP10 y MP2.5 y son expulsados durante movimiento y transporte de carga de (UNCTAD, 2022).

Estas ECA procedentes del entorno logísticos, marítimo y portuario afectan a los núcleos urbanos, contiguos a estas áreas (Chan, Fung, Lau, & Zhang, 2019). Estudios previos han señalado que los contaminantes atmosféricos como CO₂, SO_x, NO_x, COV y MP, aumentan los riesgos de morbilidad y mortalidad de las enfermedades no transmisibles como las cardiovasculares y respiratorias, afectando la calidad y nivel de vida de las poblaciones próximas a las principales fuentes móviles (Duke Hernández, 1998).

A través de la Organización Marítima Internacional (OMI), se implementa el marco legal internacional del Anexo VI del Convenio MARPOL, el cual entró en vigor a partir del 1 de noviembre de 2022. Este estableció

la reducción de ECA emitidas por los buques (OMI, 2022). A partir del 1 de enero de 2023, la OMI, entidad reguladora del transporte marítimo a nivel mundial, establece la obligatoriedad del cumplimiento de las Medida de Eficiencia Energética del Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP) a través de las siguientes estrategias de la OMI:

- Indicador de Intensidad de Carbono (CII) para todos los buques
- Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI)
- Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI) para nuevos buques
- Índice de Eficiencia Energética para buques existentes (EEXI)
- Índice Medioambiental de Buques (ESI)

En lo que a este estudio concierne, su objetivo principal es el uso del SIA para dar lugar al generar un inventario de estimaciones de ECA emitidas por los buques bajo sus diferentes actividades, condiciones y operaciones de trabajo (Huang, y otros, 2020). Mediante el uso del SIA se podrá conocer los buques de mayor generación de contaminantes atmosféricos, como resultado del uso de combustibles y energía tales como: diésel, electricidad, fueloil, gas natural, gasolina, metanol y propano.

La OMI, a partir de la Regla 19 del Capítulo V de Seguridad en la Navegación del Convenio SOLAS de 2000, establece como obligatorio el funcionamiento del SIA en los buques construidos a partir del 1 de julio de 2002 (OMI, 2015) para controlar, intercambiar, proporcionar y recibir información en tiempo real de los buques. A partir del 31 de diciembre de 2004 la OMI, adopto nuevos requisitos en toneladas de carga para los buques internacionales y nacionales.

El SIA almacena anualmente cantidades masivas de datos, a través del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Servicio de Tráfico Marítimo (VTS) (Chang, Billings, Kosub, & Perez, 2009), proporcionando datos como:

- Controlar y seguimiento de los buques
- Intercambiar datos con las instalaciones
- Proporcionar información
- Recibir información de buques de forme similar

En la Figura 2, se ilustra el funcionamiento del SIA como fuente principal de los datos, el cual proporciona la información requerida para establecer los parámetros de los buques para generar un inventario de estimaciones de ECA emitidos por los buques. A través de los datos del SIA, como se muestra en la Figura 2, se podrán estimar las emisiones de las actividades, condiciones y operaciones de trabajo de cada buque para la preparación y procesamiento de los datos.

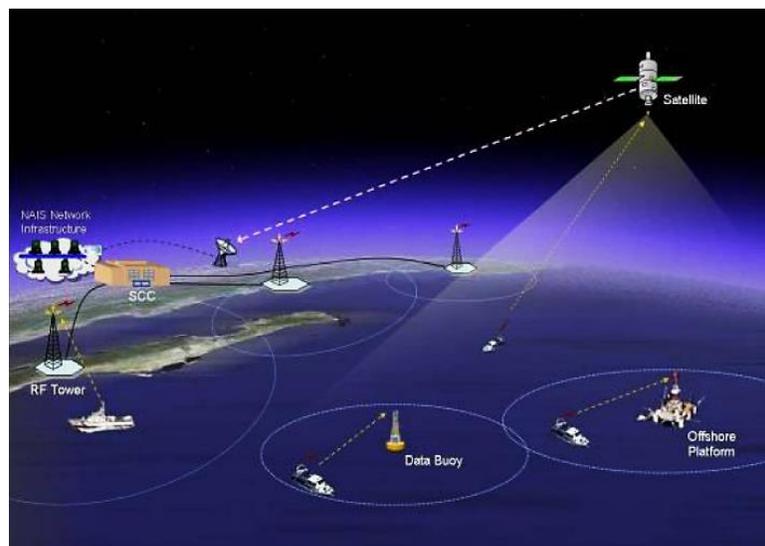


Figura 2: Vista Conceptual del Funcionamiento del SIA
Fuente: (Chang, Billings, Kosub, & Perez, 2009)

A partir de los datos proporcionados por el SIA como se ilustra en la Figura 3 y la Guía para Inventarios de Emisiones en Puertos de Environmental Protection Agency (EPA, 2020), se podrá generar un inventario de estimaciones de ECA con la siguiente información:

- Área geográfica por cubrir
- Contaminantes atmosféricos
- Contaminantes criterio y precursores
- Contaminantes relacionados con el clima
- Periodo que debe cubrirse
- Sectores de las fuentes móviles
- Tóxicos atmosféricos

El propósito del inventario de estimaciones de ECA emitidos por los buques es organizar la información de las emisiones, para establecer diagnósticos para buenas prácticas y una gobernanza, que permita implementar políticas para el control y reducción de los contaminantes atmosféricos procedentes del entorno logístico, marítimo y portuario.

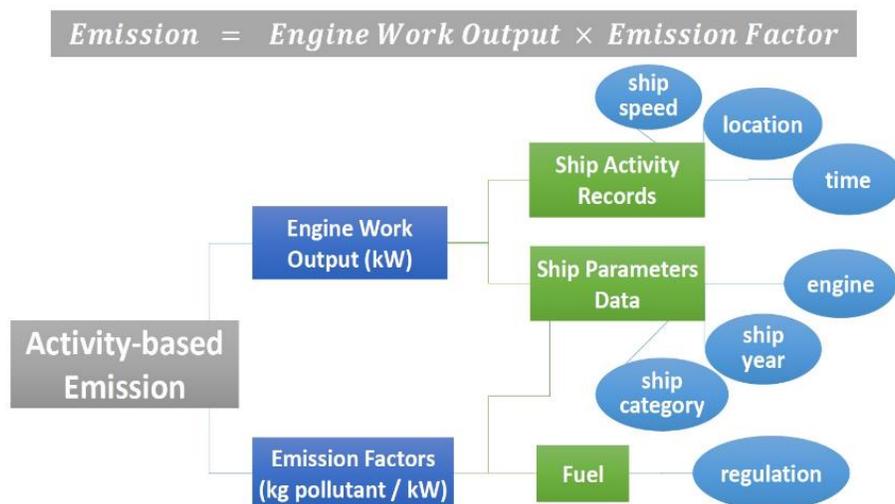


Figura 3: Cálculo de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de Buques

Fuente: (Chan, Lau, & Zhang, Estimation of Marine Emissions Inventory from all AIS-installed Vessels, 2017)

Justificación de la Investigación

Panamá cuenta con cincuenta y cinco puertos, veintiséis puertos estatales y veintinueve puertos privados (AMP, 2023); además, algunos puertos tienen interfaces conectadas con el transporte aéreo, ferroviario, marítimo y terrestre en las cuales convergen las actividades y operaciones logísticas, marítimas y portuarias.

Sin embargo, en la actualidad, en Panamá se tienen muy pocos estudios de las estimaciones de ECA como CO₂, SO_x, NO_x, COV y MP, específicamente generados por los buques, y que identifiquen los impactos directos a nivel regional. Más aún, Panamá no cuenta con un inventario de estimaciones de ECA generados propiamente por actividades, condiciones operativas, operaciones de trabajo, tipo de combustibles y energía de los buques, como principal fuente de contaminantes atmosféricos de los puertos. Por esto, este estudio como primera aproximación para generar un inventario de estimaciones de ECA.

Uno de los pocos sistemas con que se cuenta en Panamá, es el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), el cual establece los parámetros para el desarrollo de inventarios nacionales. El SINIA cuenta con la Plataforma Nacional de Transparencia Climática (PNTC), que reúne la información de acción climática en Panamá (UNFCCC, 2023) en los siguientes siete módulos alimentados por la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y otros:

- Sistema Sostenible de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (SSINGEI)
- Registro Nacional de Emisiones (ReNE)

- Registro Nacional de Acciones (ReNA)
- Registro Nacional de Medios de Implementación (ReNMI)
- Sistema de Monitoreo y Evaluación de la Adaptación (M&E)
- Seguimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y Estrategia Nacional de Desarrollo Económico y Social Bajo en Carbono.
- Hub de Conocimiento

Un aspecto importante por resaltar de la PNTC es el SSINGEI, que contabiliza las ECA en el territorio nacional de cinco sectores: Agricultura, Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU), Residuos y Uso de la tierra, Cambio de uso de la tierra y la Silvicultura (UTCUTS). De este estudio los datos del Sector de Energía, la subcategoría de Transporte en la actividad Navegación Marítima y Fluvial contabilizó 1,156.8 kt CO₂ eq en el año 2017, representando un 18.1% de las ECA emitidos por los buques, aportando nuevos datos para próximos estudios (MiAmbiente, 2020).

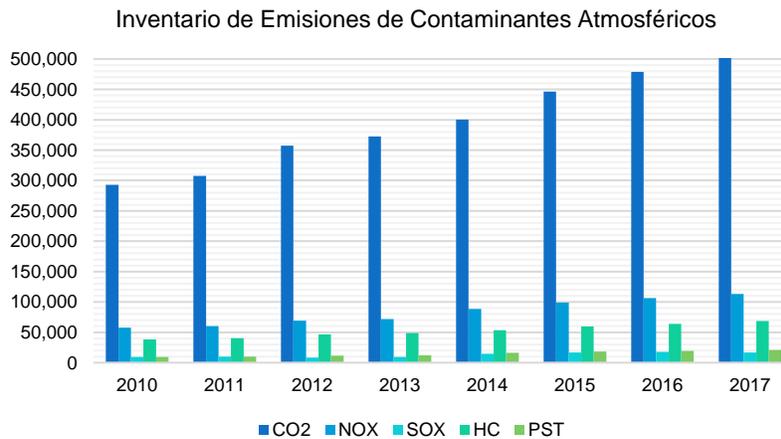


Figura 4: Inventario de Emisiones Atmosféricas Anuales por Tipo de Contaminante: Dióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de Azufre (SO_x), Hidrocarburos (HC) y Partículas Sólidas en Suspensión (PST)
Fuente: (INEC, 2019)

En la Figura 4 y Figura 5 se ilustran los inventarios de ECA por tipo de contaminante y fuentes de energía, industria y móviles de los últimos ocho años realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) a nivel nacional (INEC, 2019). A través de los datos se pueden establecer nuevos puntos de referencia para generar un inventario de estimaciones de ECA.

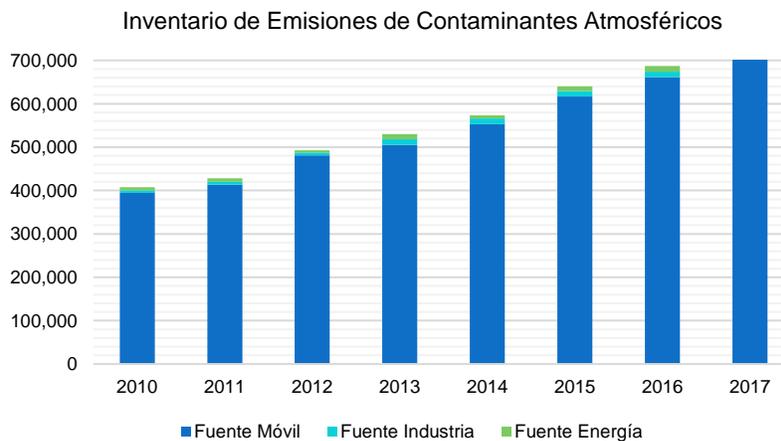


Figura 5: Inventario de Emisiones Atmosféricas Anuales por Fuente
Fuente: (INEC, 2019)

Para la realización de esta investigación, el área geográfica bajo estudio serán la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá. En la Figura 6 se ilustra a través del Maritime Technology Cooperation Center (MMCC) Latin America, las emisiones emitidas por tipo de buque en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá entre los meses de octubre y noviembre del presente año (MTCC Latin America, 2023). El proyecto Indicadores Estadísticos de Sostenibilidad y Eficiencia Marítima de Panamá del MMCC Latin America a través de su plataforma proporciona monitoreos de las emisiones emitidas por tipo de buques.

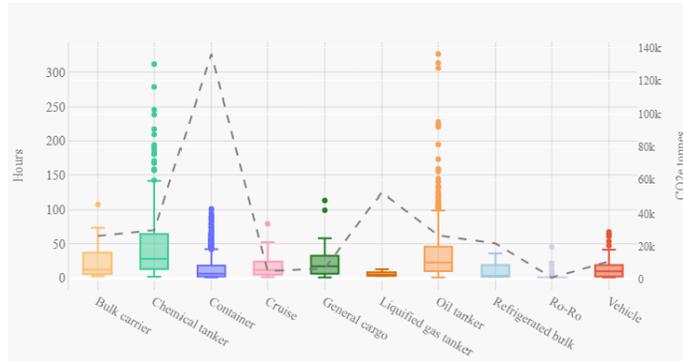


Figura 6: Emisiones Emitidas por Tipo de Buque
Fuente: (MTCC Latin America, 2023)

Otra plataforma de monitoreo de emisiones es el Sistema de Monitoreo Satelital de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Está monitorea emisiones primarias y secundarias reguladas por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) como: Aerosoles (AI), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Sulfuro (SO₂), Formaldehidos (HCHO), Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃) Total y Ozono (O₃) Troposférico. En la Figura 7 a la izquierda se ilustra la concentración de CO₂ en un radio de un kilómetro en noviembre del 2022 y a la derecha se ilustra la mancha urbana en febrero del 2023 (CEPAL, 2023).

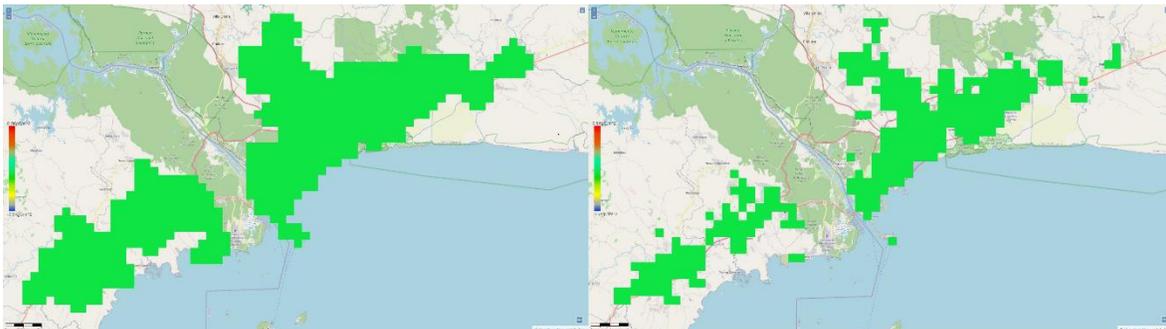


Figura 7: Monitoreo de Emisiones de CO₂ en la Ciudad de Panamá
Fuente: (CEPAL, 2023)

Por lo anterior, el generar un inventario de estimaciones de ECA emitidos por los buques, es un instrumento que sirve para monitorear y evaluar el impacto ambiental de la contaminación marítima y portuaria, así como implementar medidas, prácticas y regulaciones más sostenibles, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental y los efectos del cambio climático.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un modelo inteligente que permita estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por los buques en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá a través del uso del Sistema de Identificación Automática (SIA).

Objetivos Específicos

- Identificar los buques posicionados en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá, a través del SIA para su estudio.
- Establecer las categorías y los parámetros de los datos para el análisis de las ECA emitidos por los buques.
- Analizar los datos de los buques generados por el SIA para modelar las emisiones procedentes del entorno logístico, marítimo y portuario.
- Estimar, a partir de los datos del SIA, las ECA emitidos por los buques.
- Desarrollar el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por los buques.

Limitación de la Investigación

La principal limitación de esta investigación es la adquisición de los datos del SIA, por lo tanto, para solventar esta limitante, se reproducirán datos para el modelo mediante algoritmos generadores de datos sintéticos. Los datos sintéticos, como su nombre lo indica, son creados artificialmente a partir de datos reales a través de análisis de datos para conocer las características estadísticas y patrones de comportamiento de los datos.

Metodología

Para la realización de esta investigación la fuente principal de los datos es el SIA, proporcionando las características, especificaciones técnicas e historial cronológicos de los buques para el análisis de los datos. La metodología propuesta consta de cuatro etapas y los datos como: fuentes móviles, actividades, condiciones operativas, operaciones de trabajo y los factores de emisión, son la materia prima para generar un inventario de estimaciones de ECA emitidos por los buques como se ilustra en la Figura 8.

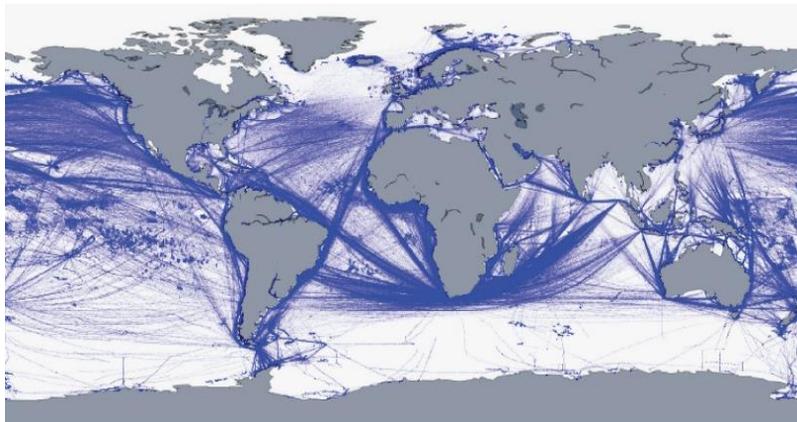


Figura 8: Cobertura Global del SIA en el 2018
Fuente: (OMI, 2020)

Primera Etapa

Se utilizarán los datos dinámicos (Parámetros del Buque) y estáticos (Registro de Actividad SIA) como se ilustra en la Figura 9. Los datos son dinámicos considerados son: Dirección de Rumbo, Estado de Navegación, Hora de la Posición del Barco (UTC), Posición del Buque, Rumbo sobre el Fondo (COG), Tasa de Cambio de Rumbo (ROT) y Velocidad sobre el Fondo (SOG). Los datos estáticos de interés son: Dimensiones del Buque, Distintivo de Llamada, Localización por Posicionamiento, Nombre del Buque, Número IMO, Número MMSI, StatCode 5 y Tipo de Buque, se envían y reciben a través del SIA en intervalos de tiempo a los actores del entorno (Kim, Lee, Mokashi, & Young, 2019).

Segunda Etapa

Se tratarán los datos dinámicos y estáticos del SIA de la primera etapa, por medio de tres fases iterativas e interactivas (Orallo Hernández, Ramírez Quintana, & Ferri Ramírez, 2004).

- Fase de Integración: El SIA a través del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Servicio de Tráfico Marítimo (VTS) compila los datos de los buques.

- Fase de Preparación: El conjunto de datos del SIA pasa por un proceso de tratamiento y limpieza, estos pueden contener anomalías, baja calidad, cantidad insuficiente de datos, características irrelevantes, errores de transmisión, incompatibilidad de datos, ruido y valores atípicos, que afectan el aprendizaje, desempeño y rendimiento del algoritmo. En ML existen dos tipos de ruidos en los conjuntos de datos: ruido de atributo y ruido de clase (Gupta & Gupta, 2019).
- Fase de Almacenamiento: Los datos depurados del SIA se almacenan para su uso en la tercera etapa de procesamiento de datos para el entrenamiento, prueba, validación y evaluación del desempeño del modelo.

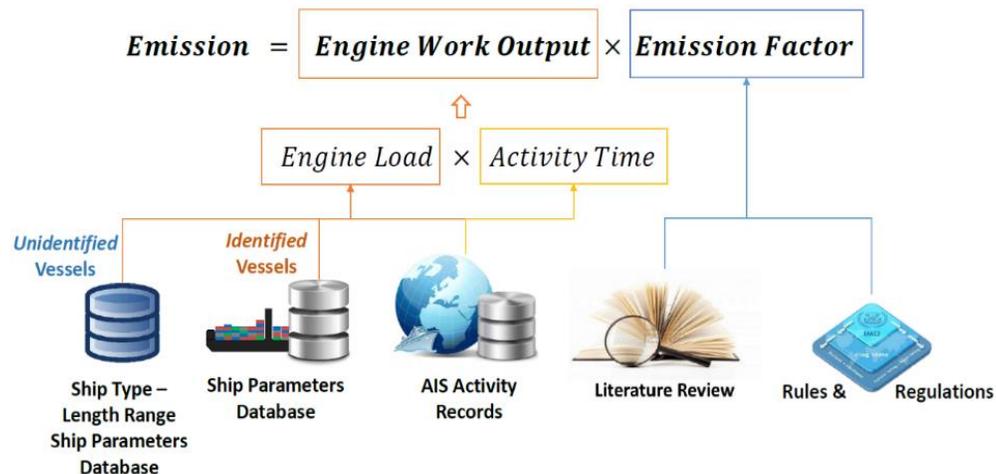


Figura 9: Modelo de Estimación del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos
Fuente: (Chan, Lau, & Zhang, Estimation of Marine Emissions Inventory from all AIS-installed Vessels, 2017)

Tercera Etapa

Se analizarán los datos de la segunda etapa por medio de Aprendizaje Automático (AA) o Machine Learning (ML). ML es el campo de estudio que da la capacidad a las computadoras a través de la programación para aprender de los datos (Géron, 2019), por medio de técnicas estadísticas, informáticas y matemáticas. ML se agrupa en cuatro tipos de aprendizajes: de refuerzo, semi supervisado, no supervisado y supervisado.

Para esta investigación, se utilizará una de las técnicas de aprendizaje posterior al Análisis Exploratorio de Datos (EDA) (Barma, Gaya, & Lorkaa, 2021). A través del EDA se busca identificar características estadísticas en los conjuntos de datos para reconocer patrones, reducir dimensionalidad y relacionar variables en los datos. A continuación, se desarrolla el modelo inteligente para las fases de entrenamiento y prueba. Una vez la estructura del modelo se ajusta al contexto de la investigación, se despliega para su implementación, y cumple con el objetivo principal de estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por los buques en la vertiente Atlántico y Pacífico del Canal de Panamá a través del uso del SIA.

Cuarta Etapa

Se calcularán, por medio de una revisión literaria de métricas, normas, reglas y regulaciones, las ECA generados por los motores de los buques durante sus actividades (tipo de buques), condiciones operativas (estacionamiento, fondeo, maniobra y tránsito) (OMI, 2021), y operaciones de trabajo (tipo de motor) de las fuentes móviles. Además, para lo anterior, se tomarán en consideración otros factores que influyen en las emisiones, como el tipo de combustibles y energía (diésel, electricidad, fueloil, gas natural, gasolina, metanol y propano) y la velocidad (alta, media y baja) (Pino, 2017).

Para el cálculo de las ECA emitidos por los buques, los datos del SIA no incluyen los datos de las emisiones generadas por los motores de los buques. A través de los Factor de Emisión (FE), Factor de Corrección de Combustible (FCF) y Consumo Específico de Combustible (SFC), se calcularán las emisiones, tomando como línea base la metodología del Cuarto Estudio de la OMI de las Emisiones de GEI (OMI, 2020). En las

ecuaciones 1 y 2, se realizan los cálculos de los FE de la Tabla 1, el Consumo Especifico de Combustible (SFC) de la Tabla 2 (OMI, 2020) y los FCF.

$$FE_{LÍNEABASE} \text{ (g contaminante)/(g combustible)} = \frac{FE_{LÍNEABASE} \text{ (g contaminante)/(kWh)}}{SFC_{LÍNEABASE} \text{ (g combustible)/(kWh)}} \quad (1)$$

donde:

$FE_{LÍNEABASE}$ factor de emisión.
 $SFC_{LÍNEABASE}$ consumo específico de combustible.

$$FE_{ACTUAL} \text{ (g contaminante)/(g combustible)} = \frac{FE_{LÍNEABASE} \text{ (g contaminante)}}{\text{(g combustible)}} \times FCF \quad (2)$$

donde:

FE factor de emisión.
 FCF factor de corrección de combustible.

Los FE se agrupan en dos grupos de emisiones de combustible (g contaminante / g combustible) y energía (g contaminante / kWh). En la Tabla 1 (OMI, 2014) se agrupan según la clasificación del motor (HSD, MSD y SSD), tipo de combustible (HFO, IFO, LNG, MDO y MGO), tipo de motor (principal, auxiliar y caldera) y el tipo de servicio (propulsión o auxiliar) (Prieto Montañez, 2019).

Los SFC son la medida de eficiencia energética y rendimiento de los motores de los buques. En la Tabla 2 (OMI, 2020), se especifican los valores propuestos para el cálculo de los SFC a partir de la edad del motor, tipo de combustible, motor y sistema. Los FCF cumplen la función de ajustar los FE de la Tabla 1 (OMI, 2014) según el buque y tipo de combustible. A partir del Anexo 6 del Tercer Estudio de la OMI de las Emisiones de GEI (OMI, 2014), se especifican los coeficientes de los FCF.

Por otro lado, la metodología del Cuarto Estudio de la OMI de las Emisiones de GEI (OMI, 2020) utilizada para el cálculo de las emisiones es el Método Bottom-Up. El método requiere datos específicos para identificar con mayor precisión las ECA generando datos con mayor veracidad para la implementación del modelo inteligente, y obtener resultados fiables para la toma de decisiones con respecto a la gestión y reducción de las ECA emitidos por los buques.

Para la aplicación del método se utilizan datos de las actividades, condiciones operativas, operaciones de trabajo, tipo de combustible y energía de las fuentes móviles (Adland & Fuentes, 2023). La relación de los términos de las ecuaciones 1 y 2 se ilustran en la Figura 10.

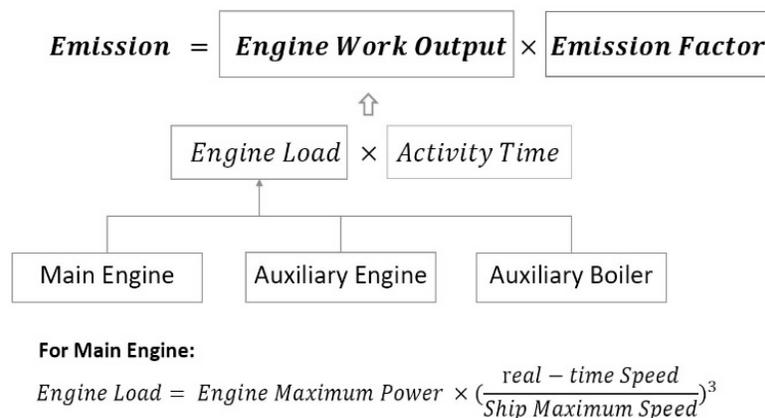


Figura 10: Estimación del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos
 Fuente: (Chan, Lau, & Zhang, Estimation of Marine Emissions Inventory from all AIS-installed Vessels, 2017)

Tabla 1: Línea Base para los Factores de Emisión
Fuente: (OMI, 2014)

Emission Species	Engine Speed or Type	EF Equation	Main SFOC g/kWh	Main EF g/kWh	Main EF g/g fuel	Main EF kg/tonne	Aux SFOC g/kWh	Aux EF g/kWh	Aux EF g/g fuel	Aux EF kg/tonne	Reference	
CO ₂	Slow	1	195	607	3.114	3.114	na	na	na	na	MEPC 63/23, Annex 5	
	Medium	1	215	670	3.114	3.114	227	707	3.114	3.114	MEPC 63/23, Annex 5	
	High	1	na	na	na	na	227	707	3.114	3.114	MEPC 63/23, Annex 5	
	LNG (Otto)	1	166	457	2.750	2.750	166	457	2.750	2.750	MEPC 63/23, Annex 5	
	Gas Turbine	1	305	950	3.114	3.114	na	na	na	na	MEPC 63/23, Annex 5	
Steam	1	305	950	3.114	3.114	na	na	na	na	MEPC 63/23, Annex 5		
NO _x	Slow	na	195	18.1	0.093	92.82	na	na	na	na	ENTEC 2002	
	T0	Medium	2	215	14.0	0.065	65.12	227	14.7	0.065	64.76	ENTEC 2002
		High	na	na	na	na	na	227	11.6	0.0511	51.10	ENTEC 2002
	T1	Slow	na	195	17.0	0.09	87.15	na	na	na	na	IMO Standard
		Medium	3	215	13.0	0.06047	60.47	227	13.0	0.0527	52.7	IMO Standard
	High	na	na	na	na	na	227	10.4	0.04581	45.81	IMO Standard	
	TII	Slow	na	195	15.3	0.07546	75.46	na	na	na	na	IMO Standard
		Medium	na	215	11.2	0.05209	52.09	227	11.2	0.04034	40.34	IMO Standard
		High	na	na	na	na	na	227	8.2	0.03612	36.12	IMO Standard
	LNG (Otto)	na	166	1.3	0.00783	7.83	166	1.3	0.00783	7.83	Kristeva 2012	
	Gas Turbine	na	305	6.1	0.020	20.00	na	na	na	na	IVL 2004	
	Steam	na	305	2.1	0.00689	6.89	na	na	na	na	IVL 2004	
	SO _x	Slow	4	195	10.29	0.053	52.77	na	na	na	na	Mass balance
		Medium	4	215	11.35	0.053	52.79	227	11.98	0.053	52.78	Mass balance
		High	4	na	na	na	na	227	11.98	0.05	52.78	Mass balance
LNG (Otto)		na	166	0.00269	0.00002	0.02	166	0.00269	0.00002	0.02	Kunz & Gorte 2013	
Gas Turbine		4	305	16.10	0.053	52.79	na	na	na	na	Mass balance	
Steam		4	305	16.10	0.053	52.79	na	na	na	na	Mass balance	
PM	Slow	5	195	1.42	0.00728	7.28	na	na	na	na	USEPA 2007	
	Medium	5	215	1.43	0.00665	6.65	227	1.44	0.00634	6.34	USEPA 2007	
	High	5	na	na	na	na	227	1.44	0.00634	6.34	USEPA 2007	
	LNG (Otto)	na	166	0.03	0.00018	0.18	166	0.03	0.00018	0.180	Kristeva 2012	
	Gas Turbine	na	305	0.06	0.00020	0.20	na	na	na	na	IVL 2004	
	Steam	na	305	0.93	0.00305	3.05	na	na	na	na	IVL 2004	
CO	Slow	na	195	0.54	0.0028	2.77	na	na	na	na	Sarri et al 2008	
	Medium	na	215	0.54	0.0025	2.51	227	0.54	0.0024	2.38	Sarri et al 2008	
	High	na	na	na	na	na	227	0.54	0.00236	2.38	Sarri et al 2008	
	LNG (Otto)	na	166	1.30	0.00783	7.83	166	1.30	0.00783	7.83	Kristeva 2012	
	Gas Turbine	na	305	0.10	0.00035	0.35	na	na	na	na	IVL 2004	
	Steam	na	305	0.20	0.00066	0.66	na	na	na	na	IVL 2004	
CH ₄	Slow	6	195	0.012	0.00006	0.06	na	na	na	na	IVL 2004	
	Medium	6	215	0.01	0.00005	0.05	227	0.008	0.00004	0.04	IVL 2004	
	High	6	na	na	na	na	227	0.008	0.00004	0.04	IVL 2004	
	LNG (Otto)	na	166	8.50	0.0312	31.2	166	8.50	0.0312	31.2	MARINTEK 2010	
	Gas Turbine	6	305	0.002	0.00001	0.01	na	na	na	na	IVL 2004	
	Steam	6	305	0.002	0.00001	0.01	na	na	na	na	IVL 2004	
N ₂ O	Slow	7	195	0.031	0.00016	0.16	na	na	na	na	USEPA 2014	
	Medium	7	215	0.034	0.00016	0.16	227	0.036	0.00016	0.16	USEPA 2014	
	High	7	na	na	na	na	227	0.036	0.00016	0.16	USEPA 2014	
	LNG (Otto)	7	166	0.018	0.00011	0.11	166	0.018	0.00011	0.11	Kunz & Gorte 2013	
	Gas Turbine	7	305	0.049	0.00016	0.16	na	na	na	na	USEPA 2014	
	Steam	7	305	0.049	0.00016	0.16	na	na	na	na	USEPA 2014	
NMVOC	Slow	na	195	0.60	0.00308	3.08	na	na	na	na	ENTEC 2002	
	Medium	na	215	0.50	0.00253	2.53	227	0.40	0.00176	1.76	ENTEC 2002	
	High	na	na	na	na	na	227	0.4	0.00176	1.76	ENTEC 2002	
	LNG (Otto)	na	166	0.50	0.00301	3.01	166	0.50	0.00301	3.01	Kristeva 2012	
	Gas Turbine	na	305	0.10	0.00033	0.33	na	na	na	na	ENTEC 2002	
	Steam	na	305	0.10	0.00033	0.33	na	na	na	na	ENTEC 2002	

Tabla 2: Valores Propuestos de Consumo Específico de Combustible
Fuente: (OMI, 2020).

Engine Type	Fuel Type	Before 1983	1984-2000	2001+
SSD	HFO	205	185	175
	MDO	190*	175*	165*
	MeOH	N/A	N/A	350*
MSD	HFO	215	195	185
	MDO	200*	185*	175*
	MeOH	N/A	N/A	370*
HSD	HFO	225	205	195
	MDO	210*	190*	185*
LNG-Otto (dual fuel, medium speed)*	LNG	N/A	173*	156*
LNG-Otto (dual fuel, slow speed)*	LNG	N/A	N/A	148 LNG + 0.8 MDO (pilot)*
LNG-Diesel (dual fuel)*	LNG	N/A	N/A	135 LNG + 6 MDO (pilot)*
LBSI*	LNG	N/A	156*	156*
Gas Turbines	HFO	305	305	305
	MDO	300	300	300
	LNG	N/A	N/A	203*
Steam Turbines (and boilers)	HFO	340*	340*	340*
	MDO	320*	320*	320*
	LNG	285*	285*	285*
Auxiliary Engines	HFO	225	205*	195*
	MDO	210*	190*	185*
	LNG	N/A	173*	156*

Los resultados de esta investigación servirán como base para futuros estudios de Contaminación Marítima y Portuaria. A partir de los datos procedentes del modelo inteligente de las estimaciones de ECA emitidos por los buques se busca contribuir a:

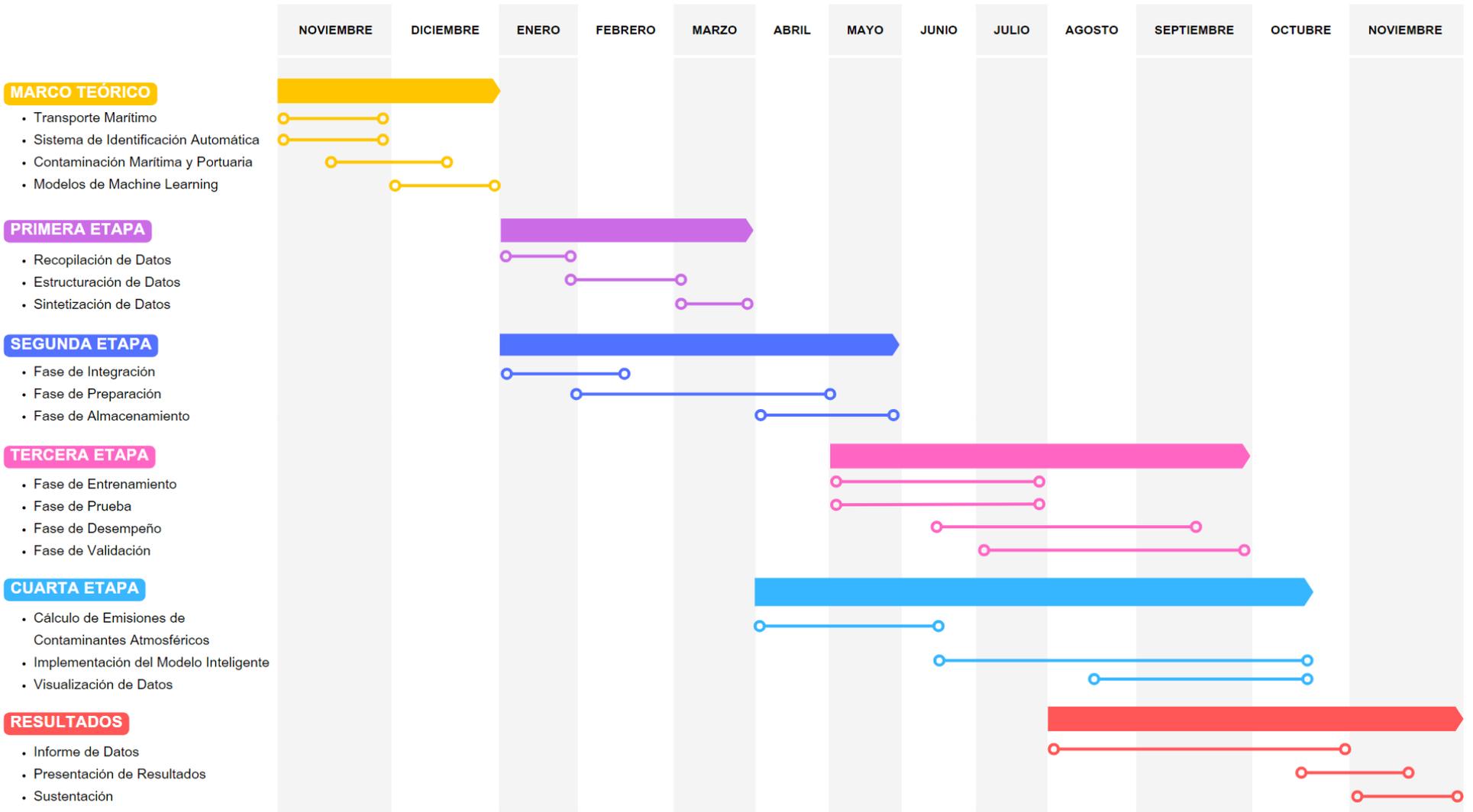
- Identificar las ECA generadas por las actividades, condiciones operativas, operaciones de trabajo, tipo de combustibles y energía propiamente de los buques.
- Revisar las normativas ambientales nacionales para el cumplimiento del NDC del Acuerdo de París, firmado el 22 de abril de 2016.
- Contribuir a la actualización de la información de los siete módulos de la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y otras entidades que lo requieran.
- Implementar medidas para el monitoreo, gestión y reducción de los contaminantes atmosféricos procedentes del entorno logístico, marítimo y portuario.
- Organizar la información para establecer diagnósticos de buenas prácticas de gobernanza y gobernabilidad nacional.
- Generar un primer inventario de Contaminación Marítima y Portuaria que en el futuro pueda incluir, además, las fuentes móviles de contaminación Acústica, Atmosférica, Hídrica, Lumínica y Térmica.

La presentación de los resultados obtenidos del modelo inteligente de la tercera y cuarta etapa se presentará a través de una herramienta de visualización de datos, la cual se seleccionará al final de las etapas de análisis de datos. Los resultados se publicarán posteriormente en un medio de divulgación científica como: Ciclos de Conferencias I+D, Congresos, Redes Sociales o Revistas.

Con esta investigación se busca aportar a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), 13 (Acción por el Clima), 14 (Vida Submarina) y 17 (Alianzas para Lograr los Objetivos) del Plan Estratégico Nacional con Visión de Estado Panamá 2030 (PEN 2030).

Cronograma de Actividades 2023-2024

Maestría en Ciencias en Planificación y Gestión Portuaria con especialización en Sistemas de Transporte



Referencias

- Adland, R., & Fuentes, G. (2023). Greenhouse Gas Mitigation at Maritime Chokepoints: The Case of the Panama Canal. *Transportation Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103694>
- Amable, I., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L., Méndez, J., & Zamora, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *SciELO*, 11. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rme/v39n5/rme170517.pdf>
- AMP. (18 de junio de 2023). Obtenido de <https://www.amp.gob.pa/direccion-general-de-puertos-e-industrias-maritimas-auxiliares/>
- AMP. (19 de agosto de 2023). Autoridad Marítima de Panamá. Obtenido de <https://www.amp.gob.pa/direccion-general-de-puertos-e-industrias-maritimas-auxiliares/>
- Barma, M., Gaya, H., & Lorkaa, A. (2021). Machine Learning Techniques, Methods and Algorithms: Conceptual and Practical Insights. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 55-64. doi:10.9790/9622-1108025564
- CEPAL. (26 de agosto de 2023). Sistema de Monitoreo Satelital de Gases de Efecto Invernadero. Obtenido de <https://flujos-co2.copernicus.nlhpc.cl/>
- Chan, J., Fung, J., Lau, A., & Zhang, Y. (2019). The Significance of Incorporating Unidentified Vessels into AIS-based Ship Emission Inventory. *Atmospheric Environment*, 102-113.
- Chan, J., Lau, A., & Zhang, Y. (2017). Estimation of Marine Emissions Inventory from all AIS-installed Vessels. *International Emissions Inventory Conference*, (pág. 40). Baltimore. Recuperado el 07 de septiembre de 2023, de https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-11/documents/marine_emissions_inventory.pdf
- Chang, R., Billings, R., Kosub, T., & Perez, H. (2009). Automatic Identification Systems (AIS) Data Use in Marine Vessel Emission Estimation. *18th Annual International Emission Inventory Conference*, (pág. 17). Recuperado el 07 de septiembre de 2023, de <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei18/session6/perez.pdf>
- Comisión Interamericana de Puertos. (19 de agosto de 2023). Obtenido de <https://portalcip.org/wp-content/uploads/2019/11/Pedro-Elizalde-Monteagudo.pdf>
- Duke Hernández, V. (mayo de 1998). UP-RID. Obtenido de http://up-rid.up.ac.pa/3087/1/vasco_duke.pdf
- EPA. (29 de octubre de 2020). Environmental Protection Agency. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/ports-emissions-inventory-guidance-webinar-2020-10-29.pdf>
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G.-S., & Smyth, P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *American Association for Artificial Intelligence*.
- Géron, A. (2019). *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. United States of America: O'Reilly.
- Gupta, A., & Gupta, S. (2019). Dealing with Noise Problem in Machine Learning Data-sets: A Systematic Review. *Procedia Computer Science*, 466–474. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.146>
- Huang, L., Wen, Y., Yang, T., Zhang, F., Zhang, Y., & Zhou, C. (2020). Dynamic calculation of ship exhaust emissions based on real-time AIS data. *Transportation Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102277>

- INEC. (s.f.). Obtenido de <https://www.inec.gob.pa/>
- INEC. (20 de marzo de 2019). Obtenido de <https://www.inec.gob.pa/>
- Jia, H., Li, K., Wang, S., Wu, L., & Yang, D. (2019). How big data enriches maritime research – a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications. *Transport Reviews*, 755-773. doi:<https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1649315>
- Kim, G., Lee, E., Mokashi, A., & Young, S. (2019). The Maturity of Automatic Identification Systems (AIS) and Its Implications for Innovation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 17. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse7090287>
- Liu, J., Zhang, H., & Zhen, L. (2021). Blockchain Technology in Maritime Supply Chains: applications, architecture and challenges. *International Journal of Production Research*, 18. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1930239>
- MiAmbiente. (01 de febrero de 2020). Ministerio de Ambiente. Obtenido de <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/10/01-Informe-de-Inventarios-Nacionales.pdf>
- MTCC Latin America. (2023). Obtenido de <https://stats.mtcclatinamerica.com/>
- OMI. (2014). Obtenido de <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/third-imo-ghg-study-2014-executive-summary-and-final-report.pdf>
- OMI. (16 de junio de 2015). Obtenido de [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx)
- OMI. (2020). Obtenido de <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>
- OMI. (24 de julio de 2021). Obtenido de https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/Port-emissions-toolkit-Guide-2-ES-online_compressed.pdf
- OMI. (21 de julio de 2021). Obtenido de https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/Port-emissions-toolkit-Guide-1-ES-online_compressed.pdf
- OMI. (14 de septiembre de 2022). Obtenido de <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2022/09/Clause-by-clause-analysis-of-2021-Revised-MARPOL-Annex-VI-ES-min.pdf>
- Orallo Hernández, J., Ramírez Quintana, M., & Ferri Ramírez, C. (2004). *Introducción a la Minería de Datos*. Pearson.
- Pardo, F. (15 de agosto de 2018). Repositorio Digital USM. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11673/42452>
- Pino, A. (2017). Repositorio Digital USM. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11673/24392>
- Prieto Montañez, D. (7 de noviembre de 2019). Universidad del Norte. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10584/8692>
- UNCTAD. (2022). *Informe sobre el Transporte Marítimo*. Ginebra: Naciones Unidas.
- UNFCCC. (07 de noviembre de 2023). Obtenido de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CDN1%20Actualizada%20Rep%C3%BAblica%20de%20Panam%C3%A1.pdf>