

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EMISIONES DE CO₂

Rosario Marybel Guzmán Jiménez

rguzman@ulima.edu.pe

Escuela de Ingeniería de la Universidad de Lima. Lima, Perú

Emma Virginia Barreno Vereau

ebarreno@correo.ulima.edu.pe

Escuela de Ingeniería de la Universidad de Lima. Lima, Perú

Rosa Fátima Medina Merino

rmedinam@ulima.edu.pe

Escuela de Ingeniería de la Universidad de Lima. Lima, Perú

Resumen

El presente artículo describe el análisis realizado respecto al nivel de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas, fundamentalmente, por el consumo de energía eléctrica domiciliar y por los residuos sólidos que producen los hogares. Se efectuó también, mediante un análisis clúster (conglomerados), una zonificación distrital de acuerdo a diversas características tales como su densidad poblacional, consumo de energía eléctrica, emisión de residuos sólidos, entre otros. Los resultados del procesamiento estadístico, estimación, proyecciones, agrupación, entre otros, fueron mostrados en un sistema de información especialmente elaborado para tal fin. Se establecieron umbrales de referencia para la generación de señales de alerta de altos niveles de emisión de CO₂, que fueron implementados en un tacómetro digital dentro del sistema de información propuesto.

Palabras clave: sistema de información / niveles de emisión de CO₂ / análisis clúster

Abstract

This article describes the analysis made about the level of carbon dioxide (CO₂) emissions mainly generated by domestic electric energy consumption and wastes produced by households. A district zoning was also made through a cluster analysis according to various characteristics of interest. The results of the statistical processing, estimation, projections, data gathering, among others, were shown in an information system specially elaborated for that purpose and in this system thresholds were established as a reference for the generation of warning signals of CO₂ high emission levels that were implemented in a digital tachometer inside the information pyramid proposed.

Keywords: information system / CO₂ emission levels / cluster analysis

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Diversos organismos del estado peruano, tales como el Ministerio de Ambiente (Minam), el Ministerio de Energía y Minas (Minem) y la Municipalidad de Lima propician acciones para disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero. En el proyecto Huella de Ciudades (2014) se comparan los niveles de contaminación por CO₂ entre Lima, Quito y La Paz; los resultados publicados muestran que nuestra ciudad capital presenta una huella de carbono de 15 432 105 t de CO₂.

1.1.1. Iniciativas del gobierno peruano

Mediante la Ley N.º 27345 se declaró de interés nacional la promoción del uso eficiente de la energía, y mediante el Decreto Supremo N.º 064-2010-EM se aprobó la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040. Estas disposiciones buscan reducir el impacto ambiental del uso y consumo de los energéticos. En la Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético-Sector Residencial (2014), elaborado por el Minem, se estableció que el consumo de energía eléctrica genera emisiones contaminantes, siendo las principales el dióxido y el monóxido de carbono; en este contexto la citada entidad pública recomendó la medición anual del consumo energético en las viviendas, así como el planteamiento de acciones de mejora en relación a los hábitos del uso de la energía. En esa línea, el Minam presentó el Proceso de Reconocimiento a la Gestión Ambiental Local Sostenible (GALS), el cual brinda reconocimiento a los gobiernos municipales con el mejor desempeño mostrado en gestión ambiental.

1.1.2. Soluciones informáticas de soporte

Las iniciativas de soluciones informáticas de soporte a los gobiernos municipales auspiciadas por el WRI¹, ICLEI², C40³, entre otros, contemplan estándares internacionales de medición de la huella de carbono para las ciudades. Sus características son las siguientes:

1 WRI: Instituto mundial de recursos (WRI por sus siglas en inglés World Resources Institute).

2 ICLEI: Consejo internacional para las iniciativas medioambientales locales, (ICLEI, por sus siglas en inglés International Council for Local Environmental Initiatives).

3 C40: Grupo de liderazgo climático que reúne a gobiernos locales de distintas ciudades que trabajan para reducir las emisiones de carbono y adaptarse al cambio climático.

- Cuentan con tecnología Web 2.0, gestión avanzada de reportes, gestión de contenidos manejados por el usuario y visualización de datos en 2D.
- Están orientadas para uso global pero en forma principal dirigida a los miembros de la C40 y la red de ICLEI.
- Establecen alianzas con proveedores tecnológicos internacionales.
- Trabajan con datos históricos y además realizan frecuentemente una actualización de la información para los Estados Unidos y, en menor frecuencia, para el resto de países.

Detallamos algunas de las soluciones informáticas disponibles:

- Climate and Air Pollution Planning Assistant (CAPPA)*. Herramienta orientada a los municipios de Estados Unidos para identificar proyectos de reducción de emisiones (Open Energy Information, 2014).
- STAR Community Index*. Sistema de estándares verdes para ciudades, priorización e información para la toma de decisiones, guía para las mejoras climáticas y metas de sostenibilidad (Star Communities, 2014).
- Project2degrees*. Sistema que establece una línea de base de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades, y permite el seguimiento de la eficacia de los programas de reducción de emisiones (Irvine, 2009).
- Carbonn© Climate Registry (CCR)*. Plataforma de información sobre acciones y compromisos climáticos, así como del repositorio designado por el Pacto de los Alcaldes.
- Herramienta de análisis armonizado de emisiones (HEAT+). Apoya a los gobiernos locales a tomar decisiones de acción climática informada y a identificar las medidas más eficaces en la reducción de emisiones y contaminantes (Heatplus, 2015)

1.2. Planteamiento del problema

El Perú es una de las regiones más afectadas por el cambio climático y se ha estimado para el año 2030 una pérdida de 6 % del PBI potencial. Para el 2050 estas pérdidas serían mayores al 20 %; pero si se adoptan políticas globales que estabilicen las variables climáticas al 2030, se reduciría dicho impacto (Vargas, 2009). El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) señaló en un informe que son fuentes importantes

de emisión de dióxido de carbono (CO₂) no solamente la contaminación por emanación de gases del parque automotor e industrial, sino también la causada por el uso de sistemas de calefacción y el empleo de electrodomésticos en el domicilio.

Los altos niveles de uso de energía eléctrica en los hogares de Lima Metropolitana se encuentran vinculados a los elevados niveles de contaminación. Los principales factores asociados son el uso inadecuado de electrodomésticos, el funcionamiento informal de microempresas en locales domiciliarios, el bajo uso de focos “ahorradores”, entre otros. Algunas de las principales consecuencias de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero, son las alteraciones al medio ambiente; tales como las citadas por Herrán (2012), referidas al aumento de la temperatura promedio, la destrucción de los bosques, así como el cambio en el uso del suelo; además, señala que el cambio climático es un problema por las siguientes razones: un incremento de dos grados celcius en la temperatura promedio produciría una modificación del clima de efectos irreversibles, y que una alteración climática por encima de lo señalado produciría una desestabilización social, económica, ambiental y política en diversas regiones del mundo. En este contexto, el Estado peruano ha puesto en marcha el Plan Energético Nacional 2014-2025, donde se plantean medidas de acción inmediata para disminuir las consecuencias del alto consumo de energía eléctrica.

El presente artículo plantea un sistema de información que servirá como herramienta de monitoreo para el cumplimiento de las políticas de eficiencia asociadas al consumo de energía eléctrica, bajo un escenario de cambio climático.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de información para el monitoreo y control de emisiones de CO₂ asociados al consumo de energía eléctrica en Lima Metropolitana.

1.3.2. Objetivos específicos

- i. Pronosticar el consumo de energía eléctrica domiciliaria en Lima Metropolitana.
- ii. Estimar las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía eléctrica.
- iii. Segmentar, mediante el análisis clúster, a los distritos de Lima Metropolitana por zonas con mayor consumo de energético y demás características de interés.
- iv. Generar alertas basadas en niveles de consumo y sus emisiones asociadas.
- v. Elaborar un mapa de contaminación según niveles de riesgo.

1.4. Justificación y aportes

1.4.1. Justificación

El estado peruano requiere de información para la planificación estratégica y monitoreo del sistema energético que permita garantizar su perdurabilidad, por lo cual se requiere de la optimización en la recopilación e intercambio de conocimientos. Gamio (2013) señala que los políticos deben tomar decisiones basadas en información adecuada y accesible en tiempo real, de forma estructurada y orientada al cumplimiento de objetivos. En los últimos años, los gobiernos municipales y ministerios involucrados vienen realizando esfuerzos aislados pero carecen de la información necesaria que permita abordar eficaz y sosteniblemente esta problemática. El proyecto en el que se basa este artículo integra a los involucrados mediante el uso de las TI.

1.4.2. Aportes

Se brinda a los ministerios involucrados, los gobiernos municipales y la comunidad, una herramienta informática con información estadística que permite la sinergia entre sus usuarios y muestre la información de interés de manera transparente; a través de la cual se podrán establecer acciones de mejora para la reducción de la huella de carbono.

2. Metodología

2.1. Tipo y diseño de investigación

El proyecto del cual se extrae el presente artículo fue una investigación aplicada no experimental. Se denominó “aplicada” ya que se orientó a brindar una solución a una determinada problemática de interés (Vélez, 2005); y su carácter no experimental se debió a que se realizó sin manipulación de variables (Hernández, 2010). De acuerdo a la naturaleza de los datos, el proyecto presentó un enfoque cuantitativo pues se recopilaron variables numéricas y categóricas, que fueron analizadas mediante procedimientos estadísticos (Hernández, 2010).

2.2. Fuentes de información

El proyecto se desarrolló a través de fuentes mixtas de información, provenientes de fuentes primarias (encuesta dirigida a hogares) y de fuentes secundarias (información proporcionada por el Mined y el Minam).

2.3. Unidad de análisis

Se consideró como unidad de análisis al habitante de los principales distritos de Lima Metropolitana⁴, teniendo en cuenta que no formaron parte del estudio los residentes en viviendas colectivas (hospitales, asilos, cuarteles, entre otros).

2.4. Población y muestra

El estudio aborda diversos aspectos y en algunos casos se trabajó de forma poblacional. La encuesta dirigida a hogares se llevó a cabo a partir de una muestra distribuida entre los principales distritos de Lima este.

2.4.1. Población

La población de interés se encuentra compuesta por los habitantes de los Treinta y dos con mayor cantidad de habitantes en Lima Metropolitana, según el XI Censo Nacional de Población 2007 (INEI, 2015). A continuación se detallan los distritos considerados:

- Lima Centro: Barranco, Breña, El Agustino, Jesús María, La Victoria, Lima, Lince, Magdalena del Mar, Miraflores, Pueblo Libre, Rímac, San Borja, San Isidro, San Miguel y Surquillo.
- Lima Norte: Comas, Carabaylo, Independencia, Los Olivos, Puente Piedra y San Martín de Porres.
- Lima Sur: Chorrillos, Santiago de Surco, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador y Villa María del Triunfo.
- Lima Este: Ate, Chaclacayo, La Molina, San Juan de Lurigancho, Santa Anita y San Luis.

2.4.2. Muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra para la encuesta a los hogares se consideró como variable de interés el consumo anual per cápita de energía eléctrica domiciliar medida en kilowatts hora (kwh), para lo cual se tomó en cuenta lo siguiente:

Desviación estándar de la variable de interés (σ): 200 kwh

Error de estimación máximo permisible (e): 31 kwh

⁴ Se excluirán los distritos de Cieneguilla, Lurigancho, Lurín, Pachacamac y los distritos balnearios.

Nivel de confianza: $\gamma\% = (1-\alpha)*100\% = 90\%$, por lo cual $\alpha = 0.10$,
 y $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.645$

$$\text{Por lo tanto: } n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{e^2} = \frac{(1.645)^2 (200)^2}{31^2} \approx 113 \text{ hogares}$$

Para la distribución del tamaño de muestra determinado (muestreo estratificado con afijación proporcional), se consideró la cantidad de viviendas por distrito, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución del tamaño de muestra

Distrito	Población	Sub muestra
Ate	108 849	32
La Molina	32 945	10
San Juan de Lurigancho	189 671	56
Santa Anita	39 709	12
San Luis	13 347	4
Total	384 521	113

Elaboración propia

3. Resultados

3.1. Sistema de información

El presente artículo, además de obtener indicadores asociados a los niveles de emisión de CO₂ —con base en los datos proporcionados por los residentes y la data histórica registrada—, los registra y muestra a través de un sistema que involucra diversas tecnologías de información.

3.1.1. Base de datos

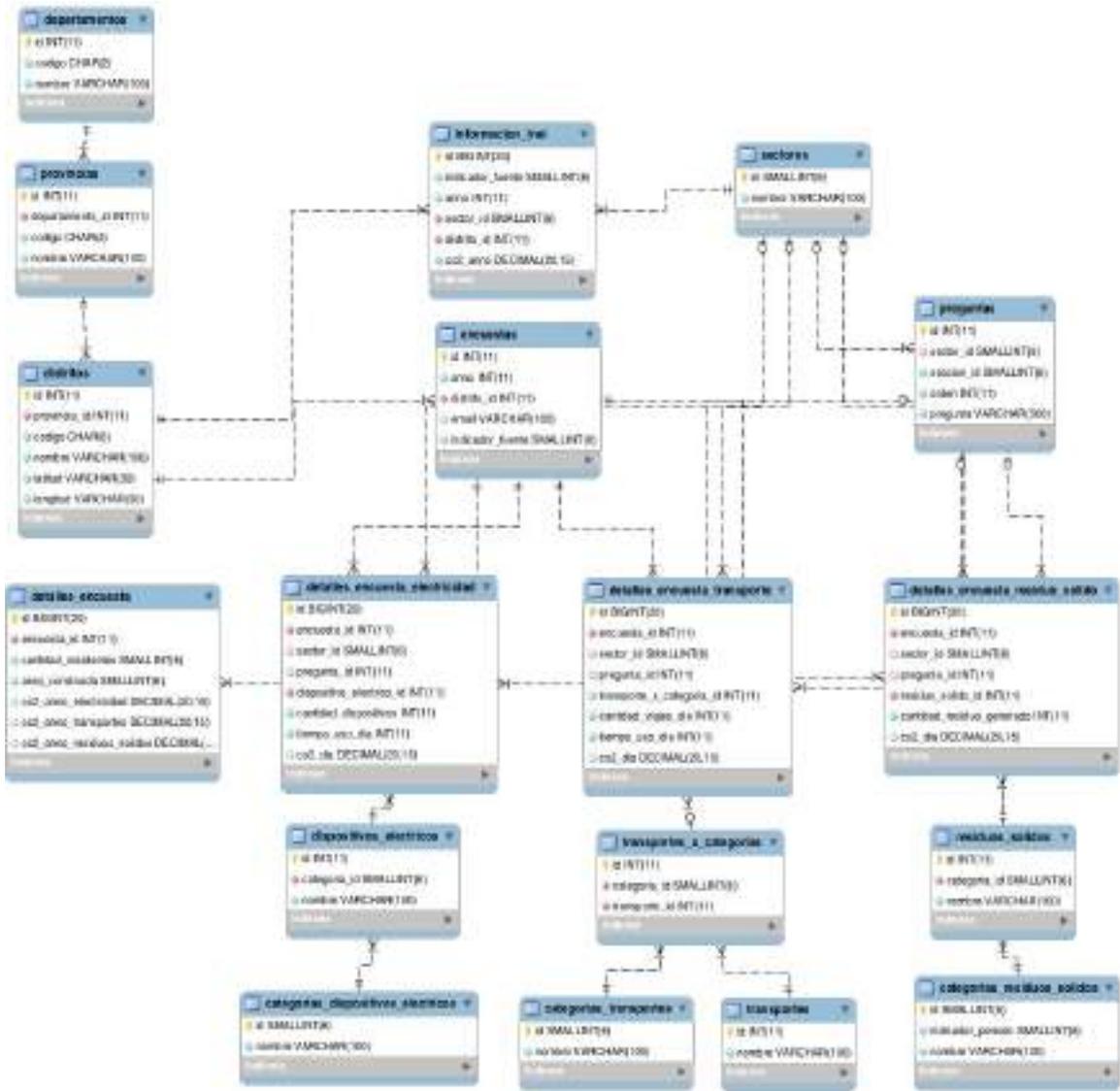
Parte fundamental del sistema propuesto radica en el almacenamiento de los datos provenientes de fuentes primarias y secundarias. En el repositorio se efectuó una carga inicial masiva con los datos provenientes de las fuentes abajo señaladas:

- Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda (INEI)
- Evolución de Indicadores de Sector Eléctrico 2009-2014 (Minem)
- Anuario Ejecutivo de Electricidad 2013 (Minem)

- Indicadores del Subsector Eléctrico por Regiones (INEI)
- Facturación por venta de energía eléctrica a clientes finales por tipo de mercado y sistema eléctrico 2014 (INEI)

A continuación se muestra el diseño de la base de datos, elaborada mediante el sistema de gestión de base de datos MySQL.

Figura 1. Base de datos relacional de Calcula tu Huella



Elaboración propia

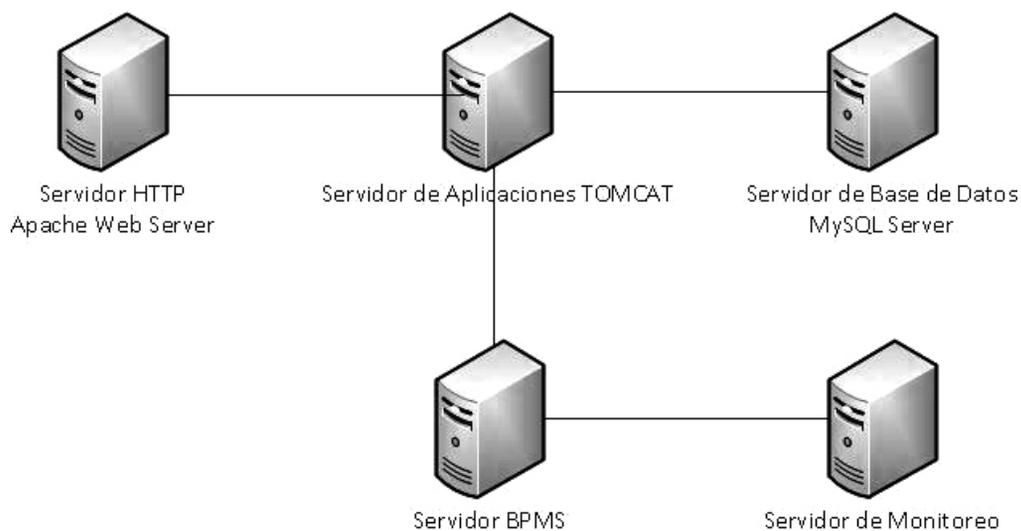
3.1.2. Arquitectura del sistema

El esquema de la figura 2 presenta la infraestructura física utilizada para brindar soporte al despliegue del prototipo, implementado en una máquina virtual; en esta se aprecian los cinco servidores utilizados.

- Servidor de Aplicaciones
- Servidor de Base de Datos

- Servidor HTTP
- Servidor de BPMS
- Servidor de Monitoreo

Figura 2. Infraestructura física utilizada



Elaboración propia

En la tabla 2 se describen las características técnicas de cada uno de los servidores.

Tabla 2. Descripción de los servidores

Ítem	Aplicaciones	Base de datos	HTTP	BPMS	Monitoreo
Sistema operativo	Red Hat Linux 6.4 – 64 bits				
Memoria RAM	2 GB	1 GB	1 GB	4 GB	4 GB
CPU asignado	Procesador de 64 bits				
Espacio en disco	8 GB	8 GB	6 GB	30 GB	30 GB
Tarjeta de red	Una conexión ethernet				

(Continúa)

(Continuación)	Aplicaciones requeridas	Java JDK 1.7.x	MySQL Server 5.1.66	Apache Web Server 2.2.15	IBM Process Manager 8.5.6	IBM Business Monitor 8.5.6
		Apache Tomcat 7.x			IBM DB2 Enterprise 10.5	

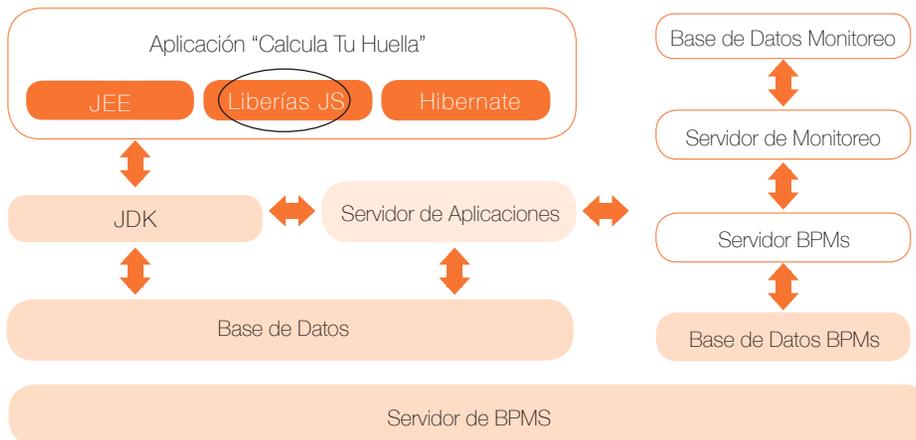
Elaboración propia

En el prototipo la conectividad entre los servidores se da a nivel de TCP/IP implementado sobre el mismo segmento de red, por lo cual el intercambio de información no requiere componentes adicionales.

3.1.3. Diagrama de componentes

En la figura 3 se presenta el diagrama de los componentes arquitecturales requeridos para la implementación del piloto de Calcula tu Huella.

Figura 3. Diagrama de componentes



Elaboración propia

A continuación se presenta una descripción de los componentes arquitecturales:

- Base de datos: Componente destinado a la gestión, almacenamiento y resolución de consultas y transacciones realizadas en el módulo “Calcula Tu Huella”.
- Base de datos BPMS: Se encarga de la gestión, almacenamiento y transacciones de la información relacionada con la ejecución de los procesos de negocio.

- Base de datos de monitoreo: Su función es gestionar y controlar las transacciones de los modelos de monitoreo, mediante la recopilación de datos en tiempo real a través del proceso implementado en el servidor BPMS.
- Servidor de aplicaciones: Se encarga de la administración y gestión del ciclo de vida del módulo Calcula tu Huella, así como de verificar que el módulo se encuentre activo atendiendo las peticiones de los clientes externos.
- Servidor BPMS: Ejecuta la generación de la alerta a través de una interfaz con la aplicación Calcula tu Huella, la cual verifica si la actualización del indicador del nivel de CO₂ superó el umbral determinado.
- Servidor monitoreo: Encargado de la implementación de los indicadores y de la emisión de la alerta en tiempo real con la aplicación Calcula tu Huella, que verifica si el indicador del nivel de CO₂ superó el umbral determinado.
- JDK: Elemento externo complementario para el funcionamiento del Servidor de Aplicaciones. Dispone de librerías que garantizan la ejecución óptima y consistente del Servidor de Aplicaciones.
- Aplicación Calcula tu Huella: Contiene la solución automatizada para las operaciones asociadas al cálculo de la huella de carbono por distritos.
 - JEE (*Java Enterprise Edition*): Componente que hace referencia a archivos de configuración, de clases y tipos de clases armonizadas en un conjunto de clases de solución, requeridas por la aplicación Calcula Tu Huella para implementar los requerimientos y transformarlos en las funcionalidades de la aplicación.
 - *Hibernate*: Componente de comunicación entre el modelo relacional, ejecutado por la base de datos, y el modelo orientado a objetos, ejecutado por la aplicación Calcula Tu Huella.
 - Librerías JS: Componente que engloba funcionalidades destinadas a una fácil implementación de interfaces de usuario amigables. Implementan el concepto de *responsive*, es decir, se adaptan a cualquier medio físico con el cual se conecten a la aplicación, ya sea una *laptop* o un *smartphone*.

3.1.4. Interfaces del sistema

En la pantalla de presentación se muestra a los distritos con mayor y menor nivel de emisión de CO₂ (burbujas rojas y burbujas verdes, respectivamente), según los resultados obtenidos mediante la aplicación del análisis clúster (véase figura 4).

Figura 4. Página principal del prototipo

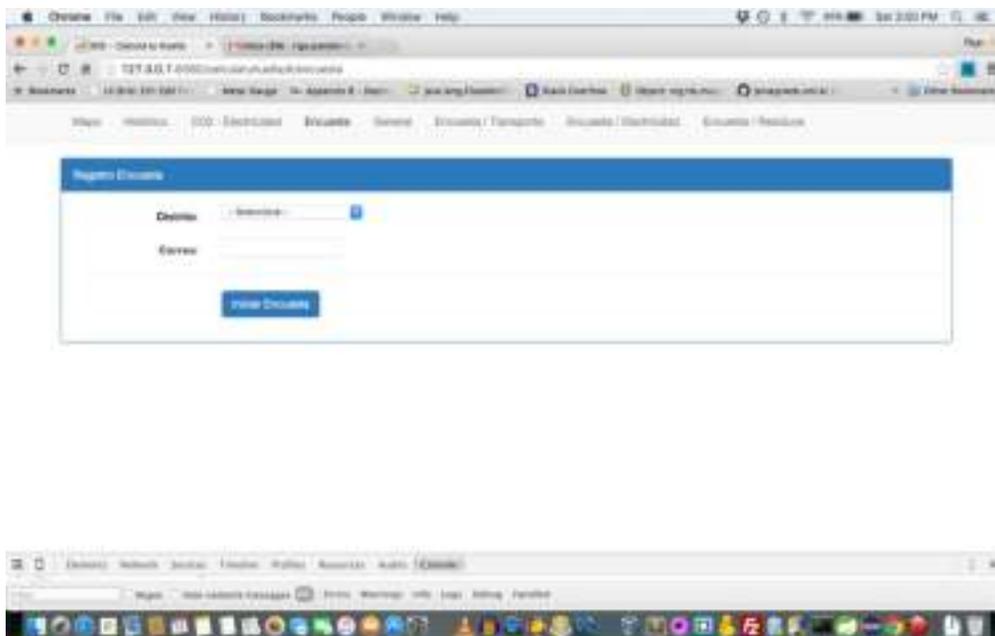


Elaboración propia

Módulo para el residente de un distrito

En la figura 5 se muestra la pantalla de ingreso y salida que observará el usuario residente de un distrito. El módulo para el residente tendrá por finalidad principal la aplicación de una encuesta en línea para determinar su huella de carbono.

Figura 5. Pantalla de registro de la encuesta



Elaboración propia

Cuando se finalice la encuesta, se mostrarán los indicadores de emisión de CO₂, expresados en t/hab., asociados al usuario. Además, se presentará la distribución de las fuentes de emisión de CO₂ para dicho distrito, tal como se expone en la figura 6.

Figura 6. Resultado de la encuesta: emisión de CO₂

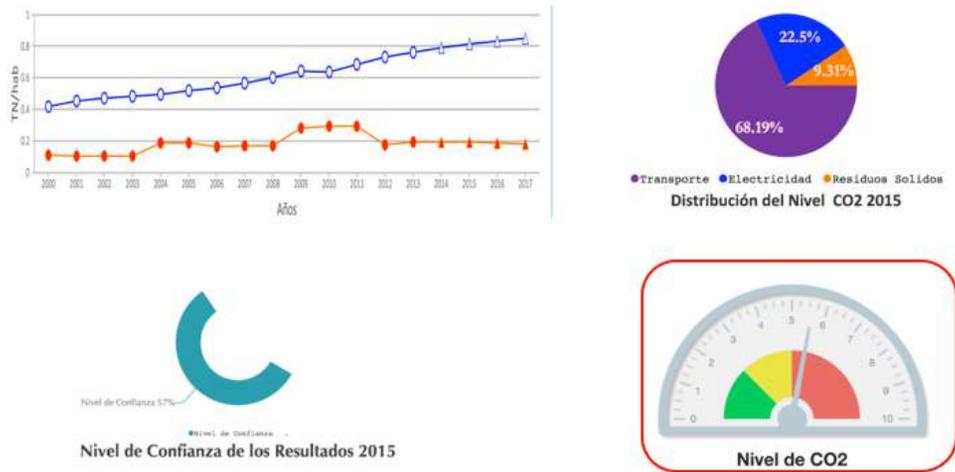


Elaboración propia

Modulo para el gobierno municipal

Como se ve en la figura 7, en este módulo los usuarios de los gobiernos municipales visualizarán los gráficos de emisión de CO₂ (t/hab.) asociados a su distrito.

Figura 7. Gráficos de emisión de CO₂



Elaboración propia

En esta sección se presentan los siguientes resultados para cada distrito:

- Información histórica y proyecciones de la generación de CO₂ en t/hab.
- Distribución de la emisión de CO₂ por distrito, según fuentes de generación
- Tacómetro que muestra la emisión de CO₂ por habitante
- Niveles de confiabilidad de la estimación de emisiones de CO₂ de acuerdo al tamaño de la muestra recabada

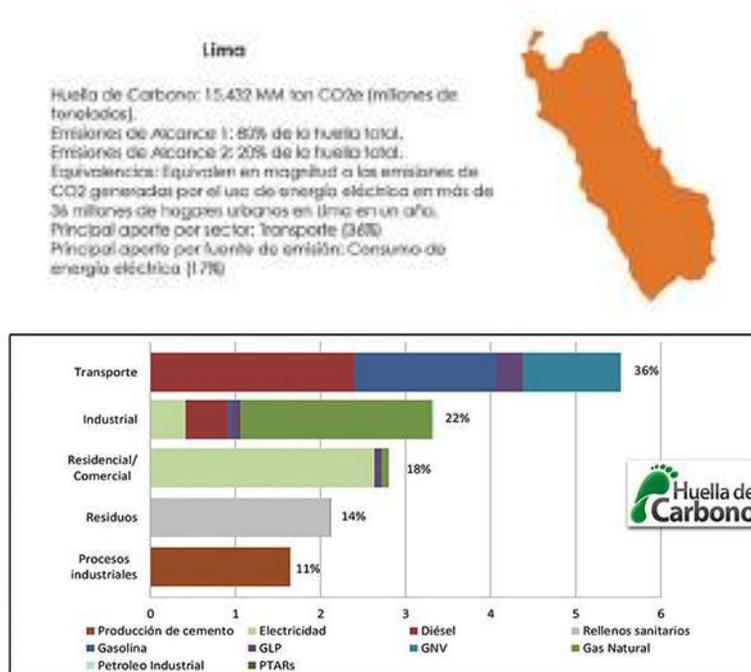
Tacómetro de alerta de niveles de emisión de CO₂ per cápita

El tacómetro brinda una comparación gráfica entre los niveles permitidos de emisión de CO₂ y los valores estimados (realizada a partir de los datos ingresados por el residente). En un artículo del diario *El Comercio* elaborado por García (2014), citando al Ministerio del Ambiente (Minam), se señala que “Nuestra huella de carbono equivale a 5 toneladas de CO₂ por habitante al año”. El Minam indicó que lo recomendable sería reducir dicha huella a dos toneladas al año, siendo este parámetro el utilizado en el sistema. En el tacómetro se han determinado tres zonas:

- Sin riesgo (zona verde). Nivel ideal recomendado: Hasta 2 t de CO₂.
- Riesgo moderado (zona amarilla). Mayor al nivel ideal y hasta el promedio nacional: < 2, 5] t de CO₂.
- En riesgo (zona roja). Mayor al nivel promedio nacional: mayor a 5 t de CO₂.

Por otro lado, según el proyecto Huella de Ciudades (2014), los niveles de CO₂ a nivel residencial en Lima son en 17 % producto del consumo de energía eléctrica en hogares, y 14 % debido a la generación de residuos o desechos sólidos, orgánicos e inorgánicos, en los domicilios (figura 8).

Figura 8. Niveles de CO₂ en Lima según procedencia



Fuente: Proyecto Huellas de Ciudades (2014)

Web service alerta

Cada vez que algún residente realice la encuesta en línea, el aplicativo enviará al Servidor BPMS los resultados de la ejecución de la encuesta para actualizar el modelo de monitoreo y así se actualizará el indicador correspondiente. En el servidor de monitoreo se generarán los avisos que serán enviados a los gobiernos municipales, según los umbrales definidos, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 9. Generación de aviso

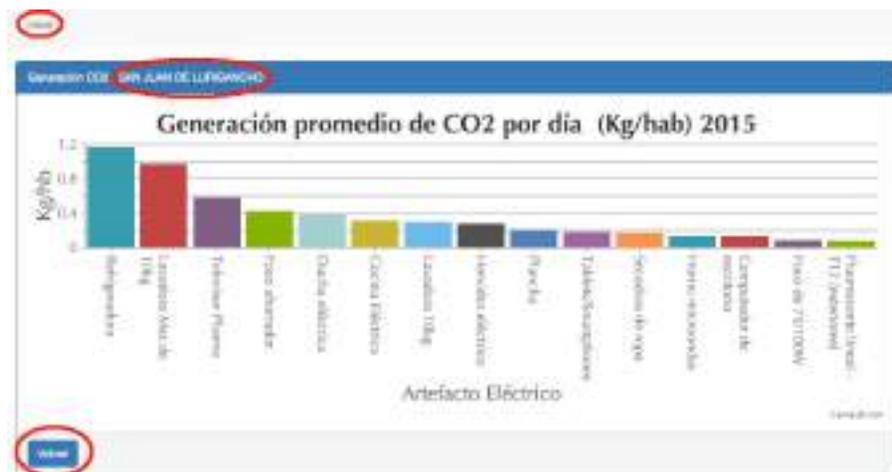


Elaboración propia

Módulo para el Minam y el Minem

El sistema brinda al Minam y al Minem las mismas funcionalidades que se dan a los gobiernos municipales, pero con acceso a todos los distritos. Además visualizará los resultados de la encuesta en línea asociados a la generación promedio de CO₂ por consumo de energía eléctrica domiciliar, según el tipo de artefacto eléctrico. Para ello se muestra un gráfico de Pareto que identifica los principales artefactos que ocasionaban aproximadamente el 80 % de la emisión de CO₂ en cada distrito (figura 10).

Figura 10. Interfaz de visualización de la generación promedio de CO₂ por día



Elaboración propia

3.2. Estimaciones y pronósticos por distritos de Lima Metropolitana

Los datos que se recabaron, a partir de fuentes secundarias, corresponden al consumo de energía eléctrica y a la generación de residuos sólidos en los domicilios, siendo del tipo longitudinal para los años 2000 al 2014. Los datos registrados presentan tendencia y no se observan indicios de ciclos o estacionalidad. En el presente artículo se dan a conocer los pronósticos, mediante el método de suavización exponencial, de los principales distritos de Lima Este.

3.2.1. Pronósticos de emisiones de CO₂ por consumo de energía eléctrica domiciliaria

En la tabla 3 se indican los datos históricos de los distritos señalados, desde el año 2000 hasta el 2014, del CO₂ generado por consumo de energía eléctrica; de igual manera se exhiben los pronósticos correspondientes para los años 2015, 2016 y 2017.

Tabla 3. Datos históricos y pronósticos de CO₂ (T/hab.) generados por consumo de energía eléctrica

	Año	Ate	La Molina	San Juan de Lurigancho	San Luis	Santa Anita
Datos históricos	2000	0,4384	0,4176	0,4182	0,4182	0,4181
	2001	0,4258	0,4316	0,4539	0,4446	0,4315
	2002	0,4490	0,4486	0,4716	0,4638	0,4485
	2003	0,4670	0,4661	0,4866	0,4889	0,4663
	2004	0,4758	0,4793	0,4966	0,4915	0,4800
	2005	0,5052	0,4992	0,5194	0,5155	0,5002
	2006	0,5229	0,5200	0,5363	0,5334	0,5211
	2007	0,5591	0,5497	0,5657	0,5638	0,5507
	2008	0,6077	0,5925	0,6048	0,6042	0,5934
	2009	0,6490	0,6403	0,6421	0,6430	0,6413
	2010	0,6278	0,6560	0,6402	0,6419	0,6577
	2011	0,6925	0,6860	0,6874	0,6910	0,6876
	2012	0,7463	0,7292	0,7315	0,7367	0,7305
	2013	0,7734	0,7700	0,7620	0,7684	0,7713
	2014	0,8015	0,8056	0,7921	0,7997	0,8070

(Continúa)

(Continuación)	Pronósticos	2015	0.8214	0.8312	0.8157	0.8242	0.8329
		2016	0.8440	0.8585	0.8338	0.8465	0.8615
		2017	0.8649	0.8841	0.8512	0.8721	0.8889

Elaboración propia

En todos estos distritos se aprecia un incremento constante de los valores de emisión de CO₂.

3.2.2. Pronósticos de emisiones de CO₂ por residuos sólidos domiciliarios

En la tabla 4 se presentan los datos históricos en los distritos señalados, desde el año 2000 hasta el 2014, del CO₂ generado por los residuos sólidos domiciliarios, así como los pronósticos correspondientes para los años 2015, 2016 y 2017.

Tabla 4. Datos históricos y pronósticos de CO₂ (t/hab.) generados por residuos sólidos

	Año	Ate	La Molina	San Juan de Lurigancho	San Luis	Santa Anita
Datos históricos	2000	0.1810	0.3504	0.1109	0.1858	0.1159
	2001	0.1897	0.3506	0.1077	0.1702	0.1352
	2002	0.1935	0.3716	0.1065	0.2020	0.1514
	2003	0.1961	0.3674	0.1052	0.2190	0.1657
	2004	0.2036	0.3272	0.1912	0.2981	0.1927
	2005	0.2095	0.3226	0.1917	0.3295	0.2156
	2006	0.2136	0.3269	0.1660	0.2770	0.2309
	2007	0.2176	0.3433	0.1703	0.3164	0.2445
	2008	0.2217	0.3264	0.1734	0.3264	0.2588
	2009	0.2299	0.3416	0.2863	0.3189	0.2756
	2010	0.2374	0.3512	0.2952	0.3196	0.2906
	2011	0.2436	0.3509	0.2954	0.2967	0.3032
	2012	0.2398	0.3631	0.1803	0.3167	0.3147
	2013	0.2391	0.3532	0.1940	0.3152	0.3223
	2014	0.2385	0.3290	0.1964	0.3171	0.3290

(Continúa)

(Continuación)	Pronósticos	2015	0.2397	0.3281	0.1925	0.3167	0.3386
		2000	0.2408	0.3271	0.1887	0.3145	0.3478
		2017	0.2417	0.3261	0.1851	0.3136	0.3566

Elaboración propia

De los distritos analizados, la mayoría presenta un comportamiento estacionario, a excepción de Santa Anita donde se observa una tendencia ascendente.

3.3. Conformación de clúster por distritos

Mediante un análisis clúster, en base a características demográficas y de sus niveles de contaminación, se elaboró una zonificación de los distritos limeños en análisis. A continuación se presenta el procedimiento realizado y los resultados obtenidos.

3.3.1. Procedimiento de agrupación y algoritmo de clasificación

Se optó por la aplicación de un método jerárquico de agrupación, pues permite visualizar los grupos a formarse con sus correspondientes niveles de similaridad; también se llevaron a cabo pruebas con diferentes algoritmos de vinculación: Promedio (*Average*), Centroide y Ward, así como una comparación de los resultados obtenidos.

3.3.2. Medida de distancia

De acuerdo a los algoritmos de vinculación considerados, se decidió por utilizar la distancia euclídea cuadrada y la distancia de pearson al cuadrado. En los análisis correspondientes, de la combinación del algoritmo y de la medida de distancia se obtendrá una gran cantidad de grupos. De esta manera se determinará, más adelante, la cantidad más adecuada.

3.3.3. Resultados y descripción de los grupos

En la tabla 5 se detallan las agrupaciones obtenidas según algoritmo de vinculación y medida de distancia aplicado:

Tabla 5. Resultados de los agrupamientos realizados para diferentes algoritmos de vinculación

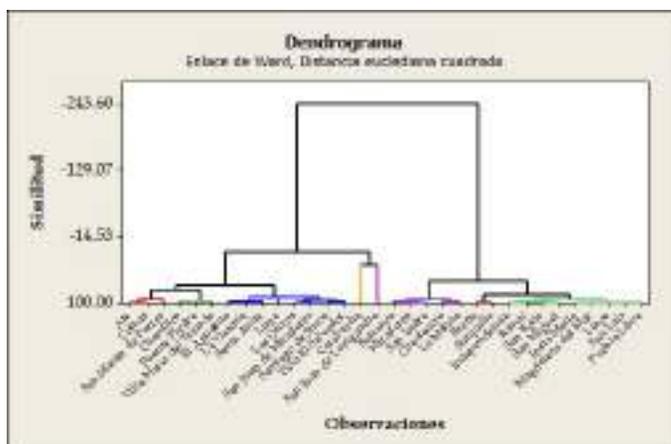
Promedio	Centroide	Ward
Ate, Comas, San Martín de Porres.	Ate, Comas, San Martín de Porres.	Ate, Comas, San Martín de Porres.
Barranco, Miraflores, San Borja, San Isidro, Independencia, Rímac, San Miguel, Jesús María, Magdalena del Mar, Lince, San Luis, Pueblo Libre.	Barranco, Miraflores, San Borja, San Isidro, Independencia, Rímac, San Miguel, Jesús María, Magdalena del Mar, Lince, San Luis, Pueblo Libre.	Independencia, Rímac, San Borja, San Miguel, Jesús María, Magdalena del Mar, Lince, San Luis, Pueblo Libre.
Breña, Surquillo.	Breña, Surquillo.	Breña, Surquillo.
El Agustino, La Victoria, Santa Anita, Los Olivos, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador, Lima, Santiago de Surco.	Lima	El Agustino, La Victoria, Santa Anita, Lima, Los Olivos, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Villa El Salvador.
Chaclacayo, La Molina	Chaclacayo, La Molina	Barranco, Miraflores, San Isidro, Chaclacayo, La Molina.
Chorrillos, Puente Piedra, Villa María del Triunfo.	Chorrillos, Puente Piedra, Villa María del Triunfo, Santiago de Surco, El Agustino, La Victoria, Santa Anita, Los Olivos, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador	Chorrillos, Puente Piedra, Villa María del Triunfo.
Carabayllo	Carabayllo	Carabayllo
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho

Nota: Similares resultados aplicando las distancias euclídea al cuadrado y Pearson al cuadrado

Elaboración propia

Se observa que con los diferentes algoritmos y medidas se obtienen similares resultados, lo cual es un indicio de grupos compactos y claramente delimitados. Además, se aprecia que mediante el algoritmo de Ward se obtiene una menor cantidad de grupos de tamaño reducido, con uno o dos distritos por grupo, a diferencia de los otros métodos empleados. De acuerdo a las agrupaciones insertas en el dendrograma de la figura 11 (algoritmo de Ward) se observan dos grupos principales, tal como se lista en la tabla 6:

Figura 11. Dendrograma obtenido con el algoritmo de vinculación de Ward



Elaboración propia

Tabla 6. Distritos que conforman los dos grupos obtenidos

Grupo 1	Grupo 2
Ate	Barranco
Comas	Miraflores
San Martín de Porres	San Isidro
Chorrillos	Chaclacayo
Puente Piedra	La Molina
Villa María del Triunfo	Breña
El Agustino	Surquillo
La Victoria	Independencia
Santa Anita	Rímac
Lima	San Borja
Los Olivos	San Miguel
San Juan de Miraflores	Jesús María
Santiago de Surco	Magdalena del Mar
Villa El Salvador	Lince
Carabaylo	San Luis
San Juan de Lurigancho	Pueblo Libre

Elaboración propia

En cada grupo principal se aprecian subagrupaciones, como por ejemplo, en el grupo 1, donde se distinguen dos grupos conformados por un solo distrito: Carabayllo y San Juan de Lurigancho (véase tabla 7). Ello se debe a que estos distritos presentan una gran diferenciación con respecto a los demás en relación a su población, consumo de energía eléctrica y emisión de residuos sólidos. Por lo descrito, la zonificación obtenida mediante el método de Ward será la que se considerará para ser implementada en el sistema de gestión que presentará los resultados finales.

Tabla 7. Zonificación en grupos y subgrupos de acuerdo al método de Ward

Subgrupo 1A	Subgrupo 1B	Subgrupo 1C
Ate, Comas, San Martín de Porres, Chorrillos, Puente Piedra, Villa María del Triunfo	El Agustino, La Victoria, Santa Anita, Lima, Los Olivos, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Villa El Salvador	Carabayllo
		Subgrupo 1D
		San Juan de Lurigancho
Subgrupo 2A	Subgrupo 2B	Subgrupo 2C
Barranco, Miraflores, San Isidro, Chaclacayo, La Molina	Breña, Surquillo	Independencia, Rímac, San Borja, San Miguel, Jesús María, Magdalena del Mar, Lince, San Luis, Pueblo Libre.

Elaboración propia

Descripción de los grupos conformados

Para la descripción de la zonificación elaborada, se obtuvieron la media y la desviación estándar de las variables consideradas en el análisis, desagregadas por cada grupo y subgrupo. En las tablas 8, 9 y 10 se indican las mencionadas medidas resumen obtenidas.

Tabla 8. Medidas resumen por grupo

Variable	Grupo	Media	Desviación estándar
Superficie	G1	61,80	82,50
	G2	12,63	16,77
Consumo de energía eléctrica	G1	517 421 688,00	275 162 978,00
	G2	117 118 761,00	65 834 395,00
Residuos sólidos	G1	127 707,00	52 001,00
	G2	39 242,00	18 773,00

(Continúa)

(Continuación)

CO ₂	G1	1 752 505,00	93 1976,00
	G2	396 681,00	222 981,00
Densidad poblacional	G1	11 970,00	6 040,00
	G2	13 286,00	6 972,00

Elaboración propia

Tabla 9. Medidas resumen. Subgrupos del Grupo 1

Variable	Grupo	Cantidad de distritos	Media	Desviación estándar
Superficie	G1A	6	57.34	17.95
	G1B	8	20.80	10.31
	G1C	1	346.88	*
	G1D	1	131.25	*
Consumo de energía eléctrica	G1A	6	598523281.00	182050422.00
	G1B	8	377652681.00	124580533.00
	G1C	1	350391088.00	*
	G1D	1	1315994784.00	*
Residuos	G1A	6	116631.00	42916.00
	G1B	8	126870.00	45380.00
	G1C	1	82060.00	*
	G1D	1	246504.00	*
CO ₂	G1A	6	2027195.00	616604.00
	G1B	8	1279108.00	421954.00
	G1C	1	1186773.00	*
	G1D	1	4457267.00	*
Densidad poblacional	G1A	6	9228.00	4873.00
	G1B	8	15921.00	4106.00
	G1C	1	804.21	*
	G1D	1	7982.70	*

Elaboración propia

Tabla 10. Medidas resumen. Subgrupos del Grupo 2

Variable	Grupo	Cantidad de distritos	Media	Desviación estándar
Superficie	G2A	5	25.90	26.30
	G2B	2	3.34	0.17
	G2C	9	7.34	4.39
Consumo de energía eléctrica	G2A	5	94516904.00	65778853.00
	G2B	2	106954423.00	12186450.00
	G2C	9	131934090.00	73161022.00
Residuos	G2A	5	38974.00	23923.00
	G2B	2	34768.00	3359.00
	G2C	9	40386.00	19149.00
CO ₂	G2A	5	320128.00	222793.00
	G2B	2	362254.00	41275.00
	G2C	9	446860.00	247796.00
Densidad poblacional	G2A	5	5337.00	3678.00
	G2B	2	25454.00	1612.00
	G2C	9	14999.00	2063.00

Elaboración propia

De acuerdo a los resultados expuestos, se realizó la siguiente descripción de los grupos y subgrupos determinados mediante el análisis de conglomerados (tabla 11).

Tabla 11. Descripción de los grupos y subgrupos conformados

		Subgrupo 1A	Subgrupo 1B	Subgrupo 1C
		Grupo 1 <ul style="list-style-type: none"> • Mayor superficie promedio. • Mayor consumo promedio de energía eléctrica. • Mayor generación promedio de residuos sólidos. • Mayor emisión de CO₂. 	Elevada emisión de CO ₂ , solo superado por el grupo 1D (San Juan de Lurigancho)	Menor superficie promedio, dentro del grupo, comparable con los del grupo 2.
Subgrupo 1D Mayor consumo de energía eléctrica, mayor generación de residuos sólidos, y mayor emisión de CO ₂ .				
	Grupo 2 <ul style="list-style-type: none"> • Mayor densidad promedio 	Subgrupo 2A	Subgrupo 2B	Subgrupo 2C
		Dentro del grupo presentan la menor superficie promedio y menor densidad poblacional promedio, comparable con el grupo 1.	Menor superficie y mayor densidad poblacional promedio, con alto consumo de energía eléctrica y emisión de CO ₂ , solo superados por el sub grupo 2D.	Dentro del grupo son los distritos con los mayores consumo promedio de energía eléctrica y mayor generación promedio de CO ₂ .

Nota: En los sub grupos 1C y 1D no se habla de promedios porque son subgrupos individuales.

Elaboración propia

3.4. Resultados de la encuesta piloto

A partir de una encuesta aplicada a los jefes de hogar de 113 hogares ubicados en distritos de Lima este, se obtuvieron los siguientes resultados:

3.4.1. Características de los hogares

En los distritos de La Molina y San Luis solamente presentan un promedio aproximado de tres personas por hogar, mientras que en los demás distritos considerados se observan aproximadamente un promedio de cinco personas.

Tabla 12. Promedio de personas en el hogar. Distritos de Lima Este

Distrito	Media	Desviación estándar
San Juan de Lurigancho	5	2,66
La Molina	3	0,98
San Luis	3	1,14
Ate Vitarte	5	1,36
Santa Anita	5	1,08

Fuente: Encuesta huella de carbono

3.4.2. Consumo de energía eléctrica

El consumo anual de energía eléctrica per cápita en Lima este es de 1669,7 kwh/ hab., cantidad que supera al consumo de energía per cápita a nivel nacional (1295,79 kwh/hab.), determinado el año 2014. Así también se observa que la mitad de los mencionados habitantes consumen por lo menos 1678,8 kwh/ hab.

Tabla 13. Consumo de energía eléctrica per cápita (kwh/ hab.) en Lima Este

Estadísticos	Consumo energía eléctrica per cápita
Media	1669,7
Mediana	1678,8

Fuente: Encuesta huella de carbono

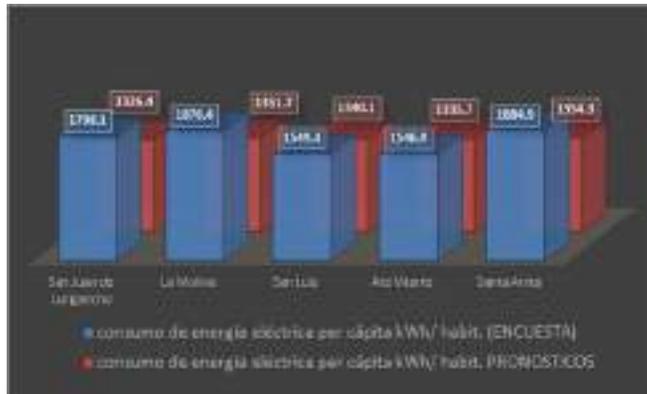
El distrito de La Molina presenta el más alto consumo anual promedio de energía eléctrica (2087,9 kwh/ hab.), mientras que el más bajo se presentó en el distrito de Ate, como se puede ver en la tabla 14.

Tabla 14. Consumo de energía eléctrica per cápita (kWh/ hab.) en distritos de Lima Este

Estadísticos	San Juan de Lurigancho	La Molina	San Luis	Ate	Santa Anita
Media	1798,1	2087,9	1549,3	1546,9	1884,9
Mediana	1789,7	1706,7	1535,7	1516,9	1539,4
Desviación estándar	383,1	631,2	688,5	404,4	664,2
Mínimo	219,0	900,0	723,6	1057,2	1470,0
Máximo	7035,6	3306,9	2226,1	2236,7	2791,0

Fuente: Encuesta Huella de Carbono

Figura 12. Estimación y pronósticos de consumo de energía per cápita en Lima Este



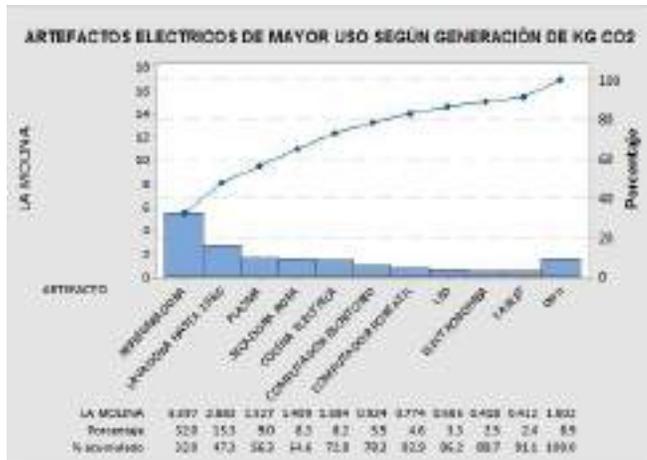
Fuente: Encuesta huella de carbono

3.4.3. Artefactos electrodomésticos de mayor consumo de energía eléctrica

Con relación al consumo de energía eléctrica por el uso de artefactos electrodomésticos y su correspondiente emisión de CO₂, en las figuras 13 y 14, a modo de ejemplo, se presentan los resultados asociados a los distritos de La Molina y San Juan de Lurigancho.

- La Molina: los artefactos que representan aproximadamente el 80 % de emisión de CO₂ son en orden de importancia: refrigeradora (32 %), lavadora (15,3 %), TV plasma (9 %), secadora de ropa (8,3 %), cocina eléctrica (8,2 %) y computador de escritorio (5,5 %).

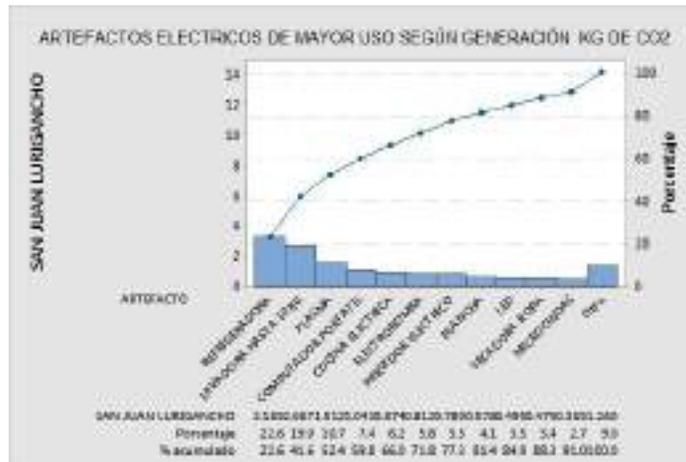
Figura 13. Electrodomésticos de mayor uso. La Molina



Elaboración propia

- San Juan de Lurigancho: los principales artefactos que representan aproximadamente el 80 % de emisión de CO₂ son en orden de importancia: refrigeradora (22,6 %), lavadora (19,0 %), plasma (10,7 %), computadora portátil (7,4 %), cocina eléctrica (6,2 %), electrobomba (5,8 %) y hervidor eléctrico (5,5 %).

Figura 14. Electrodomésticos de mayor uso. San Juan de Lurigancho



Elaboración propia

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Conforme a los resultados estadísticos obtenidos y al desarrollo del sistema de información, se elaboraron las siguientes conclusiones:

- La emisión de CO₂ por consumo de energía eléctrica continuará una tendencia creciente para cada distrito.
- En cuanto a la emisión de CO₂ por residuos también presenta una tendencia creciente pero moderada, con menores niveles de variabilidad.
- Para los años 2016 y 2017 se pronostica que todos los distritos de Lima Metropolitana presentarán un nivel de riesgo de moderado a alto por consumo de energía eléctrica y por residuos sólidos.
- Los distritos en análisis se distribuyen en dos grandes grupos:

- El grupo G1 se encuentra conformado por distritos que presentan, en promedio, una mayor superficie, mayor consumo de energía eléctrica, mayor generación de residuos sólidos y una mayor emisión de CO₂.
 - El grupo G2 se caracteriza por una mayor densidad poblacional.
- v. En la determinación de los umbrales de riesgo para el consumo de energía eléctrica por distritos se han considerado estos niveles: sin riesgo, riesgo moderado y en riesgo.

4.2. Recomendaciones

- i. Realizar un seguimiento y contrastación de los resultados a obtenerse mediante la encuesta en línea, propuesta dentro del sistema de información.
- ii. Validar periódicamente los valores de referencia empleados en el tacómetro de alerta de los niveles de CO₂.
- iii. Considerar, en futuros estudios, otros tipos de emisiones contaminantes, tales como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono.
- iv. Desarrollar campañas de concientización para uso eficiente de la energía eléctrica, y la difusión de buenos hábitos relacionados a la utilización de artefactos y equipos electrónicos.

Referencias

- Carbonn Climate Registry, 2015-2016 Digest* (2016). Recuperado de <http://www.carbonn.org>
- Gamio, P. (Noviembre 2013). Cambio climático, energía y formulación de una medida nacional apropiada de mitigación (NAMA) en el Perú. *XX Simposio Peruano de Energía Solar: Cosechando Energía Solar del Desierto*. Tacna, Perú.
- García, L. (2014, 16 de junio). Casi ningún municipio controla emisión de gases. *El Comercio*. Recuperado de <http://elcomercio.pe/sociedad/lima/casi-ningun-municipio-controla-emision-gases-contaminantes-noticia-1736553>
- Heatplus. (2015). Recuperado de <http://heat.iclei.org/heatplusgpc>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.

- Herrán, C. (2012). *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*. México D.F.: Proyecto Energía y Clima de la fundación Friedrich Ebert- FES. Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09164.pdf>
- INEI. (2015). *Compendio estadístico nacional*. Lima: INEI
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2014). Task Force on National Greenhouse Inventories. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>
- Irvine, D. (2009, 20 de julio). Can computer software account for climate change?. CNN News International Edition. Recuperado de: <http://edition.cnn.com/2009/TECH/07/13/ecco.carbon.accounting/index.html?iref=nextin>
- Open Energy Information (2012). Climate and Air Pollution Planning Assistant (CAPPA). Recuperado de http://en.openei.org/wiki/Climate_and_Air_Pollution_Planning_Assistant_%28CAPPA%29.
- Proyecto Huella de Ciudades (2014). Reporte de Síntesis. Proyecto Huella de Ciudades La Paz-Quito-Lima. La Paz: Alianza Clima y Desarrollo.
- Star Communities. (s.f.). STAR Community Index. Recuperado de <http://www.starcommunities.org/>
- Vargas, P. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. Lima: Banco Central de Reserva del Perú. Recuperado de: <http://www.ipacc.pe/doc/Documento-de-Trabajo-14-2009.pdf>
- Vélez, C. (2005). *Apuntes de metodología de la investigación. Un resumen de las principales ideas para el desarrollo de proyectos de investigación*. Universidad EAFIT, Escuela de Ciencias y Humanidades, Departamento de Ciencias Básicas. Medellín.

