

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA

IDENTIFICATION OF SIGNIFICANT ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE BRICK INDUSTRY USING A DYNAMIC SIMULATION MODEL

Luis Antonio Pozo Suclupe¹

Fecha de recepción : 28 junio 2018
Fecha de aceptación : 20 noviembre 2018
DOI : <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.428539>



Resumen

Este estudio busca identificar los impactos ambientales más significativos en la Industria ladrillera en la región Lambayeque mediante el uso de un modelo en dinámica de sistemas, prediciendo en el tiempo sus efectos sobre el medio ambiente y la salud. El estudio se inicia describiendo el proceso de fabricación de ladrillo industrial, permitiendo de esta manera identificar los impactos ambientales a través del análisis de cada etapa del proceso productivo, luego estableció límites para un modelo dinámico, elaborando un diagrama causal y de forrester, identificando las variables y estableciendo sus relaciones. El modelo utilizó para sus elementos de relación datos recolectados de instituciones estatales, resultados de encuestas, balance de mesa y usos de coeficientes de emisión. El modelo dinámico a diferencia de los métodos tradicionales de identificación de impactos, permitirá analizar posibles consecuencias en el tiempo, alternado o variando diferentes escenarios.

A través de los datos obtenidos para un horizonte de 15 años, se concluyó que los impactos más significativos se generarán en la etapa de cocción, lo que se traducirá en la emisión de gases tóxicos (SO_x, NO_x), gases de efecto invernadero (CO₂) y la generación de Material particulado (PM₁₀) con efectos en la salud, específicamente enfermedades respiratorias en la población.

Palabras clave: *dinámica de sistemas, efectos en la salud, impactos ambientales, industria ladrillera, material particulado.*

¹ Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque - Perú, lpozo@unprg.edu.pe, <http://orcid.org/0000-0002-4185-8922>

Abstract

This study seeks to identify the most significant environmental impacts in the brick industry in the Lambayeque region through the use of a system dynamics model, predicting over time its effects on the environment and health. The study begins by describing the manufacturing process of industrial brick, allowing in this way to identify the environmental impacts through the analysis of each stage of the production process, then established limits for a dynamic model, elaborating a causal and forrester diagram, identifying the variables and establishing their relationships. The model used for its elements of relationship data collected from state institutions, survey results, table balance and uses of emission coefficients. The dynamic model, unlike the traditional methods of identifying impacts, will allow analyzing possible consequences over time, alternating or varying different scenarios.

Through the data obtained for a 15-year horizon, it was concluded that the most significant impacts are generated in the cooking stage, which translates into the emission of toxic gases (SOx, Nox), greenhouse gases (CO2) and the generation of particulate material (PM10) with effects on health, specifically respiratory diseases in the population.

Keywords: brick industry, environmental impacts, health effects, system dynamics, particulate material.

1. Introducción

En el departamento de Lambayeque, la actividad ladrillera es esencialmente de carácter Industrial, solo en esta región existen 10 industrias ladrilleras, este hecho nos permite definir a esta actividad como creciente y si bien es cierto que aún existen ladrilleras artesanales a las afueras de la ciudad, éstas son mucho menos que años atrás.

La industria ladrillera tiene como fuente energética combustibles fósiles. el uso de combustibles fósiles en actividades industriales producen emisiones de CO2, NOx, PM10, etc de allí que existen zonas urbanas altamente contaminadas con emisiones y material particulado, como lo menciona (Pacsi Valdivia, 2016) en un estudio de la OMS con respecto a la calidad del aire, en 1.600 ciudades de 91 países, donde se concluye que en América Latina, la ciudad con peores indicadores de material particulado es Lima, en este estudio también se menciona que en las estaciones Villa María (Ubicado al sur de Lima) y Ate (ubicado al este de Lima) presentan los mayores valores de concentración de PM10 durante los meses de verano, con valores que oscilan entre 120-165 µg/m3.

La industria ladrillera cuyo proceso productivo va desde la extracción de materia prima, moldeado, secado, quemado o cocido y comercializado produce contaminación mediante emisiones de material particulado que (Esquerre Verástegui, 2016) lo menciona de la siguiente manera "el material particulado es uno de los mayores problemas en cuanto a contaminación atmosférica se refiere" así mismo (Arechiga, Mungia y Marquez 2012) con respecto a ladrilleras expone "Las concentraciones promedio de PM10 registradas, se observaron niveles de partículas promedio de 93 µg/m3 (cercano a la industria)", lo que demuestra el impacto que tiene la industria ladrillera la cercanías con la población y sus alrededores". En relación con la

contaminación y salud (Ballester, 2005) menciona que “el contaminante más estudiado ha sido las partículas, encontrándose que un incremento de 10 µg/m³ en los niveles atmosféricos de PM₁₀ se asocia, según los estudios, con un aumento de un 0,2 a un 1% en la mortalidad por todas las causas y un 0,5 a un 2 % en la mortalidad cardiorrespiratoria”.

Entre otras enfermedades que ocasiona las altas concentraciones de material particulado es la rinitis que representa la afección más común no infecciosa que se presenta y se relaciona con la polución y smog, para (Lascano 2015) “la rinitis alérgica ocupacional podría producirse por productos químicos, farmacéuticos, harinas, madera, etc”, en este caso se le relaciona con el material particulado. PM₁₀ (Universidad de Guadalajara s.f.) En la Gaceta UDG, expone que en los últimos años, la contaminación y los cambios ambientales han producido un incremento considerable en la incidencia de este padecimiento Rinitis.

En lo que respecta a la extracción de materia prima (Casado 2005) menciona “La extracción de la materia prima (tierra) removiendo la base de los taludes o excavando y haciendo que quede un desnivel con relación a las zonas circundantes, afecta grandes áreas y genera impactos negativos como la eliminación de la capa orgánica fértil junto con la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea, quitando capacidad de drenaje y sostén al terreno incrementando el riesgo de erosión e inestabilidad”. Así mismo (Fernández Arner & German Kohan, 2017) expresa “el planeta pone límites al crecimiento, mediante los recursos naturales no renovables, la tierra cultivable finita y la capacidad del ecosistema de absorber la polución producto del quehacer humano, entre otros”.

Estos estudios son antecedentes de que la industria ladrillera produce impactos significativos sobre el medio ambiente y la salud y son una razón más que suficiente para realizar estudios sobre la identificación de los impactos ambientales que esta actividad industrial genera.

En lo que respecta al uso de dinámica de sistemas para identificar impactos ambientales (Ruiz 2001) menciona “La modelación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus pares observables y sus relaciones”.

Para (García 2014) “La Dinámica de Sistemas se puede aplicar a un amplio abanico de problemas que nos encontramos a diario, pero en muchas otras ocasiones otras metodologías o nuestra intuición nos ofrecerá una solución”. Un modelo dinámico integra los elementos más importantes que intervienen en el sistema y poder predecir los efectos de la producción como lo declararía (Rivera 2013) “El efecto de estos parámetros en la contaminación y salud de la población ha sido estudiado como una relación de causa-efecto planteándose un modelo dinámico de manera que, usando un programa de simulación computarizada, podemos conocer su comportamiento en el futuro”.

El uso de estos modelos son usados cada vez con más frecuencia, especialmente para proyectar un comportamiento futuro que implique aspectos ambientales como es

caso del modelo de dinámica de sistemas para disponibilidad de biomasa forestal en zonas rurales aisladas desarrollado en el 2001 por Ana Ruiz en su tesis doctoral, así mismo el modelo dinámico para determinar la incidencia de los factores contaminantes del aire en la población de Lima Metropolitana desarrollado en el 2013 por Mg. Juan Manuel Rivera Poma.

2. Materiales y métodos

La presente investigación tiene como zona de estudio la región de Lambayeque que está situado en la costa norte del territorio peruano, a 765 kilómetros de la capital de la república (Lima). La superficie total, es de 14 231.30 km², de los cuales aproximadamente las 9 décimas partes del territorio corresponden a la región costa y yunga y la décima a la Sierra (Cañaris e Incahuasi). El clima es semitropical; con alta humedad atmosférica y escasas precipitaciones en la costa sur. La temperatura promedio anual de 22,5 °C. Las aguas de los ríos, cubren más del 95 % del agua que utilizada en la agricultura, industria y uso doméstico. El agua subterránea es abundante pero poco empleada por el alto costo en la perforación de pozos tubulares y la falta de planificación de los cultivos.

Según el censo del 21 de octubre de 2007, la región de Lambayeque tiene una población estimada de 1112868 de habitantes su densidad poblacional es de 80,1 hab./km y su tasa de crecimiento anual es de 0.9 %. La población urbana equivale al 79.5% mientras que la población rural al 20.5% del total.

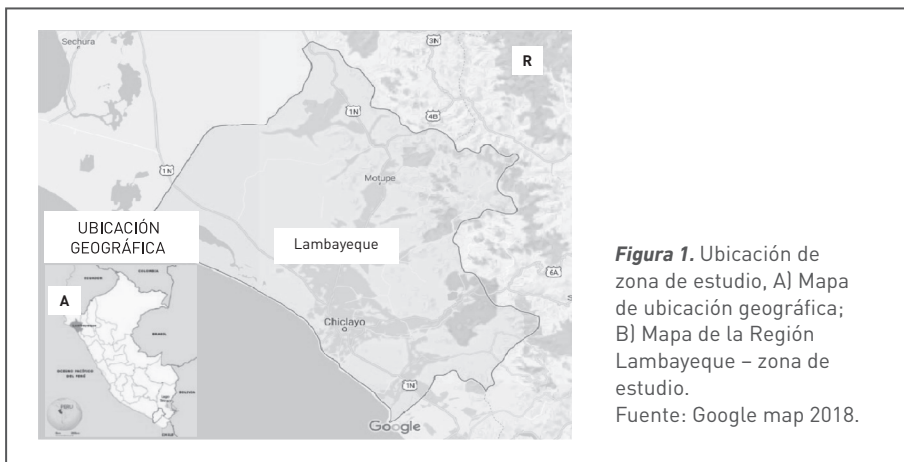


Figura 1. Ubicación de zona de estudio, A) Mapa de ubicación geográfica; B) Mapa de la Región Lambayeque – zona de estudio.
Fuente: Google map 2018.

a. Selección de variables objeto de estudio

Los datos de la producción de ladrillo se obtuvieron de encuestas realizadas a las 10 ladrilleras industriales existentes en la región debido a que los datos de fuentes estadísticas discrepaban significativamente con el valor real observado, para describir el comportamiento histórico del consumo de ladrillo se le relacionó con la tendencia de

consumo de cemento en la región. Los valores de producción se obtuvieron también con las encuestas realizadas en sobre el porcentaje de sus ventas anuales totales incluyendo otras regiones del país.

Tabla 1
Producción y consumo de ladrillo en la región Lambayeque.

Año	Consumo ladrillo(ton)	Producción total ladrillo(ton)
2002	69373,1	150539,6
2003	65552,4	142248,8
2004	74724,8	162152,7
2005	85334,3	185175,5
2006	99861,8	216700,2
2007	117183,6	254288,5
2008	119788,3	259940,6
2009	132912,7	288420,5
2010	154002,6	334185,7
2011	170009,0	368919,4
2012	213308,9	462880,3
2013	222696,3	483251,0
2014	216073,9	468880,3
2015	238751,7	518091,2
2016	262564,1	569764,1
2017	288751,5	626590,7

Fuente: Elaboración propia

Los datos de crecimiento de la producción de ladrillo industrial permitieron proyectar emisiones de material particulado PM10, CO, CO2, SOx y NOx mediante el método de balance de masa y de factores de emisión tomados de EPA y CORINAIR para hornos Hoffman y túnel, tipos de combustibles usados en las ladrilleras en sus diferentes etapas de producción.

Tabla 2
Factores de Emisión en diferentes etapas de la producción de ladrillo y según el combustible utilizado.

Proceso	CO	SOx	NOx	Código	PM ₁₀	Unidades	Código	
Almacenamiento de carbón	-	-	-	CORINAIR	0,003	kg/tonelada	CORINAIR	
Molienda	-	-	-	EPA	0,265	kg/tonelada	EPA	
Secado artificial gas natural	0,03	0,00417	0,1	CORINAIR	0,00045	kg/GJ	CORINAIR	
Horno	Hoffmancarbón	1,195	6,065	1,175	CORINAIR	0,7	kg/tonelada	EPA
	Hoffman gas natural	0,075	2,95	0,25	CORINAIR	0,435	kg/tonelada	EPA
	TúnelCarbón	0,715	3,665	0,725	CORINAIR	0,7	kg/tonelada	EPA
	Túnelgas natural	0,03	0,335	0,09	CORINAIR	0,435	kg/tonelada	EPA

Fuente: EPA, CORINAIR. extraído de tablas de (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio; Junta de Andalucía, 2014) y guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire (Jaurtariza, Eusko; Gobierno Vasco, 2005)

El cálculo de las concentraciones de las diferentes emisiones gaseosas se realizó utilizando el modelo de Pasquill-Gifford que es una dispersión gaussiana en los ejes horizontal y vertical. Para los cálculos de la columna de humo gaussiana, se supone que esa columna se emite desde un punto con coordenadas (0, 0, H) en donde H es la altura efectiva de la chimenea, la cual es la suma de la altura física (h) y la altura de la columna de humo (Δh); el problema es calcular la concentración en cualquier punto (x, y, z).

La fórmula normalizada para la dispersión de una fuente puntual elevada es (1):

$$c = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \dots(1).$$

σ_y y σ_z son coeficientes de dispersión vertical (2).

$$\sigma_y = ax^{0.894} \quad ; \quad \sigma_z = cx + f \dots(2).$$

Para radiación moderada – fuerte, entre 4 – 5 m/s de velocidad del viento, que es lo que la región Lambayeque tiene como promedio del año entra en la categoría BC; datos para distancias mayores a 1 km.

Calculo de variación de altura adicional (Δh) a la altura de la chimenea se calcula con la siguiente ecuación (3).

$$\Delta h = \frac{V_s D}{u} \left(1.5 + 2.68 \times 10^{-3} P D \frac{(T_s - T_a)}{T_s} \right)$$

V_s = velocidad de salida de gas de la chimenea m/s; D =diámetro de la chimenea en m; u = velocidad del viento en m/s; P = presión atmosférica en milibares; T_s = temperatura del gas en °K; T_a = temperatura atmosférica en °K; Para la altura de inversión se propuso 0.9- a 0.7 km.; Para una distancia de 5 km a la redonda.

Estos datos de concentración de CO, NOx y SOx y CO2 nos permitieron evaluar su incremento anual a 15 años en el futuro y predecir cuándo se alcanzan valores críticos de acuerdo a los valores de ECA para el aire emitidos por el MINAN presentados en tabla 2 y en el caso de CO2 nos permitió comparar su crecimiento en términos de CO2 equivalente nacional con el aporte que dará la industria ladrillera en la región. En Tabla 3 se presentan los valores de CO2 equivalente a nivel nacional.

Tabla 2
Estándares de calidad ambiental para aire.

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS ⁽¹⁾
		VALOR	FORMATO	
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez/año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo	Anual ⁽²⁾			Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas ²			Fluorescencia UV (método automático)

Fuente: (Ministerio del Ambiente MINAN, 2001) Decreto Supremo N°074-2001-PCM.

Tabla 3
Datos de CO2 equivalente a nivel nacional 2002 – 2014.

Año	CO ₂ eqv. nivel nacionalx 10 ⁶ (tonelada\$
2002	134,788
2003	140,310
2004	145,567
2005	150,324
2006	160,061
2007	163,925
2008	167,373
2009	143,075
2010	147,978
2011	151,930
2012	155,883
2013	159,837
2014	163,789

Fuente: INEI.

Con los datos recopilados de material particulado (PM10) presentados en tabla 4 y los casos de Rinitis alérgica y vasomotora presentados en tabla 5, se estableció una relación bilateral.

Tabla 4
Monitoreo de Material Particulado PM10 en la ciudad de Chiclayo – Región Lambayeque 2007-20012.

AÑOS	PM ₁₀ (µg/m ³)
2007	54,00
2008	98,00
2009	102,03
2012	141,00

Fuente: DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental), 2014.

Tabla 5
Datos para morbilidad de rinitis alérgica y vasomotora (RA) en Chiclayo – Región Lambayeque.

Año	Casos RA (hab.)
2004	2249
2011	1988
2012	2471
2013	2876
2012	3997

Fuente: (MINSA, 2005; 2014).

Para obtener los datos faltantes de los años del 2010, 2011 y 2012 para PM10 y los datos faltantes de los años 2007 y 2008 para los casos de rinitis alérgica vasomotora se utilizó un método de línea de tendencia (mínimos cuadrados) o regresión lineal simple, la correlación de Spearman para estos datos se hizo apoyado por el software IBM SPSS ESTADÍSTICAS 22 y los resultados de la correlación se presentan en tabla 7.

Tabla 6
Valores de PM10 y RA reales y completados por regresión simple lineal.

Año	PM ₁₀ (µg/m ³)	Casos RA (hab.)
2007	54,00	972*
2008	98,00	1409*
2009	102,03	2249
2010	111,80*	1988
2011	125,38*	2471
2012	141,00	2876
2013	152,54*	3997

Fuente Elaboración propia.

*Datos encontrados por tendencia o mínimos cuadrados.

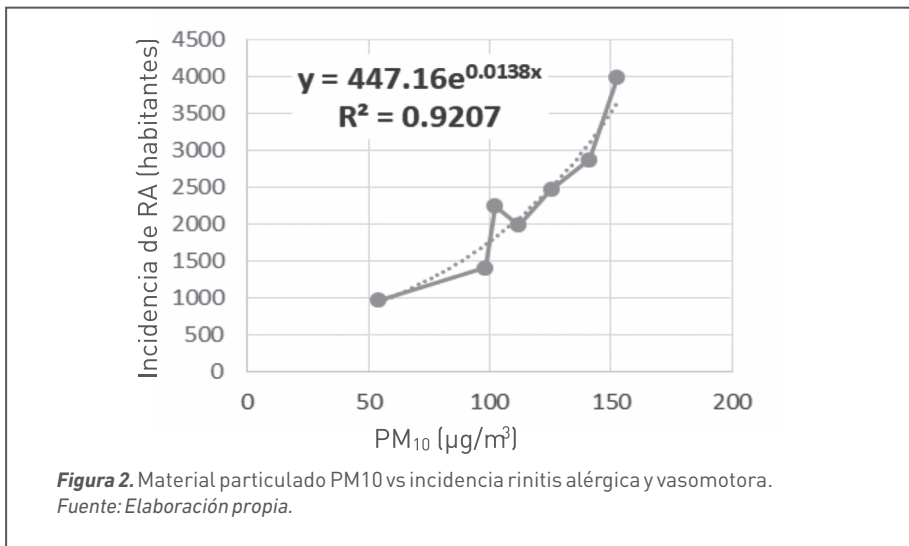
A los datos presentados en tabla 6, se aplicó una correlación de Spearman mostrándose significativa (bilateral) a un nivel de 0.01

Tabla 7
Correlación de spearman PM10 y rinitis alérgica – vasomotora.

			PM ₁₀	RA
Rho de Spearman	PM10	Coefficiente de correlación	1,000	,964**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	7	7
	RA	Coefficiente de correlación	,964**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	7	7

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).
Software IBM SPSS STATISTICS 22.

Una regresión simple aplicando línea de tendencia en excel entre material particulado PM10 y los casos de rinitis alérgica y vasomotora en relación con el tiempo nos proporcionó una ecuación exponencial presentada en la figura 2.



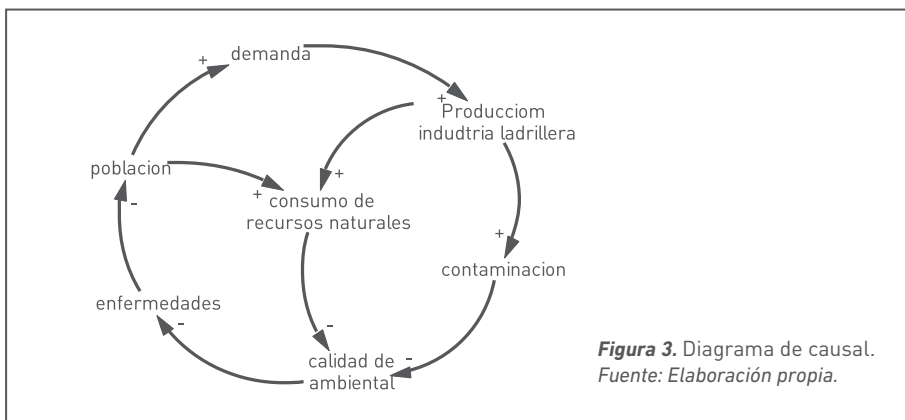
2.3 Modelamiento de dinámica de sistemas.

En la modelación del sistema se tomó 3 etapas de las consignadas por la metodología que menciona (Valderrama y Chavarro 2014) y expuesta con mas detalle por (Amézquita 2006), las cuales son:

2.3.1 Definición del núcleo o problema a estudiar. Siendo el núcleo del problema, establecer los impactos ambientales generados por la fabricación de ladrillo industrial en la región Lambayeque.

Estos impactos se evaluaron en el modelo simulando los eventos a 15 años en el futuro es decir hasta el año 2032. De esta forma podemos monitorear cuales los cambios importantes más significativos que se podrían presentar si no se realizan cambios sustanciales en el proceso productivo.

2.3.2 Identificación de variables y establecimientos de sus relaciones. A través del análisis realizado en cada etapa de la producción de ladrillo industrial, su producto final obtenido, sus desechos, emisiones y efluentes, así como los elementos que promueven su desarrollo se pueden establecer las variables para el modelo los mismos que serán: crecimiento de la demanda de ladrillo industrial (producción), consumo de materia prima, contaminación (emisiones de material particulado, CO, CO2, SOx, NOx), enfermedad (casos de morbilidad en la población) y las relaciones se establecen desarrollando un diagrama de Causal presentado en figura 3.



El diagrama presenta bucles de retroalimentación positiva y negativa.

La polaridad positiva indica que el cambio en la variable raíz hace que la variable resultante varíe en el mismo sentido. Es decir que al aumentar la variable causa aumenta la variable efecto y al disminuir la variable causa disminuye la variable efecto. Y por el contrario la polaridad negativa indica que el cambio en la variable causa hace que la variable efecto varíe en sentido contrario. Es decir que al aumentar la variable causa disminuye la variable efecto y al disminuir la variable causa aumenta la variable efecto.

2.3.3 Construcción y simulación del modelo: para la construcción del modelo se utilizó el software Vensim PLE for windows Versión 5.11A en el cual se desarrolló el diagrama de forrester presentado en figura 4, la clasificación de las variables del diagrama es de la siguiente manera.

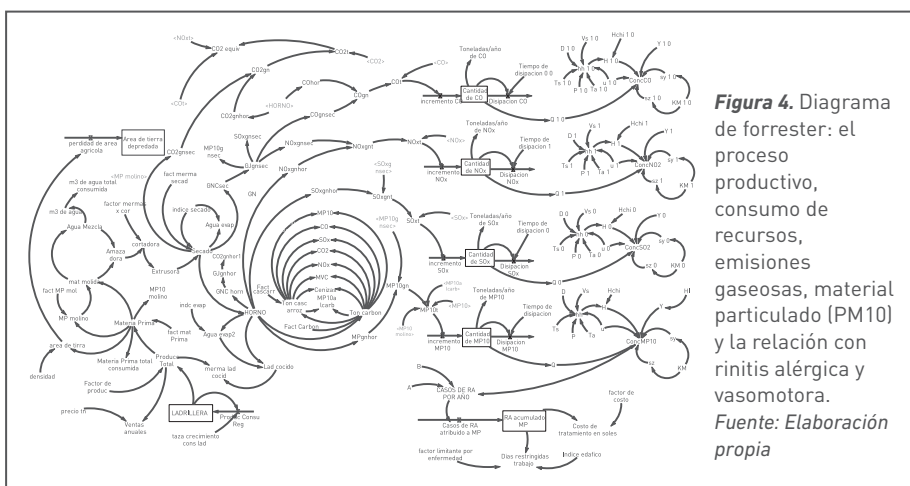
La construcción del modelo empezó siguiendo el diagrama de flujo del proceso etapa por etapa en la que haya evidenciarse de transferencia de masa, hasta llegar a las

emisiones gaseosas estableciendo relaciones para consumos de materia primas, emisiones gaseosas, material particulado y efectos en la salud de la población.

- Variables puede ser especificado por una fórmula en la cual los conectores pueden ser usados en este caso son tomado de los datos iniciales que se tiene de producción de ladrillo, concentración promedio anual para cada emision en el año inicial, tomados de las tablas presentadas anteriormente y para simular datos de salida es decir tiempo de disipacion, el potencial de calentamiento global y vida media de las emisiones se tomaron los datos de tiempo dados por [Porto, 2009].

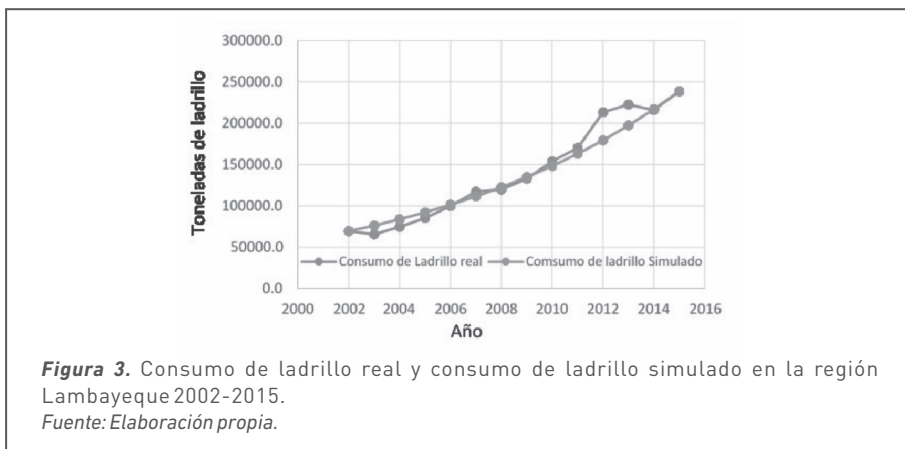
- Variables de flujo: Las variables de flujo se usan para representar actividades que conducen a cambios en las variables de nivel o estado. Las variables de flujo son 11 las que son: consumo de ladrillo en región Lambayeque por año, casos de RA atribuido a PM10 por año, incremento de CO, incremento de NOx, incremento de PM10, incremento de SOx, disipación CO, disipación NOx, disipación PM10, disipación SOx, pérdida de área agrícola. Si la flecha de flujo tiene una dirección hacia una variable de estado entonces contribuye positivamente al cambio de esta variable. Si la flecha no va en esa dirección contribuye negativamente al cambio de esta variable.

- Variables auxiliares y constantes: Las variables auxiliares toman información (datos) y la transforman para su uso en otra variable en el modelo como por ejemplo para establecer la relación de crecimiento de demanda de consumo de ladrillo existe la variable auxiliar que calcula la tasa de crecimiento y en el caso de las constantes son variables que guardan valores constantes. El valor para una constante es introducido o seleccionado de una base de datos como constantes físicas predefinidas en el caso de las constantes utilizadas para describir la ecuación exponencial que relaciona las concentraciones de PM10 y los casos de rinitis alérgica vasomotora, así mismo están como contantes los factores de emisión presentados en las tablas anteriores para cada contaminante gaseoso, en el modelo descrito existen 142 variables auxiliares/contantes.

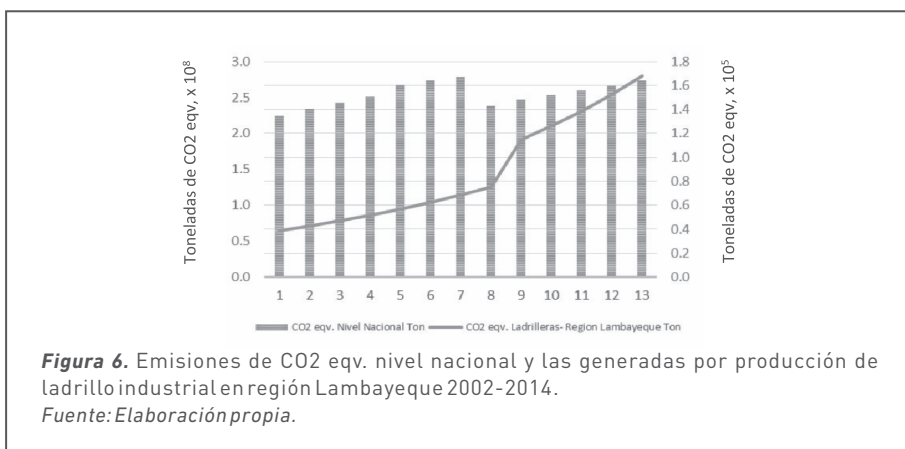


3. Resultados

Se simuló el consumo de ladrillo industrial en la región Lambayeque para los años 2002 al 2014 y se comparó con los datos de consumo de ladrillo para esos años el cual se muestra en la figura 5 observamos la tendencia de ambos conjuntos los datos.



Simulación de emisiones CO2 equivalente producido por la industria ladrillera en la región Lambayeque de los años 2002 – 2014 en comparación con las emisiones de CO2 equivalente a nivel nacional presentado en la en la figura 6 donde se aprecia que mientras la tendencia a nivel nacional presenta una marcada estabilidad a nivel regional el crecimiento de las emisiones de CO2 equivalente producto de la fabricación de ladrillo industrial es vertiginoso.



La simulación de la producción de ladrillos a 15 años en el futuro y el consumo de recursos (tierra y agua) se presenta en la tabla 8.

Tabla 8

Producción de ladrillo industrial y consumo de recursos 2018-2032.

Año	Materia prima (ton)	Consumo de agua (m ³)	Producción total (ton)
2018	778246,0	155298,0	688713,0
2019	855837,0	170782,0	757378,0
2020	941164,0	187808,0	832889,0
2021	1035000,0	206533,0	915928,0
2022	1138190,0	227124,0	1007250,0
2023	1251660,0	249769,0	1107670,0
2024	1376460,0	274670,0	1218100,0
2025	1513690,0	302055,0	1339550,0
2026	1664600,0	332170,0	1473100,0
2027	1830560,0	365287,0	1619970,0
2028	2013070,0	401707,0	1781480,0
2029	2213770,0	441757,0	1959090,0
2030	2434490,0	485800,0	2154410,0
2031	2677210,0	534234,0	2369210,0
2032	2944120,0	587497,0	2605420,0

Fuente: Elaboración propia.

La simulación de las emisiones producidas durante la fabricación de ladrillo industrial en la región se presenta en la tabla 9.

Tabla 9

Emisiones gaseosas producidas por la producción de ladrillo industrial en la región Lambayeque 2018-2032.

Año	Emisiones CO ₂ equiv. (ton/año)	Emisiones CO ₂ (ton/año)	Concentración CO (µg/m ³)	Concentración NO ₂ (µg/m ³)	Concentración SO ₂ (µg/m ³)
2018	409037,0	164596,0	148,44	32,74	50,60
2019	449818,0	181007,0	161,35	36,01	55,98
2020	494665,0	199053,0	175,73	39,60	61,87
2021	543983,0	218898,0	191,72	43,55	68,32
2022	598218,0	240723,0	209,45	47,89	75,38
2023	657860,0	264723,0	229,09	52,66	83,12
2024	723449,0	291116,0	250,81	57,92	91,60
2025	795577,0	320140,0	274,81	63,69	100,92
2026	874896,0	352058,0	301,31	70,04	111,14
2027	962123,0	387158,0	330,53	77,02	122,37
2028	1058050,0	425757,0	362,75	84,70	134,70
2029	1163530,0	468205,0	398,26	93,15	148,25
2030	1279540,0	514885,0	437,37	102,44	163,14
2031	1407110,0	566220,0	480,44	112,65	179,50
2032	1547400,0	622672,0	527,86	123,88	197,48

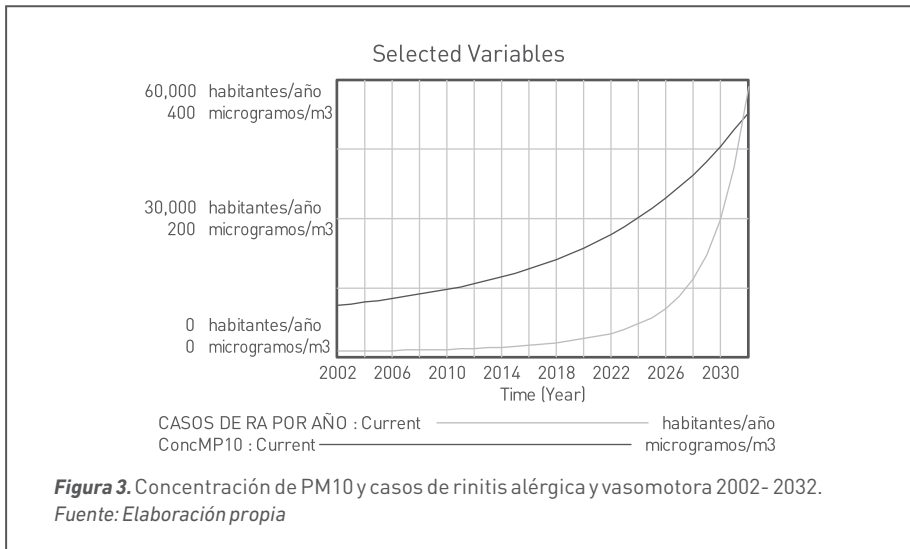
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10 nos muestra el número de casos anuales y acumulados de rinitis alérgica vasomotora ocasionada por las emisiones de material particulado PM10 producidas por la industria ladrillera en la región Lambayeque para los próximos 15 años.

Tabla 10
Concentración PM10 y casos de rinitis alérgica vasomotora.

Año	Concentración de PM ₁₀ (µg/m ³)	Casos de RA por año (hab.)
2018	141,41	3148
2019	149,27	3508
2020	157,85	3949
2021	167,22	4494
2022	177,48	5178
2023	188,70	6045
2024	201,00	7163
2025	214,47	8626
2026	229,23	10576
2027	245,43	13225
2028	263,20	16901
2029	282,71	22121
2030	304,12	29725
2031	327,63	41118
2032	353,45	58721

Fuente: Elaboración propia.



4. Discusión

La simulación expuesta para el consumo de ladrillo industrial en los años 2002-2014 nos permite validar el modelo ya que ambos conjuntos de datos muestran la misma tendencia en el tiempo. Los datos simulados de PM10 para los años siguientes nos permiten analizar que los valores superan el máximos ECA en el año 2020

entendiendo que solo se trata de las emisiones generadas por la industria ladrillera de la región Lambayeque, estos datos no deben estar lejos de los reales ya que la ciudad está catalogada como una de las más contaminada por esta emisiones según declaraciones a fines del año 2014 dadas por Eric Concepción Gamarra, coordinador de Gestión del Aire del Minam expresado en (RPP Radio Programas el Peru Noticias, 2014) lo siguiente con respecto al límite permisible de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ "ese valor ha sido superado en algunas oportunidades, pero sí estamos seguros que en un momento de este periodo debe pasarse este valor", valor que en la simulación de PM10 generado por Industria Ladrillera en la región para el año 2015 es de $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El crecimiento de la producción de ladrillo lo hace en función a la demanda proyectada la misma que basa su constancia por el déficit habitacional que existe en la región y en otras regiones donde se comercializa el ladrillo producido en Lambayeque según el INEI - Censos Nacionales 2007 con respecto al déficit de habitacional para la región nor-oriental del Perú es de 446923 viviendas, este déficit representaría una demanda insatisfecha donde la actual producción solo representa el 3% de la necesidad total de ladrillo.

En la simulación para los casos de rinitis alérgica relacionada a las emisiones de PM10 generado por la industria ladrillera en la región describe una curva exponencial y sus valores se ven incrementado vertiginosamente cuanto más se incrementa el valor de concentración de emisiones básicamente después de superarse el límite máximo permisible de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$

5. Conclusiones

- Se identificaron los impactos ambientales significativos generados por la industria ladrillera en la región Lambayeque, que son en el aire producidos en la etapa de cocción a través de la generación de las emisiones gaseosas y material particulado.
- Se construyó un modelo de simulación dinámica sobre el proceso productivo, consumo de recursos y sus impactos en el medio ambiente y la salud.
- Se realizaron proyecciones a un horizonte de 15 años (año 2032), para consumo de recursos como materia prima y agua, emisiones y concentraciones de CO, CO₂, SO_x, NO_x y PM10 relacionados con la salud y el medio ambiente, en lo respecta a la materia prima se encontró que para el año 2032 se extraerán 27.99 millones de toneladas de tierra, degradado 2058.35 ha de tierra cultivable (capa superficial a profundidad promedio de 0.8 metros) solo ese año y también se extraerán del subsuelo 4.48 millones de metros cúbicos de agua para ser utilizados en la fabricación de ladrillo industrial un ritmo de producción para el mismo año de 7237.27 toneladas diarias de ladrillo que serán comercializadas en la región Lambayeque, Piura, Trujillo y oriente del país.
- La relación que se encontró entre las concentraciones de PM10 y casos de rinitis alérgica y vasomotora fue exponencial, tal es así que en los próximos

15 años se producirán 234 497 nuevos casos de rinitis alérgica-vasomotora relacionados con las emisiones de PM10 generados por la fabricación de ladrillo industrial en la región, tendiendo un gasto en atención y tratamiento solo para el año 2032 en que se registrarán 58 721 casos, un costo aproximado es de 55.48 millones de soles.

- Desde el año 2002 hasta el 2017 las emisiones generadas por la Industria ladrillera en la región Lambayeque cuadruplicaron el valor de CO2 equivalente y para el año 2032 se producirían 1.55 millones de toneladas de CO2 equiv.
- En el año 2020 se superaría los estándares de calidad ambiental (ECA) para PM10 si solo dependiera de las emisiones generados por la Industria ladrillera con un valor de 157.847 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA límite para PM10 = 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- En 5 años más (2023) se habrá superado el límite permisible para SO2 con un valor de 83.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA límite anual de 80 microgramos/ m^3).
- En 12 años más (2030) se habrá superado el límite ECA para NO2 con un valor de 102.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA límite anual de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

6. Referencias

- DIGESA Direccion General de Salud Ambiental. (2014). Informe Nacional de la Calidad del Aire. Informe Final, Ministerio del Ambiente (MINAM), Lima, Lima. Recuperado el 14 de Febrero de 2018, de www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf
- Arechiga, U., Mungia, L. y Marquez, C. (2012). *Evaluacion preliminar del impacto ambiental por produccion artesanal de ladrillo: eficiencia y calidad del aire (segunda etapa)*. Informe Final, Instituto Nacional de Ecologia, Mexico D.F.
- Ballester, F. (2005). Contaminacion Atmosferica, Cambio Climatico y Salud. *Revista Española de Salud Publica*, 79(2), 159-175. Recuperado el 2018 de Enero de 01, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005
- Casado, P. M. (2005). *Proceso de Producción mas Limpia en Ladrilleras de arequipa y Cusco*. Lima.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio; Junta de Andalucía. (2014). *Guía de apoyo para la notificación de la industria de fabricación de elementos cerámicos de construcción*. Recuperado de http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/administracion_electronica/Tramites/Vigilancia_Prevencion/Modelos/EPRTTR/Modelos/Guias_apoyo/Guía_Ep3g_Fabricacion_Elementos_Ceramicos_Construccion.pdf
- DIRESA, D. (2012). *Análisis Situacional de Salud 2012. Informe Técnico de Investigación Epidemiológica*. Chiclayo, Lambayeque.

- Esquerre, J. E. (2016). Reduccion del Impacto Ambiental de calderas Bagaceras. *Universidad Nacional Tecnologica de Lima Sur, Volunen 1(N° 1)*, 10. Recuperado de http://repositorio.untels.edu.pe/bitstream/UNTELS/203/1/Jorge_Esquerre_Articulo_2016.pdf
- Fernández, A. y German Kohan, A. (2017). Marxismo y crisis ecologica. *Economía y Desarrollo*, 158(1), 20-40.
- García, J. M. (2014). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*. Barcelona. doi:4-607-9304-4
- Gesta Zonal de Chiclayo, 1. (2006). *Plan "A Limpiar el Aire" de la cuenca atmosférica de Chiclayo*. Informe Final, Chiclayo. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/394/BVI00059.pdf>
- Jaurilariza, E. (2005). *Guia Tecnica para Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire - Producto Ceramicos*. Vasco, España: IHOBE - Sociedad Pública de Gastion Ambiental.
- Lascano, E. G. (2015). Factores Conductuales y Ambientales que Inciden en las Rinitis Alérgicas Relacionadas con su tratamiento y control Intradomiciliario, En el Hospital de Especialidades FFF.AA. No.1 De Quito 2014. (Tesis Maestria). Quito.
- Ministerio del Ambiente MINAN. (2001). <http://www.minam.gob.pe>. *DECRETO SUPREMO N° 074-2001-PCM Reglamento de Estandares nacionales de calidad ambiental del Aire*. Lima, Peru. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D.S.-N%C2%BA-074-2001-PCM.pdf>
- MINSa, M. (2005; 2014). *Prevalencia de las enfermedades respiratorias en niños de 3 -14 años y factores asociados a la calidad de aire Chiclayo, Perú, 2002-2003. Informe Técnico de Investigación Epidemiológica*. Chiclayo, Lambayeque.
- Pacsi, S. A. (2016). *Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM2,5 en Lima Metropolitana*. Universidad Nacional Agraria La Molina, 11.
- Porto, G. P. (2009). El Calentamiento global y las emisiones de carbono. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal - Ingeniería Industrial*, 27(27), 101-122. doi:ISSN 1025-9929
- Rivera, P. J. (2013). *Desarrollo de un Modelo Dinámico para determinar la incidencia de los factores contaminantes del aire en la población de Lima Metropolitana*. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v15_n2/pdf/a08v15n2.pdf
- Ruiz, F. A. (2001). *Desarrollo de un Modelo de Simulacion para evaluar el Horizonte de Contaminacion con cobre de bosques esclerofilo*. (Tesis de Grado Magister en gestion y Planificacion Ambiental). Santiago, Chile. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2001/ruz_a/pdf/ruz_a.pdf