

Análisis de regresión logística sobre variables que intervienen en la contaminación del aire producida por extracción de petróleo

[Logistic regression analysis on variables involved in air pollution produced by oil extraction]

Marcelo Aldaz Martinez, Manuel Olvera Arce, and Christian Antón Cedeño

Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas,
Universidad de Guayaquil,
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The problem of the boom of the oil extraction in different countries of the world is evident, the workings of crude oil exploitation have not been carried out following the standards that govern this activity since the wastes produced are sometimes dumped directly into the nature incurring a Non-responsible disposal or casualties such as the rupture of transport pipelines generated by the spillage of large quantities of crude oil, affecting the delicate balance of nature. It should be emphasized that in general the oil extraction work is located in complicated areas of access, which makes it difficult to carry out remediation work. This is why an analysis was carried out to identify variables involved in the air pollution process, specifically pollutants produced by Heavy metals and PAH'S (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) that are present in petroleum. This study involved the analysis of the publications of different authors (books, scientific articles, theses, reports). It was considered a population of 200 publications concerning oil pollution in the world, analyzing the study carried out by each author and determining potential air pollutants. The data were tabulated through a logistic regression analysis that allows obtaining an equation that defines the probability of air pollution.

KEYWORDS: pollution, air, petroleum, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, heavy metal.

RESUMEN: El problema del auge de la extracción de petróleo en diferentes países del mundo es evidente, las labores de explotación de crudo no se han realizado siguiendo los estándares que rigen dicha actividad puesto que los desechos producidos en ocasiones son vertidos directamente a la naturaleza incurriendo en una eliminación no responsable, o casos fortuitos como la ruptura de ductos de transporte que genera el derrame de grandes cantidades de crudo de petróleo, afectando el delicado equilibrio de la naturaleza. Es de recalcar que en general las labores de extracción de petróleo se localizan en zonas complicadas de acceder lo que dificulta labores de remediación. Es por ello que se realizó un análisis para identificar variables que intervienen en el proceso de contaminación del aire, específicamente contaminantes producidos por metales pesados y HAPS (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) que se encuentran presentes en el petróleo. Este estudio incurrió en el análisis de las publicaciones de diferentes autores (libros, artículos científicos, tesis, informes). Se consideró una población de 200 publicaciones referentes a contaminación petrolera en el mundo, analizando el estudio realizado por cada autor y determinando potenciales contaminantes del aire. Los datos se tabularon mediante un análisis de regresión logística que permite obtener una ecuación que define la probabilidad de contaminación del aire.

PALABRAS-CLAVE: contaminación, aire, petróleo, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, metales pesados.

1 INTRODUCCIÓN

Desde el origen de los tiempos el aire perfecto no ha existido ya que por lo general en el aire están presentes aditivos o contaminantes como por ejemplo los producidos por las erupciones volcánicas y los incendios forestales causados por la caída de rayos, en la actualidad varias ciudades del mundo tienen miles de contaminantes mezclados en el aire debido principalmente a las emisiones de los derivados del petróleo.[1]

La contaminación petrolera es una problemática de índole mundial que requiere de la atención de científicos e investigadores que permita obtener conocimiento de los efectos adversos de los metales pesados y HAPS (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) presentes en el aire.

Entre las principales labores de extracción petrolífera es la creación y uso de una elaborada y extensa red de ductos de transporte y distribución del petróleo y sus derivados, estas redes pueden estar distribuidas por toda la extensión territorial de un país y por ende atraviesa zonas de alto valor ecológico, desde luego estos ductos son susceptibles a rupturas provocando que se derramen enormes cantidades de crudo de petróleo directamente en zonas de alto valor ecológico afectando el delicado equilibrio del medio ambiente.[2]

2 PETRÓLEO

El petróleo está compuesto de carbono en un rango del 80 – 87%, hidrógeno en un rango del (10 – 15%) siendo los elementos primordiales y desde luego los más abundantes, además existen otros componentes en menor cantidad como el azufre, oxígeno y nitrógeno. En la composición química del petróleo se han encontrado metales como: Vanadio, Níquel, Hierro, Aluminio y Cobre, desde luego la concentración va a depender del tipo de petróleo crudo extraído.[3]

El petróleo se lo puede encontrar en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso, el estado en que se encuentre depende de su composición, presión y de temperatura. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido.[4]

El petróleo se lo puede clasificar según sus propiedades siendo estas:

- **Densidad:** Es una de las medidas primarias para crudos, en la cual la medición se realiza con respecto al agua, la escala de medición es en grados API (American Petroleum Institute). En esta escala se toma el agua como punto de referencia teniendo 10 grados API, el petróleo más denso tiene un API menor a 10 por consiguiente, el crudo menos denso tiene un API mayor a 10. El petróleo crudo se cataloga según los grados API en:

Tabla 1: Clasificación del petróleo según la escala API

Denominación	Grados API
Extrapesados	<10
Pesados	10-21
Medios	22-29
Ligeros	>30

- **Viscosidad:** La gran cantidad de moléculas de largas cadenas, da al crudo propiedades de alta densidad y viscosidad, estas propiedades están directamente relacionadas ya que en el crudo de más densidad las moléculas no fluyen con facilidad sobre otras logrando que el petróleo obtenga una mayor viscosidad, ventaja que obtienen los crudos ligeros sobre los pesados ya que son más fáciles de bombear.[4]
- **Contenido de Azufre:** El azufre es un metal que produce corrosión, y cuando este es expulsado a la atmósfera provoca la lluvia ácida, actualmente los países siguen estrictos programas de reducción de azufre en los derivados del petróleo. Los petróleos con grandes cantidades de azufre presente, provocan que las refinerías incurran en grandes costos para eliminarlos. Las propiedades del petróleo como la viscosidad, densidad y cantidad de azufre dependen de su formación:

Tabla 2: Tipos de crudo seg3n su formaci3n

Tipo de crudo	Características
Crudos j3venes poco profundos	Por lo general muy viscosos y de alta densidad, con altos niveles de azufre, ya que no ha sido expuesto a altas temperaturas y presiones (propias de grandes profundidades), poco tiempo bajo tierra.
Crudos j3venes profundos	Su Densidad, viscosidad y niveles de azufre son moderados. Puesto que a grandes profundidades est3 expuesto a altas temperaturas y presiones, que romper3n mol3culas de cadena larga y mol3culas que contengan azufre.
Crudos viejos poco profundos	Su Densidad, viscosidad y niveles de azufre son moderados. Al tener un largo periodo de tiempo de formaci3n los mismos procesos qu3micos que suceden a corto plazo en elevadas temperaturas, suelen ocurrir a temperaturas muy bajas.
Crudos viejos profundos	Su Densidad, viscosidad y niveles de azufre son bajos. Esto se debe al largo periodo y a las condiciones extremas de formaci3n, produci3ndose amplias rupturas de las cadenas largas y la mayor3a de los compuestos de azufre del petr3leo se rompen.

Desde que inicia la perforaci3n de un pozo petrolero empieza el impacto al medio ambiente entre ellos: la tala de 3rboles que lleva a la deforestaci3n, deterioro del suelo, cambios e interrupciones en los flujos de agua, la utilizaci3n de los recursos naturales y producci3n de desechos dom3sticos por parte de los trabajadores petroleros los cuales viven muy cerca de la planta petrolera, generaci3n de residuos contaminantes provenientes de los corte y lodos de perforaci3n.[5]

Unos de los principales problemas del transporte del petr3leo es la ruptura de las tuber3as de transporte, lo que causa derrames de miles de barriles de crudo en zonas de alto valor ecol3gico, estos derrames no son remediados en su totalidad, en la actualidad unas de las t3cnicas utilizadas para desastres de este tipo, es colocar el crudo derramado en piscinas que contienen agua de formaci3n, esta agua ha estado atrapada en los poros de las rocas en conjunto con el petr3leo, la cual es separada del mismo al momento de su refinaci3n y se la utiliza para la separaci3n de hidrocarburos residuales mejorando su degradaci3n, en ocasiones el crudo derramado es quemado arrojando cantidades enormes de contaminantes al medio ambiente afectando su equilibrio y desde luego la salud de las personas de los alrededores.[5]

Las concentraciones de los agentes que contaminan el aire por la quema de petr3leo var3an en funci3n del origen de la fuente y de que tan eficiente es su dispersi3n. Las alteraciones de estas concentraciones est3n sujetas principalmente a las condiciones meteorol3gicas de la zona que por alteraciones en la magnitud del derrame petrolero.[6]

La velocidad del viento es un factor clave en la propagaci3n de los agentes contaminantes del aire, cuanto mayor sea la fuerza del aire, la aglomeraci3n de los agentes que contaminan el aire ser3 menor. Se puede verificar este v3nculo de forma general cuando la fuente de contaminaci3n se encuentra localizada al mismo nivel del suelo.[7]

La quema del petr3leo derramado es una combusti3n incompleta que produce di3xido de carbono, agua y una serie de contaminantes entre ellos los HAPS.

2.1 HAPS (HIDROCARBUROS AROM3TICOS POLIC3CLICOS)

Son un grupo de sustancias qu3micas que se forman durante la incineraci3n incompleta del carb3n, el petr3leo, el gas, la madera, basura y otras sustancias org3nicas, como el tabaco y la carne asada al carb3n [8]. Los Hidrocarburos Arom3ticos Polic3clicos son parte del ambiente en que vivimos ya que se encuentran en el medio ambiente en cantidades considerables, su principal atributo es que su estructura qu3mica siempre consta de dos o m3s anillos de benceno acoplados entre s3. En su mayor3a los HAPS contienen hidr3geno y carbono y estas estructuras son conocidas hidrocarburos polinucleares, adem3s son sustancias que reaccionan f3cilmente con la luz por lo que se las considera fotoqu3micas inestables.[9]

La capacidad de los HAPS para causar da1o al material gen3tico (ADN) depende principalmente de su estructura[8]. Entre los m3s comunes est3 el naftaleno usado principalmente para la eliminaci3n de polillas[10], la estructura qu3mica de derivados originados del antraceno en forma simple no son carcin3genos, pero las sustancias que contienen su estructura b3sica en reacci3n con un anillo de benceno (por ejemplo, el benzo[a]pireno) se convierten en sustancias altamente peligrosas para la salud.

Se conocen alrededor de 100 tipos de HAPS, pero su afectaci3n a la salud de los seres humanos es diferente para cada uno de ellos, se ha determinado un grupo de 17 HAPS los cuales tienen un alto 3ndice de peligrosidad y carcinogenicidad para los humanos [8]: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno,

benzo[a]pireno, benzo[e]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, fenantreno, pireno.

Los HAPS se encuentran en el ambiente pero en cantidades mínimas, se ha determinado que en el petróleo al momento de su extracción contiene concentraciones de alrededor del 1%[11], este valor depende del origen del crudo, con la producción del petróleo en conjunto se encuentra gas natural y en ocasiones agua, si la relación gas-petróleo es decir la división entre el volumen de gas producido y el volumen de petróleo producido resulta un número alto el gas es captado para su producción, de lo contrario el gas es quemado con antorchas[12], esta quema desde luego es una combustión incompleta, si esta combinación genera mucho humo negro está generando carbonilla que es un HAP polimerizado, es decir compuesto de bajo peso molecular que se agrupan químicamente entre sí, lo que provocara mayores cantidades de estos hidrocarburos.

Los HAPS pueden ser aportados de forma natural como consecuencia de incendios forestales (espontáneos o inducidos por el hombre), emisiones de cenizas de origen volcánico, emisiones de escapes de vehículos, el hábito de fumar, el consumo de alimentos demasiado expuestos al fuego como carnes asadas, actividades industriales.[13]

En cuanto a efectos en la salud en los seres humanos, no todos los HAPS han manifestado ostentar algún efecto carcinogénico, ya que principalmente la atribución al efecto cáncergenico es atribuida a compuestos de HAPS, es decir mezcla de ellos con otros compuestos químicos. Entre sus efectos tóxicos a su exposición prolongada se lo asocia con afecciones a la piel como la dermatitis aguda con sensaciones de picazón, ardor, hinchazón, además causa pigmentación en la piel principalmente en las zonas mayormente expuestas.[14]

Tabla 3: Efectos carcinogénicos, Genotípicos y Mutagénicos de Algunos HAP's

HAP's	Carcinogenicidad	Genotóxicidad	Mutagenicidad
Fenantreno	I	L	+
Antraceno	N	N	-
Pireno	N	L	+
Benzofluorenos	I	I	?
Benzo(a)antraceno	S	S	+
Benzo(e)pireno	I	L	+
Benzo(a)pireno	S	S	+
Dibenz(a)antraceno	S	S	+
Benzo(g,h,i)perileno	I	I	+
Dibenzopirenos	S	I	+
2-Nitronaftaleno	N	L	-
1-Nitropireno	I	S	+
(S=suficiente; I= insuficiente; N= no carcinogénicos; L= limitados)			
Mutagenocidad (Test de Ames): + (positivo): - (negativo): ? (inconcluso)			

2.2 METALES PESADOS

Se define como metales pesado aquellos en los cuales su densidad es al menos cinco veces superior al del agua. Los más relevantes son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn). Este grupo de metales contienen una gran variedad de elementos que son de vital importancia para ciclo de vida de diferentes organismos vivos, otros sustentan diversas actividades económicas porque son materia prima de ciertas industrias. Son catalogados como peligrosos lo que indica que por mínima que sea la exposición pueden afectar la salud de los seres humanos. Metales pesados y metales tóxicos son terminologías que se acostumbra a usarla como sinónimos, pero pocos pertenecen a ambos grupos.[3]

Estos metales son capaces de acoplarse con diversas moléculas de origen orgánico, esto se debe a procesos de bioacumulación, es decir la incapacidad del espécimen afectado para desechar el exceso del agente contaminador, sufriendo acumulación del mismo en su interior. Una vez dentro, son capaces de reaccionar con diversas sustancias del individuo portador afectando su sistema biológico causando: transformaciones genéticas, mutaciones celulares, alteración cromosómica.[15]

La volatilización del petróleo contamina la atmósfera, esta contaminación es producida por la combustión incompleta de metales pesados e hidrocarburos, que afectan suelos, fuentes de agua y desde luego se presentan efectos negativos en los organismos presentes en la zona de afectación. La flora se ve afectada por estomas debido al intercambio de gases en la

fotosíntesis. Las partículas suspendidas en el aire se colocan en las hojas de las plantas, impidiendo su correcto desarrollo.[16]

2.3 MODELOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

El aire es una compleja composición de diferentes sustancias. Entre sus constituyentes más relevantes están el nitrógeno, oxígeno, y vapor de agua. En menor cuantía presenta dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio.[17]

La contaminación del aire es una problemática de clase mundial, contar con herramientas que permitan modelar sus efectos adversos es de gran utilidad para reaccionar de forma efectiva ante un evento de contaminación petrolera.

Los modelos de contaminación ambiental representan cambios y transformación en materia del cuidado del delicado equilibrio del medio ambiente. El modelado de la contaminación del aire es una herramienta de planeamiento y de gestión de las políticas ambientales puesto que por su intermedio se puede pronosticar las alteraciones en las concentraciones de los distintos agentes químicos en diferentes periodos (días, meses, años), que son resultado de los diferentes cambios en los patrones de emisión.[18]

2.4 TIPOS DE MODELOS ATMOSFÉRICOS

Existen diferentes tipos de modelos de contaminación del aire, entre ellos los modelos deterministas los cuales se clasifican de acuerdo al criterio de referencia que se tome, puede ser su escala espacial o el planeamiento de ecuaciones que modelan cómo se comporta el contaminante en el aire. Por ejemplo, medido desde su escala espacial, los modelos deterministas se clasifican en: modelos de micro-escala, meso-escala, regionales, sinópticos y globales. En cuanto a la manera que se plantean las ecuaciones que representan comportamiento del contaminante en la atmósfera, se los clasifican en: modelos eulerianos (utiliza un sistema de ejes fijo con relación a la tierra) y lagrangianos (utiliza un sistema de ejes que sigue el movimiento de la atmósfera).[18]

3 METODOLOGÍA

Se definió una muestra de 117 publicaciones de diferentes autores (libros, artículos científicos, tesis, informes) donde los datos obtenidos fueron procesados obteniendo una matriz de variables preponderantes que intervienen en el proceso de contaminación del aire, para la validación de la metodología se tabularon los datos mediante un análisis bivariado (regresión logística).

Se consideraron variables como: Tipo de contaminante, Nombre del Contaminante, Efectos, Causas de la contaminación, Temperatura, Humedad del Ambiente, Especie afectada, Tiempo de exposición del contaminante en el ambiente, Velocidad del Viento.

El análisis bivariado establece la relación que concurre entre dos variables, su objetivo es el de determinar la manera en que la variable dependiente se distribuye en función de los valores que pueda tomar la variable independiente. [19]

3.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LOGÍSTICA

Con el propósito de determinar el comportamiento de la variable dependiente (si existe o no contaminación del aire) se empleará el modelo de regresión logística:

$$y_i^* = \beta_0 + \sum_{j=1}^K \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i$$

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$$

Siendo p la probabilidad de ocurrencia del evento de estudio, para el caso de presente trabajo es si existe o no contaminación del aire, consecuentemente los valores $b_0 + b_1 + b_2 + \dots + b_k$ son los coeficientes β (cualquiera de ellos).

Podremos calcular la probabilidad de que ocurra el evento de interés una vez dado el valor de las variables independientes, el cálculo se plantea de la siguiente forma:

$$p = \frac{e^{b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_kx_k}}{1 + e^{b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_kx_k}}$$

CLASIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DE SUJETOS SEGÚN FACTORES DE INCIDENCIA

Para determinar la contaminación del aire por metales pesados o HAP's (variable dependiente), a través de la determinación de variables que definen los modelos de contaminación (variables independientes), se procedió a implementar el análisis de regresión logística binaria, la cual tiene como objetivo principal determinar la variable dependiente o también conocida como criterio a partir de este valor dicotómico (si se encuentra contaminada el aire), y de las puntuaciones directas de los factores de incidencia de cada sujeto.

ESTIMACIÓN DEL MODELO

El resumen del procesamiento de datos se muestra en la tabla a continuación, donde se aprecia la cantidad de datos introducidos para el análisis, los valores excluidos, es observable que no hay datos excluidos ya que no existe campos con valores faltantes. Teniendo como resultado el 100 % de aprobación de toda la matriz para ser analizada.

Tabla 4: Frecuencias y porcentajes aire contaminado

Resumen de procesamiento de casos			
Casos sin ponderar ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluido en el análisis	117	100,0
	Casos perdidos	0	,0
	Total	117	100,0
Casos no seleccionados		0	,0
Total		117	100,0
a. Si la ponderación está en vigor, consulte la tabla de clasificación para el número total de casos.			

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

En la tabla anterior se muestra la codificación dicotómica de la variable dependiente donde el número de valor (0) es la probabilidad de que exista contaminación en el aire en base a los documentos (libros, tesis, Artículos Científicos, informes) estudiados, y el número de valor (1) es la probabilidad de que exista contaminación del aire.

Tabla 5: Codificación de variable dependiente

Codificación de variable dependiente	
Valor original	Valor interno
Si	0
No	1

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

ETAPA DE VALIDACIÓN

Para esta etapa se utilizó el método INTRO (este método evalúa todas las variables es un solo paso). Para el presente análisis se seleccionaron las siguientes variables:

- Temperatura: v1
- Humedad del Ambiente: v2
- Especie afectada: v3

- Tiempo de exposición del contaminante en el ambiente: v4
- Velocidad del Viento: v5
- Aire Contaminado: v6

CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS

Tabla 6: Codificaciones de variables categóricas

		Frecuencia	Codificación de parámetro (1)
Tiempo de Exposición	Prolongado	81	1,000
	Corto	36	,000
Temperatura	Baja	92	1,000
	Elevada	25	,000
Velocidad Viento	Alta	55	1,000
	Baja	62	,000
Humedad	Alta	92	1,000
	Baja	25	,000
Tipo de Contaminante	HAPS	67	1,000
	Metal Pesado	50	,000

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

En esta etapa el programa PSPP tabula la frecuencia de cada una de las variables categóricas de acuerdo a los parámetros establecidos.

Tabla 7: Codificaciones de variables categóricas

Tabla de clasificación ^{a,b}					
	Observado		Pronosticado		
			Aire Contaminado		Porcentaje correcto
			Si	No	
Paso 0	Aire Contaminado	Si	103	0	100,0
		No	14	0	,0
	Porcentaje global				
a. La constante se incluye en el modelo.					
b. El valor de corte es ,500					

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

Para el cuadro mostrado de regresión logística en el bloque 0, se tiene una probabilidad del 88% de acierto

EVALUACIÓN DEL MODELO

PRUEBA OMNIBUS

Se utiliza para examinar la significancia vinculada de las partes que componen el modelo, donde:

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_j = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \exists j \in \{0,1,2 \dots k\} \text{ tal que } \beta_j \neq 0$$

Tabla 8: Codificaciones de variables categóricas

Pruebas ómnibus de coeficientes de modelo				
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	,667	3	,881
	Bloque	,667	3	,881
	Modelo	,667	3	,881

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

Para esta prueba el indicador descriptivo de Chi-cuadrado, realiza una evaluación de la hipótesis nula. Puesto que el valor p en todos los casos es menor a 0.15, podemos afirmar que existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir la tabla de Chi-cuadrado que evalúa la hipótesis nula nos indica que existe algún β_j diferente de cero.

El cuadro mostrado a continuación, muestra tres mediciones que sirven para hacer una evaluación global del modelo. El R cuadrado de Cox y Snell es un factor que sirve para determinar de forma generalizada la relación de la varianza de la variable dependiente manifestada en términos de las variables independientes, este valor esta entre 0 y 1, como muestra el cuadro a continuación, el valor del coeficiente de determinación es de 0.11.

Tabla 9: Resumen del modelo

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	85,034 ^a	,006	,011
a. La estimación ha terminado en el número de iteración 5 porque las estimaciones de parámetro han cambiado en menos de ,001.			

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

PRUEBA DE HOSMER Y LEMESHOW

En el cuadro mostrado a continuación muestra que el modelo está bien ajustado ya que los valores esperados y ajustados son bastante cercanos en el procedimiento de Hosmer y Lemeshow.

Tabla 10: Prueba de Hosmer y Lemeshow

		Aire Contaminado = Si		Aire Contaminado = No		Total
		Observado	Esperado	Observado	Esperado	
Paso 1	1	8	8,396	1	,604	9
	2	15	14,722	1	1,278	16
	3	11	12,719	3	1,281	14
	4	18	15,959	0	2,041	18
	5	11	10,616	1	1,384	12
	6	13	12,123	1	1,877	14
	7	18	17,777	3	3,223	21
	8	9	10,689	4	2,311	13

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

TABLA DE CLASIFICACIÓN

Como podemos observar en la tabla siguiente, denominada tabla de clasificación, el porcentaje de aire contaminado es del 88% en base a las variables ingresadas en el modelo de regresión logística.

Tabla 11: Tabla de clasificación

	Observado		Pronosticado		
			Aire Contaminado		Porcentaje correcto
	Si	No	Si	No	
Paso 1	Aire Contaminado	Si	103	0	100,0
		No	14	0	,0
	Porcentaje global				88,0
a. El valor de corte es ,500					

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

VARIABLES EN LA ECUACIÓN

En el cuadro siguiente, se muestran las variables que van a entrar en el modelo de regresión logísticas, como se puede observar las todas las variables entraran en el modelo ya que su error estándar (Sig) es menor que 1

Tabla 12: Variables en la ecuación

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp (B)	95% C.I. para EXP(B)		
							Inferior	Superior	
Paso 1	Tipo de Contaminante	,176	,603	,085	1	,770	1,193	,366	3,887
	Temperatura	,389	,885	,193	1	,660	1,476	,260	8,371
	Velocidad Viento	-,523	,676	,598	1	,439	,593	,158	2,231
	Tiempo de Exposición	,330	,655	,253	1	,615	1,391	,385	5,024
	Constante	-2,427	1,117	4,723	1	,030	,088		
a. Variables especificadas en el paso 1: Tipo de Contaminante, Temperatura, Velocidad Viento, Tiempo de Exposición.									

Fuente: PSPP – Datos Procesados variables

Remplazando los datos en la ecuación planteada donde las variables tienen la siguiente simbología:

- Tipo de contaminante: v1
- Temperatura: v2
- Velocidad del Viento: v3
- Tiempo de exposición v4

Ecuación General:

$$p[1] = \frac{1}{1 + e^{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k}}$$

Remplazando:

$$p[1] = \frac{1}{1 + e^{-(2,427 - 0,176v_1 - 0,389v_2 + 0,523v_3 + 0,523v_3 - 0,330v_4)}}$$

Donde p[1] es la probabilidad de que el aire este contaminado.

4 RESULTADOS

Aplicando un modelo de regresión logística a la matriz de variables obtenidas de la lectura científica de 117 trabajos (artículos científicos, tesis, libros, informes, etc) concernientes a determinación de variables que definen modelos de contaminación ambiental en el aire, encontrándose que el Error Estándar que muestra el cuadro a continuación muestra que las variables del modelo son menor a 1, por lo que todas son consideradas en el modelo, nótese que el valor de los factores de los ODD RATIO, es decir los de la columna EXP (B), son elocuentemente mayor a 1 en determinadas variables en otras, nótese que son menor que uno, pero alejado de cero. Analizando estas variables, teniendo en cuenta su intervalo de confianza, nótese que el 1 no está incluido en el modelo, por lo que las variables independientes tomadas en cuenta en el modelo de regresión logística, tienen algún efecto sobre la variable dependiente (respuesta).

5 CONCLUSIÓN

La extracción y transporte de petróleo y sus derivados debe de realizarse bajo estrictas normas de control para minimizar al máximo posibles focos de contaminación ya sea por ruptura de tuberías o el tratamiento inadecuado de los desechos que produce la extracción y refinación del crudo de petróleo puesto que los seres humanos y demás seres vivientes están expuestos constantemente a los HAPS, ya que estos son producidos por la combustión incompleta de diversos materiales, incluso en se encuentran en alimentos de consumo de los seres humanos, además se los halla suspendidos en el aire como material particulado aumentando el riesgo de afectación ya que los HAPS tienen altos índices de carcinogenicidad. La contaminación del aire es un problema de índole mundial, cuando el material particulado llega a la atmosfera se mezcla con partículas de agua formando una serie de contaminantes que luego llegan a la tierra en forma de lluvia acida afectando gravemente el delicado equilibrio de los ecosistemas.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Berry, S. Carroll, D. González Machín, M. E. Korc, y others, «Curso de introducción a la toxicología de la contaminación del aire: manual de autoinstrucción», en *Curso de introducción a la toxicología de la contaminación del aire: manual de autoinstrucción*, CEPIS, 2002.
- [2] S. C. Heydrich, J. F. Parrot, M. A. O. Pérez, T. S. Salazar, J. M. C. Izquierdo, y P. M. H. Juárez, «Modelación del comportamiento ambiental de derrames de hidrocarburos en sitios ambientalmente sensibles».
- [3] A. V. Botello, «Características composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo», *Golfo México Contam. E Impacto Ambient. Diagnóstico Tend.*, pp. 261–268, 2005.
- [4] N. Moñino Aguilera, J. Martínez Alíer, M. Sala Serra, A. Galdos Balzategui, y others, «Exposición a la contaminación por actividad petrolera y estado de salud de la comuna Yamanunka (Sucumbíos, Ecuador)», 2008.
- [5] D. Miranda y R. Restrepo, «LOS DERRAMES DE PETRÓLEO EN ECOSISTEMAS TROPICALES-IMPACTOS, CONSECUENCIAS Y PREVENCIÓN. LA EXPERIENCIA DE COLOMBIA 1», en *International oil spill conference*, 2005, vol. 2005, pp. 571–575.
- [6] «OMS | Calidad del aire (exterior) y salud», *WHO*, 2007.
[En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. [Accedido: 02-sep-2016].
- [7] L. E. Venegas y N. A. Mazzeo, *La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera*. Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, 2012.
- [8] ASTDR, «Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)[Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)] | ToxFAQ | ATSDR», 1995. [En línea]. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts69.html. [Accedido: 02-sep-2016].
- [9] D. J. Hoffman, B. A. Rattner, G. A. Burton Jr, y J. Cairns Jr, *Handbook of ecotoxicology*. CRC Press, 2002.
- [10] ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, «Volumen IV | PROPIEDADES DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS | Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)», *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. [En línea]. Disponible en: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnnextoid=5273be8eda7b5110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&vgnnextchannel=1d19bf04b6a03110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>. [Accedido: 25-nov-2016].
- [11] I. Vives, J. O. Grimalt, y R. Guitart, «Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la salud humana», *Apunt. Cienc. Tecnol.*, vol. 3, n.º 2, pp. 45–51, 2001.
- [12] Greco S., «Contaminación por la industria petrolera».
[En línea]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamPetr.htm>. [Accedido: 25-nov-2016].

- [13] W. H. O. (WHO) y others, «International programme on chemical safety. environmental health criteria 202», *Sel. Nonheterocyclic Polycycl. Aromat. Hydrocarb. WHO Geneva*, 1998.
- [14] S. N. Caballero López, «Análisis y determinación de la concentración de hidrocarburos aromático policíclicos (HAP. s) contenidos en el material particulado respirable (PM10) en la localidad de Puente Aranda de Bogotá en la zona de alta actividad industrial y alto flujo vehicular», 2010.
- [15] K. GUERRERO MATA, E. D. A. PEÑA CERVANTES, I. HERNÁNDEZ TORRES, F. PEÑA RAMOS, R. D. LÓPEZ CERVANTES, y others, «Fitoextracción de cadmio y plomo utilizando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y cinco agentes quelatantes.», 2015.
- [16] X. Domènech, *Química atmosférica: origen y efectos de la contaminación*. Miraguano Ediciones, 1991.
- [17] P. MATUS y R. LUCERO CH, «Norma Primaria de calidad del aire», *Rev. Chil. Enfermedades Respir.*, vol. 18, n.º 2, pp. 112–122, 2002.
- [18] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, «Modelos Matemáticos de la Calidad del Aire», 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/calair-herramientas-analisis/557-calair-modelos>. [Accedido: 03-sep-2016].
- [19] H. Mendoza y G. Bautista, *Probabilidad y Estadística*. Universidad Nacional de Colombia. 2002.