

# Trabajo 3

*Samuel Cardenete Rodríguez y Juan José Sierra González*

*11 de mayo de 2017*

## Introducción:

Para la realización de esta práctica obtendremos el ajuste de modelos lineales basados en dos problemas centrados en dos conjuntos de datos diferentes. En primer lugar trabajaremos con un problema de clasificación, basado en el conjunto de datos “South African Heart Disease”, para el reconocimiento de enfermedades cardiovasculares en una población de Sudáfrica; y en segundo lugar con un problema de regresión, basado en el conjunto de datos “Los Angeles Ozone”, para predecir los niveles de ozono en Los Angeles.

Comenzaremos primeramente abordando el problema de clasificación:

## Clasificación: “South African Heart Disease”

En este caso nos encontramos frente a un problema de clasificación, tal y como hemos visto anteriormente. Se trata de un conjunto de datos que clasifica individuos de una población de Sudáfrica, indicando si padecen o no una enfermedad del corazón en función de los hábitos de vida (consumo de tabaco, obesidad, alcohol...). Como primer paso para abordar el problema, leeremos los datos y los dividiremos seleccionando nuestro conjunto de entrenamiento y de prueba.

### Lectura de datos:

Procedemos a la lectura de la base de datos de clasificación ‘South African Heart Disease’.

```
datos_sudafrica = read.csv("./datos/africa.data")
head(datos_sudafrica)
```

##	row.names	sbp	tobacco	ldl	adiposity	famhist	typea	obesity	alcohol	age
## 1	1	160	12.00	5.73	23.11	Present	49	25.30	97.20	52
## 2	2	144	0.01	4.41	28.61	Absent	55	28.87	2.06	63
## 3	3	118	0.08	3.48	32.28	Present	52	29.14	3.81	46
## 4	4	170	7.50	6.41	38.03	Present	51	31.99	24.26	58
## 5	5	134	13.60	3.50	27.78	Present	60	25.99	57.34	49
## 6	6	132	6.20	6.47	36.21	Present	62	30.77	14.14	45

```
## chd
## 1 1
## 2 1
## 3 0
## 4 1
## 5 1
## 6 0
```

Si analizamos los datos obtenidos, podemos observar que existe un atributo, ‘row.names’, que actúa como clave primaria, es decir, como identificador, así que dicho atributo nos es inútil para el aprendizaje de un modelo lineal, y por tanto lo suprimimos:

```
datos_sudafrica = datos_sudafrica[,-which(names(datos_sudafrica) == "row.names")]
```

Si seguimos con el análisis de los atributos observando sus tipos, nos damos cuenta de que existe un atributo de tipo factor, es decir, se trata de una variable cualitativa. Este atributo es ‘famhist’, que nos indica el historial familiar de enfermedades de corazón, clasificado como ‘ausente’ si no se ha producido ningún caso en la familia, o ‘presente’ si es al contrario:

```
class(datos_sudafrica$famhist)
```

```
## [1] "factor"
```

Por tanto procedemos a interpretarlo de forma numérica, de forma que sustituimos ‘presente’ por 1 y ‘ausente’ por 0:

```
#Cambiamos la columna 'famhist' que contiene caracteres por su equivalente en valores numéricos:
datos_sudafrica = data.frame(famhist = (ifelse(datos_sudafrica$famhist=="Absent",0,1)),datos_sudafrica[
```

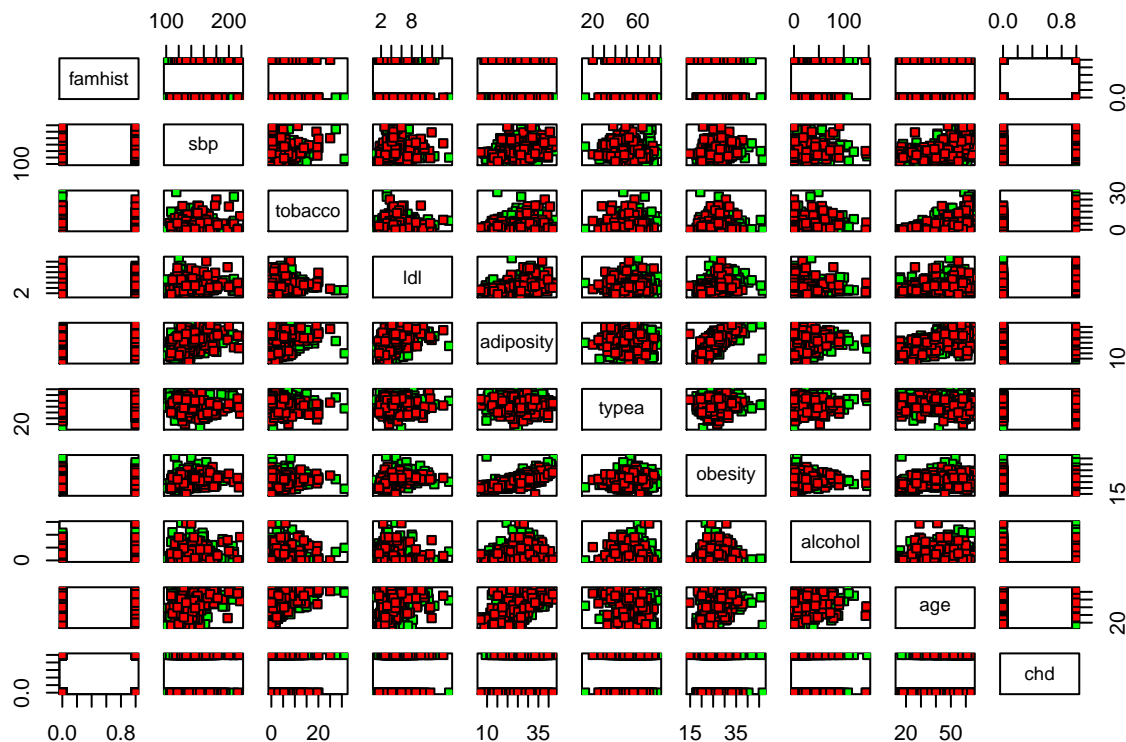
## Conjuntos de training y test usados

A continuación, realizaremos el particionamiento del conjunto de datos. Para el conjunto ‘train’ de entrenamiento emplearemos el 80% del conjunto total de los datos, de forma que el 20% restante será empleado para test. Hemos decidido utilizar este porcentaje dado que se nos ha explicado que un buen reparto entre train y test oscila entre dos terceras partes para train, o bien hasta un 80%, utilizando el resto para test. Procedemos al particionamiento de los datos, así como a su almacenamiento en respectivas variables:

## Preprocesamiento de los datos

Antes de entrar en el preprocesamiento, consideramos interesante realizar una vista preliminar de las gráficas de cada atributo de la base de datos siendo reflejado con todos los demás. Así obtenemos una matriz simétrica de gráficas, con los colores indicando la etiqueta según padezca enfermedad (rojo) o no (verde):

```
color = c(rep('green',sum(datos_sudafrica$chd ==0)),rep('red',sum(datos_sudafrica$chd==1)))
pairs(datos_sudafrica, bg = color, pch = 22)
```



Al representar la matriz de diagramas podemos hacernos una primera idea de la dispersión de los datos. Como podemos observar esta dispersión es alta, y a priori los únicos atributos que consideramos que pueden estar sustancialmente relacionados entre sí son ‘adiposity’ y ‘obesity’.

Como estamos tratando un problema de clasificación binaria, generar las gráficas del atributo clase no nos da ninguna ventaja, pero lo hemos dejado en la matriz final para que se pueda apreciar que no aporta ninguna información. Esto es debido a que para todos los atributos, existen casos de ambas clases. De forma contraria,

la clase se podría llegar a definir en función de un único parámetro, algo prácticamente inimaginable en un problema real.

Veamos entonces si es posible realizar una reducción de la dimensionalidad de los datos mediante la aplicación de PCA (Computing the Principal Components) sobre el conjunto de datos para intentar comprobar si existen atributos redundantes. Estos atributos redundantes podrían ser recombinados en nuevas características producto de combinaciones lineales de ellos. Prestaremos especial atención a los atributos ‘obesity’ y ‘adiposity’ por el motivo indicado anteriormente.

PCA calcula la varianza de cada atributo respecto a los demás, de forma que aquellos atributos que posean menor varianza (cercana a cero) con respecto a los demás serán considerados como redundantes.

Además, para no arriesgar mucho (puesto que PCA trabaja “a ciegas”) representaremos sólo aquellos componentes que expliquen hasta el 90% de la variabilidad de los datos (es necesario que los datos estén escalados y centrados para aplicar PCA):

```
sudafricaTrans = preProcess(datos_sudafrica, method = c("BoxCox", "center", "scale", "pca"), thresh = 0.9)
summary(sudafricaTrans$rotation)
```

```
##      PC1          PC2          PC3
## Min.   :-0.47821  Min.   :-0.4437  Min.   :-0.29512
## 1st Qu.: -0.36698  1st Qu.: -0.3718  1st Qu.: -0.23258
## Median : -0.30235  Median : -0.1270  Median :  0.02997
## Mean   : -0.28440  Mean    :-0.0794  Mean    :  0.06393
## 3rd Qu.: -0.22574  3rd Qu.:  0.1600  3rd Qu.:  0.29213
## Max.   : -0.00052  Max.    :  0.4685  Max.    :  0.66755
##      PC4          PC5          PC6
## Min.   :-0.25472  Min.   :-0.74845  Min.   :-0.26966
## 1st Qu.: -0.18932  1st Qu.: -0.09262  1st Qu.: -0.20223
## Median :  0.03753  Median :  0.02747  Median : -0.07082
## Mean    :  0.08634  Mean    :-0.01124  Mean    :  0.01631
## 3rd Qu.:  0.25177  3rd Qu.:  0.15449  3rd Qu.:  0.07155
## Max.    :  0.66522  Max.    :  0.44706  Max.    :  0.84138
##      PC7          PC8
## Min.   :-0.629858  Min.   :-0.51793
## 1st Qu.: -0.273606  1st Qu.: -0.22519
## Median :  0.167282  Median : -0.04904
## Mean    : -0.006012  Mean    :-0.02593
## 3rd Qu.:  0.214367  3rd Qu.:  0.16619
## Max.    :  0.360403  Max.    :  0.63028
```

Como podemos observar en la tabla, se han reducido los atributos a 8 atributos (combinaciones lineales de los 10 anteriores). Pero si observamos las varianzas de cada atributo en la tabla respecto al resto de atributos, vemos que no existe ningún atributo cuyas varianzas sean cercanas todas a 0. Aún así, para asegurarnos lo comprobamos mediante la siguiente función:

```
nearZeroVar(sudafricaTrans$rotation)
```

```
## integer(0)
```

Como comprobamos con la función nearZeroVar no existe ningún atributo cuyas varianzas respecto a las demás sean todas cercanas a 0, y por tanto todos los atributos son considerados representativos, pues poseen dispersión. En conclusión, no realizaremos ninguna reducción de atributos.

Para concluir el preprocesamiento de los datos, realizaremos las siguientes operaciones sobre ellos:

- Para aplicar las transformaciones, emplearemos la función `preProcess` sobre nuestro conjunto `train`, de forma que realizando un `predict` sobre el objeto transformación obtenido, obtengamos el conjunto de datos `train` preprocesado. A continuación, realizaremos las mismas transformaciones sobre el conjunto de `test`, utilizando el mismo objeto transformación:

## Estimación de parámetros

Para ello emplearemos la función `regsubsets`. Esta función realiza una búsqueda exhaustiva (empleando `Branch&Bound`) de las mejores agrupaciones de atributos en nuestro conjunto de entrenamiento para predecir en una regresión lineal:

```
## Subset selection object
## 9 Variables (and intercept)
##           Forced in Forced out
## famhist      FALSE      FALSE
## sbp           FALSE      FALSE
## tobacco       FALSE      FALSE
## ldl           FALSE      FALSE
## adiposity     FALSE      FALSE
## typea        FALSE      FALSE
## obesity       FALSE      FALSE
## alcohol       FALSE      FALSE
## age          FALSE      FALSE
## 1 subsets of each size up to 8
## Selection Algorithm: exhaustive
##           famhist sbp tobacco ldl adiposity typea obesity alcohol age
## 1  ( 1 ) " "      " " " "      " " " "      " "      " "      " "      "*"
## 2  ( 1 ) "*"      " " " "      " " " "      " "      " "      " "      "*"
## 3  ( 1 ) "*"      " " "*"      " " " "      " "      " "      " "      "*"
## 4  ( 1 ) "*"      " " "*"      "*" " " "      " "      " "      " "      "*"
## 5  ( 1 ) "*"      " " "*"      "*" " " "      "*"      " "      " "      "*"
## 6  ( 1 ) "*"      " " "*"      "*" " " "      "*"      "*"      " "      "*"
## 7  ( 1 ) "*"      "*" "*"      "*" " " "      "*"      "*"      " "      "*"
## 8  ( 1 ) "*"      "*" "*"      "*" "*"      "*"      "*"      " "      "*"

```

5

mejor y de forma descendente. Para mostrar un ejemplo que explique la gráfica, los mejores atributos serían ‘age’ y ‘famhist’, y los peores ‘adiposity’ y ‘alcohol’.

Ahora que sabemos cuáles son las características más recomendables para realizar modelos, vamos a construir una serie de ellos con algunas de estas características y validaremos con el conjunto de test para comprobar los errores que reflejan.

## Definición de modelos

Para empezar, calculamos un sencillo modelo lineal con el que intentamos predecir ‘chd’ (nuestras etiquetas) a partir del atributo más representativo, en nuestro caso y como hemos comprobado, ‘age’.

```
m_muestra_sudafrica = lm(chd ~ age, data=sudafrica_train)
```

Para el cálculo del error, y a fin de intentar aportar un punto de generalización al problema a abordar, definimos una función que calcula el error (etiquetas mal clasificadas en función de etiquetas totales) y muestra la matriz de confusión en el conjunto de test a partir de un modelo:

```
calculoErrorMatrizConfusion = function (modelo, test, etiquetas){  
  # Una vez calculado el modelo, empleamos la función predict  
  # para obtener la probabilidad de cada etiqueta.  
  prob_test = predict(modelo, test[,which(names(test) == etiquetas)], type="response")  
  
  pred_test = rep(0, length(prob_test))  
  # predicciones por defecto 0  
  pred_test[prob_test >=0.5] = 1  
  # >= 0.5 clase 1  
  matriz_conf = table(pred_test, test[,which(names(test) == etiquetas)])  
  print(matriz_conf)  
  
  etest = mean(pred_test != test[,which(names(test) == etiquetas)])  
}
```

Utilizamos nuestra función para calcular el error del modelo de muestra generado anteriormente:

```
etest_mmuestrasud = calculoErrorMatrizConfusion(m_muestra_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##  
## pred_test  0  1  
##           0 46 21  
##           1 11 14  
etest_mmuestrasud
```

```
## [1] 0.3478261
```

Obtenemos un error de 0.337, pero se trata de un modelo excesivamente simple como para reflejar buenos resultados en un problema real. Por tanto busquemos un modelo diferente empleando otra característica, la siguiente más representativa en el conjunto de datos, que en nuestro caso es ‘famhist’:

```
m1_sudafrica = lm(chd ~ age + famhist, data=sudafrica_train)
```

```
etest_m1sud = calculoErrorMatrizConfusion(m1_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##  
## pred_test  0  1
```

```
##          0 48 20
##          1  9 15
```

```
etest_m1sud
```

```
## [1] 0.3152174
```

Utilizando dos características el error en el conjunto de test desciende hasta un 0.326. Seguimos probando nuevos modelos, así que añadimos la siguiente característica recomendada por regsubsets, 'tobacco':

```
m2_sudafrica = lm(chd ~ age + famhist + tobacco, data=sudafrica_train)
```

```
etest_m2sud = calculoErrorMatrizConfusion(m2_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 50 19
##           1  7 16
```

```
etest_m2sud
```

```
## [1] 0.2826087
```

Un error reflejado de 0.293 ya se acerca más a lo que buscamos, poco a poco vamos avanzando hacia un error menor en el conjunto de validación. Como aún nos queda una buena cantidad de características por probar, añadimos una más al siguiente modelo, 'ldl':

```
m3_sudafrica = lm(chd ~ age + famhist + tobacco + ldl, data=sudafrica_train)
```

```
etest_m3sud = calculoErrorMatrizConfusion(m3_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 51 17
##           1  6 18
```

```
etest_m3sud
```

```
## [1] 0.25
```

En esta ocasión tenemos un error de 0.261, que mejora sustancialmente al que teníamos antes. Probemos con la siguiente característica, 'typea':

```
m4_sudafrica = lm(chd ~ age + famhist + tobacco + ldl + typea, data=sudafrica_train)
```

```
etest_m4sud = calculoErrorMatrizConfusion(m4_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 50 19
##           1  7 16
```

```
etest_m4sud
```

```
## [1] 0.2826087
```

El error se reduce a 0.25, lo podemos empezar a considerar un error aceptable. No obstante, sigamos probando a añadir la siguiente característica según regsubsets, 'obesity':

```
m5_sudafrica = lm(chd ~ age + famhist + tobacco + ldl + typea + obesity, data=sudafrica_train)
```

```
etest_m5sud = calculoErrorMatrizConfusion(m5_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 50 19
##           1  7 16
```

```
etest_m5sud
```

```
## [1] 0.2826087
```

Aquí encontramos el primer bache, y es que aumentando el número de características empeoramos el error en el test. Seguramente sea debido a sobreajuste, pero para asegurarnos vamos a sustituir 'obesity' por el siguiente atributo más válido según regsubsets, 'sbp':

```
m6_sudafrica = lm(chd ~ age + famhist + tobacco + ldl + typea + sbp, data=sudafrica_train)
```

```
etest_m6sud = calculoErrorMatrizConfusion(m6_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 51 21
##           1  6 14
```

```
etest_m6sud
```

```
## [1] 0.2934783
```

Efectivamente, seguimos encontrando errores peores, por lo que abandonamos esta línea de exploración al estar enfrentándonos a una base de datos no lineal. Para mejorar el error hemos realizado diferentes transformaciones no lineales sobre los atributos seleccionados como más representativos.

Volvemos al modelo en el que menor error obtuvimos, el formado por los 5 mejores atributos según regsubsets, y probamos a utilizar una variable cuadrática, en este caso elevar al cuadrado la característica 'age':

```
m7_sudafrica = lm(chd ~ I(age^2) + famhist + tobacco + ldl + typea, data=sudafrica_train)
```

```
eout_m7sud = calculoErrorMatrizConfusion(m7_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 53 25
##           1  4 10
```

```
eout_m7sud
```

```
## [1] 0.3152174
```

En este modelo hemos conseguido otra mejora, esta vez el error desciende hasta 0.239. Seguiremos intentando encontrar mejores errores realizando nuevas transformaciones, ahora una cúbica.

```
m8_sudafrica = lm(chd ~ I(age^3) + famhist + tobacco + ldl + typea, data=sudafrica_train)
```

```
eout_m8sud = calculoErrorMatrizConfusion(m8_sudafrica, sudafrica_test, "chd")
```

```
##
## pred_test  0  1
##           0 53 22
##           1  4 13
```

```
eout_m8sud
```

```
## [1] 0.2826087
```



El error no es malo pero sigue siendo un peor modelo que el mejor que hemos generado ahora mismo. Hemos comprobado también que es contraproducente realizar transformaciones con logaritmos y raíces debido a la cantidad de datos negativos que tiene la base de datos una vez normalizada.

En resumen, tras realizar distintas combinaciones de atributos y tratar de predecir con ellos, utilizando alguna transformación no lineal, experimentalmente hemos reducido el error fuera de la muestra a un 0.239. Este error se ha obtenido con un modelo con transformación cuadrática sobre el atributo 'age' (el que mejor representa la muestra como hemos visto en regSubsets) y utilizando los 4 siguientes mejores atributos.

## Regularización

Procedamos ahora a realizar una regularización empleando Weight-decay mediante la función glmnet. Dicha función recibe los siguientes hiperparámetros:

- **Alpha:** Para aplicar el weight-decay utilizaremos dicho argumento con valor 0.
- **Lambda:** Parámetro de regularización. (Multiplica la matriz de identidad)

Hace falta tener en cuenta antes la correcta elección del lambda, de forma que escojamos el que mejores resultados nos pueda arrojar. En lugar de seleccionarlo de forma arbitraria, será mejor emplear validación cruzada:

```
etiquetas = sudafrica_train[,which(names(sudafrica_train) == "chd")]
tr = sudafrica_train[,-which(names(sudafrica_train) == "chd")]
tr = as.matrix(tr)
crossvalidation = cv.glmnet(tr,etiquetas,alpha=0)
print(crossvalidation$lambda.min)
```

```
## [1] 0.07095296
```

Una vez obtenido el lambda que proporciona un menor  $E_{out}$ , procedemos a generar un modelo de regularización, en primer lugar empleando el valor de lambda generado por validación cruzada, y en segundo lugar empleando un lambda igual a cero, de forma que no apliquemos regularización. El objetivo será comprobar si los parámetros obtenidos son significativamente diferentes como para que merezca la pena realizar regularización en nuestros modelos.

```
modelo_reg = glmnet(tr,etiquetas,alpha=0,lambda=crossvalidation$lambda.min)
print(modelo_reg)
```

```
##
## Call:  glmnet(x = tr, y = etiquetas, alpha = 0, lambda = crossvalidation$lambda.min)
##
##      Df    %Dev  Lambda
## [1,]   9 0.2496 0.07095
```

Aplicando regularización con el lambda obtenido tras la validación cruzada obtenemos una desviación del 0.237. Probemos ahora no aplicando regularización, empleando un hiperparámetro lambda de 0, y comprobemos su desviación:

```
modelo_reg = glmnet(tr,etiquetas,alpha=0,lambda=0)
print(modelo_reg)
```

```
##
## Call:  glmnet(x = tr, y = etiquetas, alpha = 0, lambda = 0)
##
##      Df    %Dev  Lambda
## [1,]   9 0.2534      0
```

Como podemos comprobar, las desviaciones obtenidas empleando o no regularización mediante weight-decay son similares (0.237 frente a 0.241), por tanto, concluimos en que emplear regularización no merece la pena.

## **Conclusión y modelo final seleccionado**

Tras los diferentes modelos generados, habiendo utilizado distintas combinaciones de atributos, tratando de optimizar con transformaciones no lineales, y habiendo decidido no utilizar regularización, hemos concluido que el mejor modelo que hemos podido encontrar ha sido aquel que utiliza la agrupación de los 5 mejores atributos según regsubsets, y con una transformación cuadrática del atributo ‘age’.

Con este modelo hemos reducido la tasa de error hasta un 23.9%. Si consideramos la distribución de los datos que observamos en la matriz de gráficas al comienzo del problema, y según hemos comprobado de forma experimental, la base de datos no es lineal, y con un modelo lineal no podremos ajustar de mucha mejor forma los datos. A pesar de ello, decidimos empezar por ahí para encontrar qué características son más representativas a la hora de reducir el error. Hemos construido diferentes modelos combinando los atributos que mayor varianza presentan (más representativos) y hemos ido reduciendo el error hasta que se ha empezado a producir sobreajuste. A partir de aquí, añadir más atributos sólo nos continúa ajustando de más la función, provocando que se produzcan muchas curvas en la función que dificulten generalizar los datos del conjunto de test.

Llegados a este punto, como no nos conviene añadir más atributos y puesto que nos encontramos frente a un modelo no lineal, consideramos realizar algunas transformaciones no lineales sobre los atributos que ya tenemos, y encontramos el mejor error realizando una transformación cuadrática sobre el atributo ‘age’. Optamos por esto dado que contamos con unos datos muy dispersos y difícilmente separables con una función lineal. Probandos con nuevas transformaciones no logramos mejor resultado así que nos quedamos con este modelo. Y por último, dado que comprobando los parámetros derivados de la regularización hemos visto que no varían de forma significativa, hemos decidido no realizarla.

Como conclusión final, un modelo que utilice suficiente número de atributos para predecir (sin llegar al límite de sobreajuste) y que contenga algún tipo de transformación no lineal es comprensible que refleje buenos resultados en un problema real con datos dispersos y con ruido. Dentro de los distintos modelos que cumplan esas características, de forma experimental hemos podido comparar varios y nos hemos quedado con el anteriormente mencionado.

## **Regresión: “LA Ozone”**

En este caso, el problema de regresión a abordar se basa en los registros de concentración de ozono en la atmósfera de Los Angeles.

Apartir de dichos datos, buscamos predecir la cota máxima por hora de la concentración de ozono de la ciudad de Upland. Los atributos pertenecientes a la base de datos