

## APRENDIZAJE ESTADÍSTICO

---

Gonzalo Pajares, María Guijarro, P. Javier Herrera y Jesús M. de la Cruz

### A2.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se describe el ejemplo de aplicación que sirve para mostrar el proceso de aprendizaje de naturaleza estadística descrito en el capítulo dos.

Se dispone de sendos conjuntos de cinco imágenes cada uno tanto para el entrenamiento como para la clasificación. Se encuentran en los respectivos ficheros identificados como IEntrenamiento\_0X e IClasificación\_0X, donde  $X = 1, 2, 3, 4, 5$ . En ambos casos en formato BMP (BitMap).

En las figuras A2.1(a) y (b) se muestran dos de tales imágenes representativas de ambos conjuntos, a la izquierda la IEntrenamiento\_01 y a la derecha la IClasificación\_01.

La aplicación está escrita en el lenguaje MATLAB, versión R2007a y utiliza funciones específicas del toolbox *Image Processing* de Matlab.



(a) (b)  
*Figura A2.1(a) Imagen de entrenamiento. (b) Imagen de clasificación*

Consta de un programa de tipo script principal denominado *Apendice2*. Tras su ejecución se muestra la siguiente ventana,

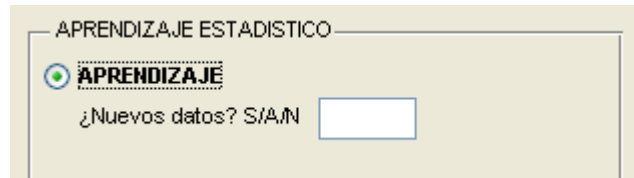


*Figura A2.2 Ventana principal de la aplicación*

Se distinguen tres subpaneles diferentes. En la parte izquierda se muestran las imágenes, la parte central corresponde al *cuadro de información*, la parte derecha se identifica con el panel *aprendizaje estadístico* donde inicialmente se puede elegir entre *Aprendizaje* y *Clasificación*. Seleccionando la primera opción, se procede a realizar un proceso de Aprendizaje; por el contrario, si se selecciona la segunda se llevaría a cabo un proceso de Clasificación. Este segundo caso requiere necesariamente, que ya se haya realizado un proceso de Aprendizaje previo, ya que de lo contrario no existirían parámetros aprendidos y la Clasificación sería imposible.

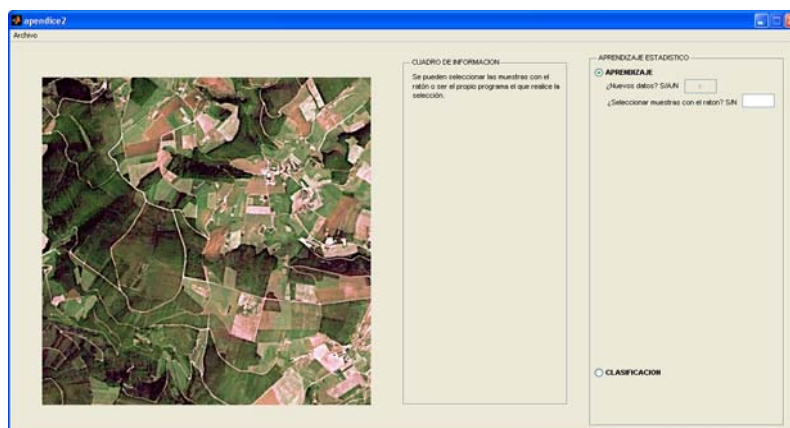
## A2.2 APRENDIZAJE

Tras lanzar el proceso de Aprendizaje, el sistema pregunta a través del diálogo mostrado en la ventana de la figura A2.3 si se van a tomar nuevas muestras de aprendizaje ( $s$ ), añadir nuevas a las ya existentes ( $a$ ), o por el contrario, sirven las ya existentes de otros procesos anteriores ( $n$ ).

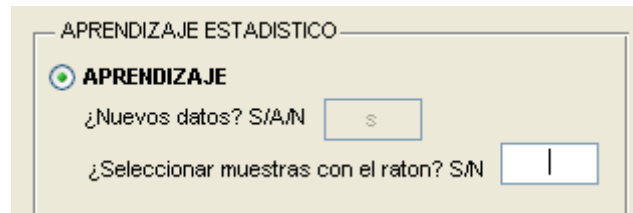


*Figura A2.3 El sistema pregunta si se desean añadir nuevas muestras, añadir nuevas a las ya existentes o utilizar las ya existentes.*

Si se opta por la opción  $s$ , indicando de este modo que se desean añadir nuevas muestras de aprendizaje, aparece la imagen de la que se van a extraer las muestras (figura A2.4) y se pregunta si la selección se va a realizar con el ratón o simplemente que sea el propio programa quien tome las muestras existentes en la imagen (figura A2.5). Las opciones son de nuevo  $s$  (sí) para el primer caso y  $n$  (no) para el segundo.



*Figura A2.4 El sistema muestra la imagen sobre la que extraer muestras*



APRENDIZAJE ESTADISTICO

● **APRENDIZAJE**

¿Nuevos datos? S/A/N

¿Seleccionar muestras con el raton? S/N

*Figura A2.5 El sistema pregunta si se van a introducir las muestras con el ratón o es el programa el encargado de hacerlo*

En el supuesto de elegir la primera opción, se activan los botones del ratón permitiendo seleccionar muestras con el botón izquierdo. De este modo se pueden seleccionar todas las muestras deseadas sin importar el tipo de texturas seleccionadas, ya que las muestras serán posteriormente distribuidas en las respectivas clases. Hay que tener especial cuidado a la hora de seleccionar las muestras para no pulsar fuera de la propia imagen, ya que en caso de pulsar sobre el marco de la figura, se generan errores de cálculo posteriores. Cuando no se deseen tomar más muestras de la imagen activa, se pulsa el botón derecho del ratón, en cuyo momento se marcan sobre la imagen las muestras seleccionadas, localizándose con una serie de puntos azules, tal y como aparece en la figura A2.6.



*Figura A2.6 Las muestras seleccionadas con el ratón se marcan sobre la imagen con una serie de puntos azules.*

Si en la pregunta anterior se opta por la opción *n* (no), el sistema solicita el paso de muestro, figura A2.7, lo que significa que se comienza extrayendo la primera fila y la primera columna de la imagen y luego se saltan las filas y columnas indicadas por este valor para extraer las que correspondan, así si el valor es 8, se extraen las filas y columnas 1, 9, 17, 25, etc. hasta llegar al límite impuesto por el tamaño de las imágenes.

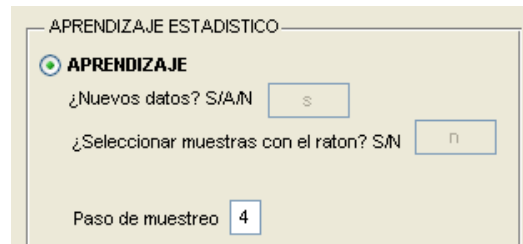


Figura A2.7 El sistema solicita el paso de muestreo

Tras la selección de esta opción comienza el proceso de elección de muestras automático abriéndose una barra de progreso como la mostrada en la figura A2.8. El código de esta barra ha sido desarrollado por el autor [Steve Hoelzer](http://www.mathworks.es/matlabcentral/fileexchange/) encontrándose disponible en la web de Matlab Central, <http://www.mathworks.es/matlabcentral/fileexchange/>.

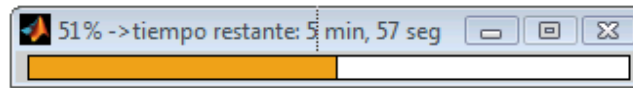


Figura A2.8 Barra de progreso mostrada por el sistema

Independientemente de la opción seleccionada en el caso anterior, a continuación el sistema pregunta si se desea tomar muestras procedentes de más imágenes (figura A2.9). Si se opta por la opción *s* (si) aparece una nueva imagen, pudiendo escoger nuevamente entre seleccionar muestras manualmente con el ratón o que sea el programa de forma automática el que lo haga. Dado que sólo hay disponibles cinco imágenes, en el supuesto de superar el máximo número de imágenes el programa continua e informa de esta situación al usuario mediante un mensaje en el *cuadro de información*. Si se opta por la opción *n* (no) el proceso de toma de muestras finaliza.

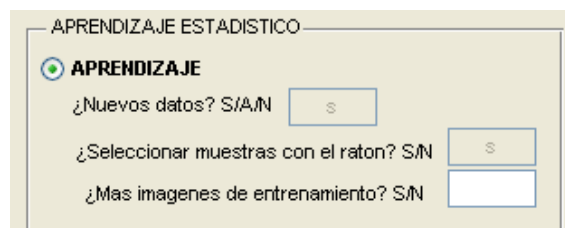


Figura A2.9 El sistema pregunta si se desean tomar muestras procedentes de otra imagen

Si se escogió añadir nuevas muestras a las ya existentes de procesos anteriores, las nuevas muestras se añaden a las ya existentes, que han sido cargadas previamente desde el fichero donde se encuentran almacenadas. En el caso de haber escogido sólo utilizar nuevas muestras, únicamente tendremos las muestras que hemos seleccionado en la etapa anterior. Independientemente de la opción elegida se dispone por tanto, de un conjunto de muestras. Las muestras así obtenidas se almacenan en un fichero de MATLAB con extensión *.mat* denominado *MuestrasAprendizaje*, que son las que aparecen disponibles para un proceso de aprendizaje posterior. Si se quieren eliminar dichas muestras no hay más que proceder a eliminar dicho fichero de su ubicación habitual, que coincide con la carpeta desde la que se ejecuta el programa, salvo que se cambie la ruta manualmente dentro del propio programa. Con todas ellas, se procede a su distribución en clases mediante uno de los dos procedimientos disponibles descritos en el capítulo dos, a saber:

- 1) método pseudo-aleatorio (sección 2.5.2), con la opción *s*
- 2) método de cuantización vectorial (sección 2.5.3), con la opción *n*

Con la primera opción, *Pseudoaleatorio* (figura A2.10), se solicita el número de clases en las que se pretende distribuir los datos, el peso exponencial y el valor de tolerancia para la convergencia (criterio de terminación), ambos requeridos por el método de agrupamiento borroso tal y como se describe en la sección 2.2. Por último se pide el número máximo de iteraciones a realizar por el método de agrupamiento borroso en caso de no conseguir la convergencia, esto es necesario para evitar que se entre en un bucle infinito por falta de convergencia, siendo por tanto un criterio adicional de finalización.

Tras pulsar el botón *Aceptar*, se procede a realizar la partición de los datos en clases. Con ello se realizan los procesos de entrenamiento tanto para el clasificador borroso como para el estimador paramétrico de máxima verosimilitud. Seguidamente, aparece sobre el *cuadro de información*, el número de clases obtenido, que en el procedimiento pseudo-aleatorio es el proporcionado, los valores de los coeficientes de partición descritos en las ecuaciones (2.8) a (2.14), así como los proporcionados por las ecuaciones (2.34) a (2.38). Cualquiera de ellos o todos en su conjunto, nos permiten determinar si la partición es o no válida. Debido a las dimensiones de los resultados, en el caso de que el número de clases sea mayor de 3, los resultados no se muestran completos en el cuadro de información. Todos los resultados se encuentran en el archivo *resultados\_aprendizaje.txt* que puede visualizarse con la aplicación WordPad de MsWindows, por ejemplo.

APRENDIZAJE ESTADISTICO

**APRENDIZAJE**

¿Nuevos datos? S/A/N

¿Seleccionar muestras con el raton? S/N

¿Mas imagenes de entrenamiento? S/N

Algoritmo

☒ Pseudoaleatorio

Numero de clases

Peso exponencial

Criterio de terminacion

Numero maximo de iteraciones

☐ Cuantizacion vectorial

*Figura A2.10 Si se ha seleccionado el método pseudo-aleatorio el sistema solicita el número de clases, peso exponencial, criterio de terminación y número máximo de iteraciones.*

El programa pregunta si se desea realizar una nueva partición o iniciar la Clasificación, figura A2.11.

Algoritmo

☒ Pseudoaleatorio

Numero de clases

Peso exponencial

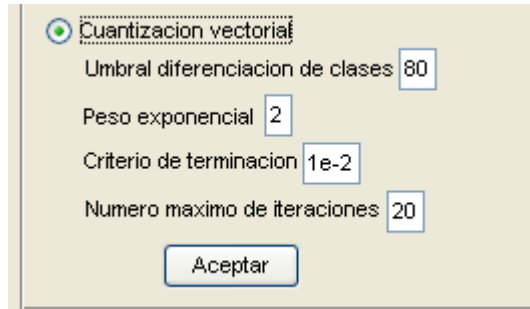
Criterio de terminacion

Numero maximo de iteraciones

☐ Cuantizacion vectorial

*Figura A2.11 El sistema pregunta si se desea realizar una nueva partición o se desea iniciar con la clasificación*

Si se selecciona *Nueva partición* se vuelve a preguntar sobre el método que se quiere utilizar ahora para realizar la nueva partición. Tanto ahora como antes, si se hubiera seleccionado la opción *Cuantización vectorial*, el diálogo sería el que aparece a continuación, figura A2.12.



The image shows a software dialog box titled "Cuantización vectorial". It has a green circular icon with a white dot in the top-left corner. Inside the dialog, there are four labeled input fields: "Umbral diferenciación de clases" with the value "80", "Peso exponencial" with the value "2", "Criterio de terminación" with the value "1e-2", and "Número máximo de iteraciones" with the value "20". At the bottom center of the dialog is a button labeled "Aceptar".

*Figura A2.12 Si se ha seleccionado el método Cuantización vectorial, el sistema solicita el umbral diferenciación de clases, peso exponencial, criterio de terminación y número máximo de iteraciones.*

En este caso pediría los parámetros requeridos por el algoritmo borroso, que no han sido proporcionados previamente. Nótese que ahora no se necesita el número de clases, ya que en este caso las obtiene el procedimiento de cuantización vectorial de forma automática.

A partir de aquí se realiza el proceso de entrenamiento, tras lo cual vuelve a aparecer el diálogo respecto a la posibilidad de realizar una nueva partición.

Cuando la partición se considere válida, por cualquiera de los procedimientos descritos, los parámetros del aprendizaje se almacenan en la base de conocimiento, resultando ser en este caso una estructura de datos guardada en el fichero *ParamAprendizaje* con extensión *.mat* de MATLAB. Este fichero es precisamente el que se carga durante la siguiente fase de clasificación.

Las muestras se representan sobre el espacio tridimensional según la distribución mostrada en la figura A2.13, sobre la que se representan los centros de las clases en diferentes colores. En este caso concreto, los centros son los obtenidos mediante el método de agrupamiento borroso. En el ejemplo mostrado han sido tres centros. En la figura A2.14, aparece la misma representación en el espacio bidimensional por aplicación de la técnica basada en Componentes Principales para reducción de la dimensionalidad, en este caso de tres a dos.

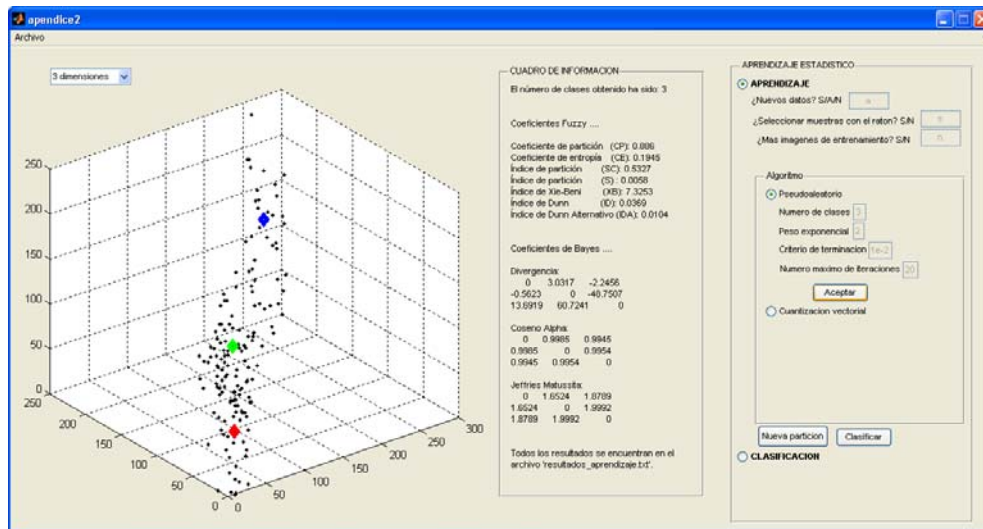


Figura A2.13 Muestras representadas sobre el espacio tridimensional

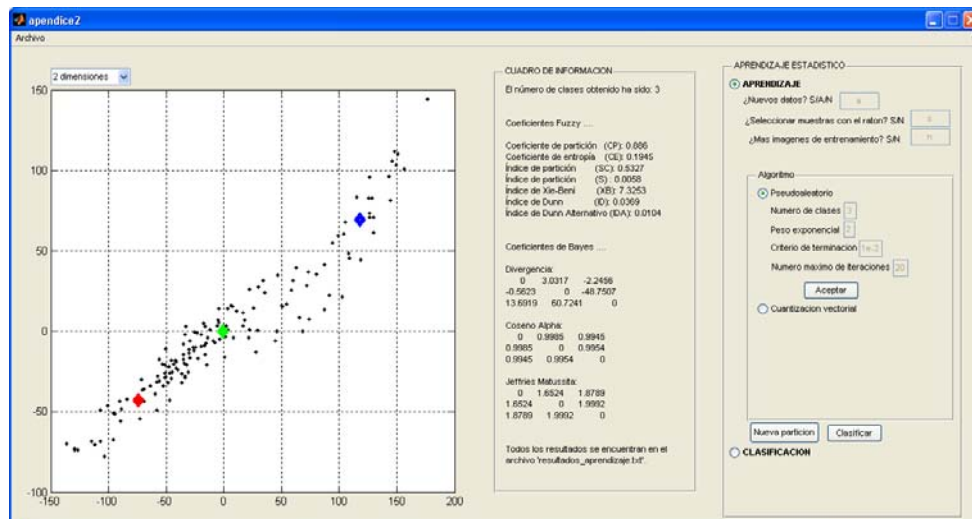


Figura A2.14 Muestras representadas sobre el espacio bidimensional

## A2.3 CLASIFICACIÓN

Tras lanzar el proceso de clasificación, correspondiente a la opción *Clasificación* del primer diálogo, automáticamente se cargan los parámetros de aprendizaje obtenidos durante la fase de entrenamiento, junto con las muestras, que

son necesarias para estimar las funciones de densidad de probabilidad en el método de la *ventana de Parzen*. Todos estos datos se encuentran almacenados en el fichero *ParamAprendizaje*, tal y como se ha mencionado previamente.

Tras el proceso anterior, aparece una imagen semejante a la mostrada en la figura A2.15, de forma que en la primera fila se muestra la representación en color de los centros de las clases obtenidas mediante el clasificador agrupamiento borroso, que representan las tonalidades de las clases originales. En la parte inferior aparecen las etiquetas con las que se clasificarán los píxeles según su pertenencia a una de las clases en cuestión. En el caso que nos ocupa, al haber obtenido sólo tres clases, a partir de la cuarta, representada mediante la tonalidad amarilla, no existe correspondencia, apareciendo en ambas representaciones con idéntica tonalidad. Lo mismo ocurre para el resto hasta completar el total de nueve.



Figura A2.15 Representación en color de los centros de las clases

Seguidamente se pide la introducción de un factor de submuestreo (figura A2.16), cuyos valores permitidos son  $2^n$ , donde  $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ , por tanto 1, 2, 4, 8, 16, etc.

Lo anterior se establece así por el hecho de que si se elige un factor bajo, el coste computacional del proceso puede ser elevado. De esta forma el usuario puede controlar este aspecto por sí mismo. Seleccionado el mencionado factor, aparece sobre la pantalla del ordenador la imagen submuestreada con el factor elegido (figura A2.17). Tras lo cual se pide de nuevo al usuario el único parámetro necesario en este proceso, exactamente el factor  $h$  de la *ventana de Parzen* definido en la ecuación (2.45), figura A2.18. En este caso, también se abre una barra de progreso (figura A2.19).

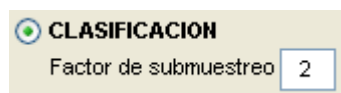


Figura A2.16 El sistema solicita introducir un factor de submuestreo



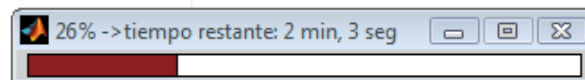
*Figura A2.17 Una vez seleccionado el factor de submuestreo, aparece la imagen submustrada con dicho valor*

**CLASIFICACION**

Factor de submuestreo

Parametro h de la ventana de Parzen

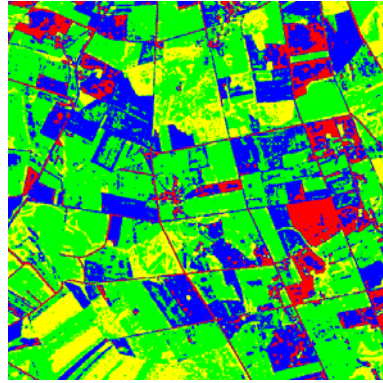
*Figura A2.18 El sistema solicita el parámetro h de la ventana de Parzen*



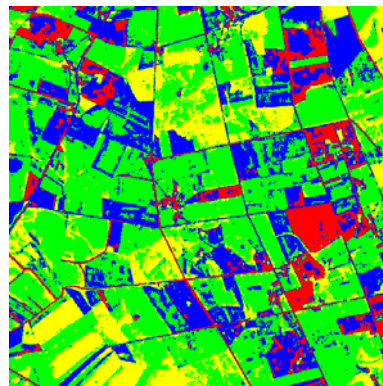
*A2.19 Barra de progreso*

El proceso de clasificación continúa hasta su finalización. Para cada uno de los tres métodos se obtienen los correspondientes resultados, tal y como aparecen en las tres figuras siguientes, mediante el clasificador borroso, figura A2.20, el estimador paramétrico, figura A2.21, y el no paramétrico, figura A2.22.

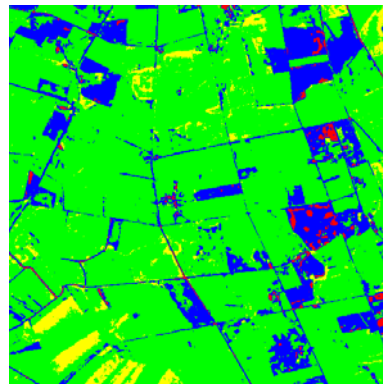
Sin entrar a valorar los resultados, a la vista de las tres figuras anteriores se aprecia una similitud en los dos primeros resultados con una diferencia significativa respecto del tercero.



*Figura A2.20 resultados obtenidos mediante el clasificador borroso*

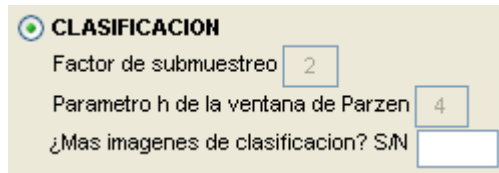


*Figura A2.21 resultados obtenidos mediante el estimador paramétrico*



*Figura A2.22 resultados obtenidos mediante el estimador no paramétrico*

Finalizado el proceso de clasificación se pregunta si se desean clasificar más imágenes, figura A2.23. Se admiten dos opciones, en el supuesto de contestar *n* (no), el programa finaliza, mientras que si la opción elegida es *s* (sí) inicia un nuevo proceso de clasificación para la siguiente imagen de entre las disponibles. Se debe tener en siempre en cuenta que en este caso sólo es posible procesar hasta cinco, que son las imágenes proporcionadas. En el supuesto de que se procese más de una imagen, el factor de submuestreo permanece invariable durante la clasificación de todas ellas.



**CLASIFICACION**

Factor de submuestreo

Parametro h de la ventana de Parzen

¿Mas imagenes de clasificacion? S/N

*Figura A2.23 El sistema pregunta si se desean clasificar más imágenes*