PRÁCTICA DE APLICACIÓN DE CONOCIMIENTOS – IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO BÁSICO DE SEGUIMIENTO DE OBJETOS POR COLOR

Generar una secuencia de video que muestre el seguimiento de un objeto de una escena captada por una WebCam. El seguimiento se basará en el color del objeto y se visualizará a través de una marca en el centroide de cada agrupación conexa de píxeles detectada.

Guía de ayuda y pasos:

1.- GENERACIÓN DE MATERIAL:

1.1- Secuencia de video para evaluar el funcionamiento del algoritmo de seguimiento: generar un archivo de video con el objeto de estudio moviéndose por una determinada región del espacio.

1.2- Imágenes de calibración: capturar varias imágenes con el objeto situado en distintas posiciones representativas de la región del espacio que queramos monitorizar, así como una imagen representativa del fondo de la escena (sin el objeto, en la situación más parecida a las imágenes que se hicieron con el objeto).

2.- GENERACIÓN DE CONJUNTO DE DATOS:

2.1.- EXTRACCIÓN DE DATOS DEL COLOR OBJETO DE SEGUIMIENTO Y OTROS COLORES DEL FONDO DE LA ESCENA

2.1.1.- Para cada imagen de calibración que contiene el objeto, seleccionar una región de píxeles con el color de seguimiento. Almacenar los valores R, G y B de todos los píxeles seleccionados. Para ello, utilizar una matriz Matlab *DatosColor*, con 4 campos: identificador de la imagen, valores R, G y B.

2.1.2.- De la misma forma, seleccionar regiones de píxeles representativas del fondo de la escena, que no sean del color de seguimiento (para ello es posible utilizar la imagen de fondo o las mismas imágenes que tienen el objeto, siempre que se seleccionen regiones donde no esté

el objeto). Almacenar los valores R, G y B de todos los píxeles seleccionados. Para ello, utilizar una matriz Matlab *DatosFondo*, con 4 campos: identificador de la región, valores R, G y B.

Ayuda Matlab: `instrucción roipoly`

2.1.3.- Generación de un primer conjunto de datos X e Y:

- X: matriz de tantas filas como muestras de píxeles haya en *DatosColor* y *DatosFondo* y tres columnas (valores de R, G y B). Es decir, se genera concatenando verticalmente la información RGB de *DatosColor* y *DatosFondo*.

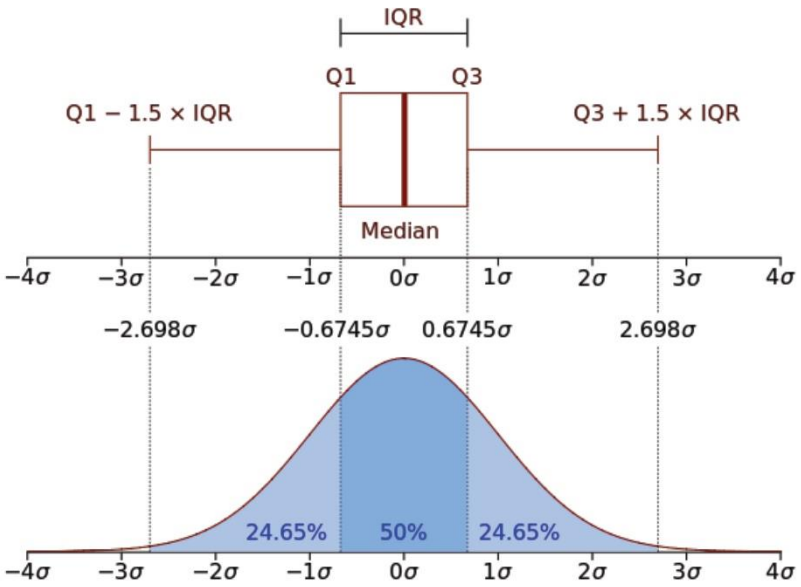
- Y: vector columna con dos posibles valores: 0 y 1. El valor 0 se asignará a aquellas filas de X que se correspondan con muestras del fondo; el 1 es el valor de codificación que se utilizará para indicar que la fila de datos de X pertenece a la clase de píxeles del color de seguimiento.

2.2.- REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS DEL COLOR OBJETO DE SEGUIMIENTO Y OTROS COLORES DEL FONDO DE LA ESCENA

2.2.1.- Representar en el espacio RGB, con un rango de variación 0-255 en los tres ejes, todos los valores RGB de los píxeles del color de seguimiento y del fondo de la escena. En la representación, utilizar distintos colores para distinguir las dos clases consideradas: color de seguimiento, color/es de fondo.

2.3.- ELIMINACIÓN DE VALORES ATÍPICOS EN LOS DATOS DEL COLOR DE SEGUIMIENTO

2.3.1.- Eliminar valores atípicos o *outliers* en las muestras de X ***correspondientes a los píxeles del color de seguimiento***. Para ello, se eliminará una instancia completa de esta clase de salida (color de seguimiento) si el valor de cualquiera de sus atributos está fuera de su rango "normal" de variación. Este rango se definirá para cada atributo como [Q1-1.5*RI, Q3+1.5*(Q3-Q1], donde Q1 y Q3 son el primer y tercer cuartil de sus valores (ver figura).



2.3.2.- Generar el conjunto de datos final X e Y, sin *outliers* en la clase del color de seguimiento (las instancias anómalas eliminadas de X también han de eliminarse en Y).

Función a implementar:

```
posOutliers = funcion_detecta_outliers_clase_interes(X,Y,posClaseInteres)
```

- `X,Y: conjunto de datos entrada-salida`
- `posClaseInteres: posición del valor de codificación de la clase de interés en el vector de valores únicos ordenados de Y`
- `posOutliers: posiciones de los valores anómalos en el conjunto de datos`

2.3.3.- Representar en el espacio RGB todos los valores RGB de los píxeles del color de seguimiento y del fondo de la escena del conjunto de datos final, distinguiendo las muestras del color de seguimiento y las del fondo de la escena.

3.- DISEÑO Y ENTRENAMIENTO DE ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN DE PÍXELES EN DOS CLASES: PÍXEL DEL COLOR DE SEGUIMIENTO / PÍXEL QUE NO ES DEL COLOR DE SEGUIMIENTO

3.1.- ELECCIÓN DE ESTRATEGIA DE CLASIFICACIÓN

Objetivos al realizar el seguimiento del objeto. Diferentes posibilidades:

1.- No perder el objeto de seguimiento en sus diferentes posiciones, aunque esto suponga detectar fondo de la escena no deseado (ruido).

2.- No detectar nada de ruido de fondo, aunque esto suponga dejar de detectar algunos píxeles del color objeto de seguimiento.

3.- Compromiso en la detección de píxeles del objeto y el ruido de fondo: se debe intentar detectar el mayor número de píxeles del objeto, minimizando la cantidad de ruido.

Planteamiento:

Considerar que el color de seguimiento está compuesto por todos los puntos de una determinada región del espacio RGB. Para determinar esta región pueden utilizarse diferentes estrategias. Vamos a considerar que esta región estará delimitada por superficies esféricas, cuyos centros y radios habrá que determinar para que se ajusten y contengan las muestras disponibles del color de seguimiento.

Para ello, como paso previo, se debe aplicar el algoritmo de agrupamiento de datos que se facilita como documentación anexa. Este algoritmo permite dividir las muestras del color de seguimiento en un número de agrupaciones igual al número de esferas que se deseen emplear. Este planteamiento considera que un píxel descrito por sus componentes de color RGB que se encuentre contenido en una de las esferas anteriores, dada por un centro y un radio, es un píxel del color de seguimiento. Esto se puede evaluar verificando que la distancia Euclidea entre los valores RGB del píxel en cuestión y el del centro de cualquier esfera sea menor que el radio de ésta.

3.1.1.- Añadir a la representación del apartado 2.2.1 las superficies esféricas a las que hace referencia el planteamiento anterior. Para ello, se deben agrupar los datos disponibles para el color de seguimiento y, para cada agrupación de datos obtenida, se determinará el centro y radios posibles de las esferas asociadas a cada agrupación. Según el objetivo perseguido, los valores de radio de las esferas que pueden ser de interés pueden calcularse de la siguiente forma:

- Valores de radio para detectar el mayor número posible de píxeles del color objeto de seguimiento (objetivo número 1): para cada esfera, calcular todos los valores de distancia entre los valores (R, G, B) de los píxeles del color de la agrupación y su centro dado por el color medio (Rc, Gc, Bc). El valor de distancia máxima es el valor de radio de la esfera que contiene a todos los píxeles de la agrupación.
- Valores de radio para no detectar ruido de fondo (objetivo número 2): se debe seleccionar un valor de radio de las esferas que no contengan ruido de fondo, para lo cual habrá que medir la distancia de todos los puntos de fondo al centro de la esfera y comprobar que se sitúan fuera de esta.
- Valores de radio de compromiso en la detección de píxeles del objeto y ruido (objetivo número 3): pueden considerarse los valores de radio promedio de los valores obtenidos en los puntos anteriores.

Ayuda Matlab:

Representación de superficie esférica centrada en *(Rc, Gc, Bc)* de radio *Radio*

```
[R,G,B] = sphere(100);

% Matrices de puntos de una esfera centrada en el origen de radio
unidad

x = Radio*R(:)+Rc; y = Radio*G(:)+Gc; z = Radio*B(:)+Bc;
plot3(x,y,z, '.b')
```

Cálculo de la distancia Euclidea entre dos vectores columna *A* y *B*:

```
Distancia = sqrt (sum((A - B).^2)); % Distancia = sqrt ((A - B)'*(A - B));
```

Implementación de funciones:

- Función `calcula_datos_esfera`: recibe como entradas dos conjuntos de datos, uno con valores R-G-B de píxeles del color de interés (`XColor`) y otro con valores R-G-B de píxeles de otros colores (`XFondo`). La función devuelve un vector con 6 valores, los 3 primeros correspondientes al centroide de la nube de puntos del color de interés y los 3 últimos correspondientes a los valores de distancia respecto al centroide obtenidos con los 3 objetivos mencionados.

```
datosEsfera = calcula_datos_esfera(XColor, XFondo)
```

- Función `calcula_distancia_punto_a_nube_puntos`: recibe como entradas un punto `P` (vector columna) y una nube de puntos `NP` (cada columna un punto). La función devuelve un vector fila con las distancias de cada punto de la nube de puntos al punto `P`.

```
vector_distancia = calcula_distancia_punto_a_nube_puntos(P, NP)
```

- Función `representa_esfera`: recibe como entradas el centro (centroide, vector con 3 valores) y radio de la esfera a representar. La función representa con plot3 la esfera de ese centro y radio.

```
representa_esfera(centro, radio)
```

- Función `función_kmeans`: ver especificaciones en documentación anexa.

```
[idx, centroides] = funcion_kmeans(X, K)
```

3.2.- ENTRENAMIENTO DEL CLASIFICADOR: CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE SUS PARÁMETROS

Parámetros de calibración:

Umbrales de distancia Euclidea (radios de las superficies esféricas): el algoritmo de seguimiento calculará la distancia Euclidea de todos los píxeles de la imagen respecto a los centros de las superficies esféricas consideradas; considerará que los píxeles cuyas componentes de color se desvíen menos de una distancia umbral respecto al centro de cualquier esfera considerada, son de ese color. Hay que encontrar valores apropiados para estos umbrales de distancia.

Umbral de conectividad: el paso anterior decide valores adecuados de umbral de distancia y da lugar a una imagen binaria resultado de umbralizar medidas de distancia. A continuación, el algoritmo descartará aquellas componentes conectadas cuyo número de píxeles sea inferior a uno dado. Hay que ajustar este parámetro.

3.2.1.- Procedimiento de ajuste de umbrales de distancia: para cada una de las imágenes de calibración y varios valores posibles de umbrales de distancia (en el apartado 3.1.1 se han calculado 3 posibles valores con distintos criterios):

- Calcular matrices de distancias.
- Detectar aquellos píxeles cuyo color "se parezca" al color del seguimiento (binarizar la matriz distancia con los umbrales de distancia).
- Visualizar, sobre la imagen original, el resultado de la detección.
- Analizar las gráficas, crear nuevas con otros valores de umbrales si fuese necesario y decidir valores apropiados.

3.2.2.- Procedimiento de ajuste umbral de conectividad: para cada una de las imágenes de calibración y varios valores posibles de umbral de conectividad (en este caso es una referencia útil saber el número de píxeles que tiene el objeto de seguimiento en su posición más alejada, que es cuando tiene menor tamaño):

- Calcular las matrices de distancias y binarizarlas con los umbrales seleccionados.

- Eliminar las componentes conexas más pequeñas de acuerdo al umbral de conectividad.
- Visualizar sobre la imagen original el resultado de este proceso de filtrado.
- Analizar las gráficas, crear nuevas con otros valores de conectividad si fuese necesario y decidir un valor de umbral apropiado.

3.2.3.- Guardar en una variable matlab los parámetros de calibración: color medio de seguimiento, valores elegidos de umbral de distancia y conectividad.

Implementación de funciones:

- Función `calcula_deteccion_1esfera_en_imagen`: recibe como entradas una imagen RGB (`I`) y un vector con 4 valores correspondientes al centro y radio de una esfera (`centro_radio`). La función devuelve una matriz lógica de las mismas dimensiones que la imagen, donde el '1' binario se corresponde con los píxeles de la imagen cuyos valores RGB que se sitúan en el interior de la esfera en cuestión.

```
Ib = calcula_deteccion_1esfera_en_imagen(I, centro_radio)
```

- Función `calcula_deteccion_multiples_esferas_en_imagen`: recibe como entradas una imagen RGB (`I`) y una matriz con los datos de centros-radios de un número de esferas (`centroides_radios`), tantas filas como esferas y 4 columnas con los datos de centro y radio de cada una de ellas. La función devuelve una matriz lógica de las mismas dimensiones que la imagen, donde el '1' binario se corresponde con los píxeles de la imagen cuyos valores RGB que se sitúan en el interior de cualquiera de las esferas pasadas por parámetro. Esta función hace uso de la anterior (`calcula_deteccion_1esfera_en_imagen`).

```
Ib = calcula_deteccion_multiples_esferas_en_imagen(I, centroides_radios)
```

4.- IMPLEMENTACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE ALGORITMO DE SEGUIMIENTO

Para comprobar cómo se comporta el algoritmo de seguimiento, este se aplicará sobre el archivo de video generado. Atendiendo a la estrategia de funcionamiento elegida, el algoritmo debe:

- Cargar los parámetros de calibración.

- Leer la secuencia de video. Para cada *frame* de la misma:
  - Calcular matrices de distancias.
  - Detectar aquellos píxeles cuyo color se considere que sea del color del seguimiento.
  - Eliminar las componentes conexas más pequeñas.
  - Marcar el centroide de los objetos presentes (caja 3x3 de un color que la distinga).
  - Variantes:
    - Marcar el centroide del objeto mayor.
    - Marcar el centroide del objeto mayor de la detección dada por color según clasificador basado en esferas y movimiento (se considera un píxel en movimiento si la diferencia de intensidad en valor absoluto entre el valor del píxel en el frame actual y el anterior supera un umbral). En este caso, no utilizar la eliminación de componentes conectadas que no tengan un número mínimo de píxeles.
    - Marcar los píxeles de la detección en un determinado color, en lugar de los centroides.

- Generar la secuencia de video que muestre el seguimiento del objeto.

DOCUMENTACIÓN ANEXA

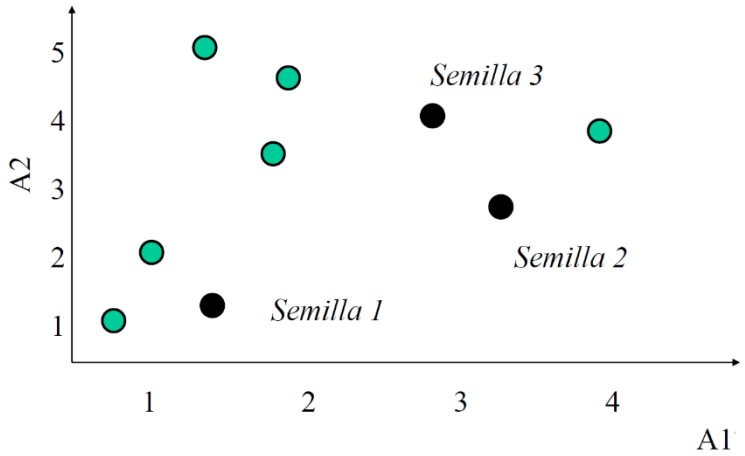
ALGORITMO DE AGRUPAMIENTO K-MEDIAS (K-MEANS)

Objetivo: dividir un conjunto de datos en *K* grupos o clases de mínima distancia (minimizando las distancias entre elementos dentro de cada grupo).

Observación: no está permitido utilizar la función de Matlab `kmeans`, se debe implementar la siguiente función de acuerdo a las siguientes indicaciones.

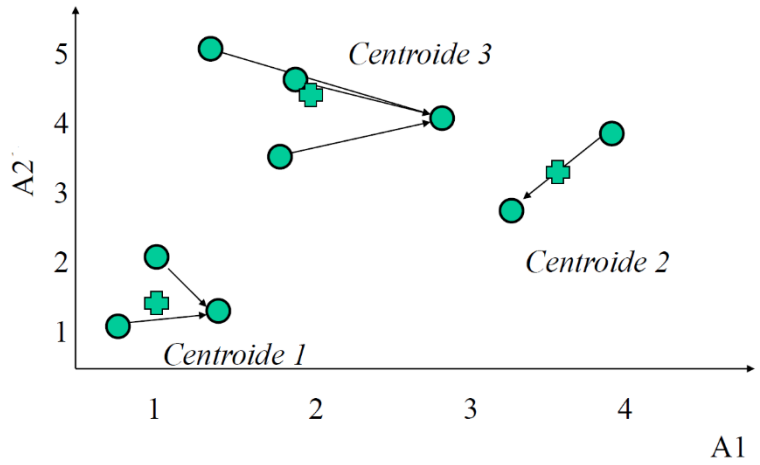
Planteamiento del algoritmo:

1. Se eligen *K* observaciones del conjunto de datos para que actúen como semillas. Estas semillas definen las *K* clases ($C_1, C_2, \dots, C_K$) en las que se pretenden agrupar los datos.

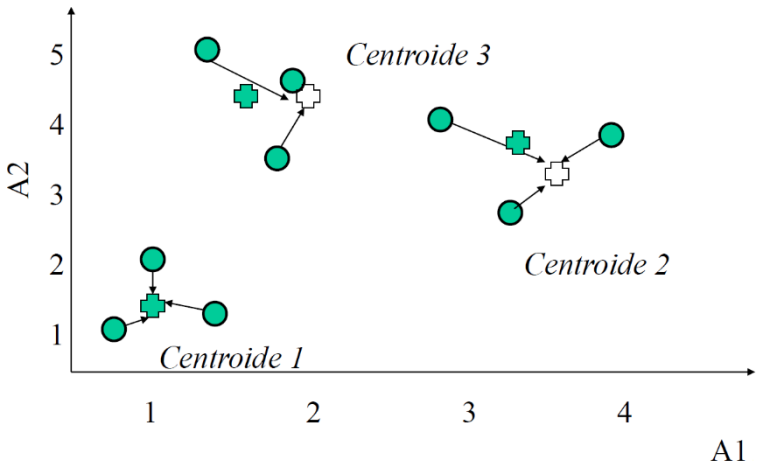


Inicio de inicio del algoritmo: se asume que cada muestra está descrita por dos atributos A1 y A2 (espacio de observaciones bidimensional definido por estos atributos)

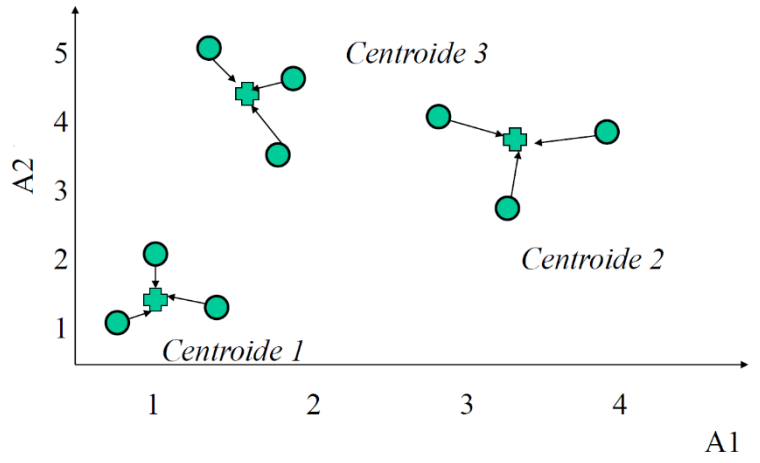
2. Cada observación del conjunto de datos se añade a la clase más similar (por ejemplo, la muestra se asocia a la clase que se encuentre más cerca en el espacio de observaciones).
3. Se calcula el centroide de cada clase resultante del punto anterior, que pasan a ser las nuevas semillas de las clases.
4. Se repiten los puntos 2 y 3 hasta que se llega a un criterio de convergencia (por ejemplo, dos iteraciones no cambian las clasificaciones de las muestras)



Ejemplo de primera iteración (pasos 2 y 3): cada muestra se asocia a la semilla que tiene más carca y se calculan los centroides de cada agrupación resultante.



Ejemplo de segunda iteración



Ejemplo de agrupamiento final

IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO DE AGRUPAMIENTO

```
[idx, centroides] = funcion_kmeans(X, K)
```

Sea un conjunto de datos compuesto por *n* instancias (observaciones, muestras, ejemplos) descritas por un vector de atributos *p*-dimensional:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \; ; \; idx = \begin{bmatrix} idx_1 \\ \vdots \\ idx_n \end{bmatrix} \; idx = \{1, 2, \dots, K\}$$

Entradas y salidas:

- `X`: matriz de `n` filas y `p` columnas; cada fila almacena los valores de los atributos de una determinada muestra (cada atributo se corresponde con una columna)
- *`K`*: número de agrupaciones o clases en las que queremos dividir los datos.
- `idx`: vector columna con tantas filas como observaciones haya en `X` (matriz `nx1`). Cada fila contiene la etiqueta asignada a la clase o agrupación a la que se asocia la muestra de la fila correspondiente de `X`. Los valores de estas etiquetas para identificar la clase son de 1 a *K* (números enteros).
- `centroides`: matriz de *`K`* filas (número de agrupaciones) y `p` columnas (número de atributos que describen las muestras). Contiene las coordenadas del centroide (en el espacio de observaciones definido por los atributos) de cada agrupación final que generada por el algoritmo.

PASOS (las funciones a las que se hace referencia están definidas a continuación en el apartado *funciones auxiliares*):

REALIZAR UN NÚMERO N DE VECES (establecer N = 5)

1. **Inicialización:**

   1.1. Establecer de forma aleatoria `K` puntos de `X`, que actuarán como centroides iniciales o semillas (para ello, se puede utilizar la función `randsample` de Matlab).

   1.2. Generar una primera agrupación de los datos, `idx_semilla`, mediante la función `funcion_calcula_agrupacion`, a partir de las semillas anteriores.

2. **Repetir iterativamente:**

   2.1.- Calcular la matriz `centroides` para la `idx` resultante de la iteración anterior (en la primera iteración, se toma la agrupación `idx_semilla`). Para ello utiliza la función `funcion_calcula_centroides`.

   2.2.- Calcula una nueva agrupación a partir de los centroides generados en el paso anterior, utilizando la función `funcion_calcula_agrupacion`.

   2.3. Compara la agrupación obtenida con la generada en la iteración anterior. Para ello utiliza la una función `funcion_compara_matrices`.

   2.4.- Salir si no hay cambios en las agrupaciones.

3. **Almacenar la última agrupación y centroides obtenidos, los cuales están asociados a la inicialización aleatoria realizada en el paso inicial del algoritmo.**

4. **Cuantificar la variación dentro de las agrupaciones (*within-cluster variation*), esto es, la inercia de la agrupación (para ello utilizar la función `funcion_calcula_inercia`):**

$$Inercia = \sum_{k=1}^{K} \left(\frac{1}{|C_k|} \sum_{i,j \in C_k} d^2(X_i, X_j) \right)$$

   donde `d` es una función distancia (Euclidea), $|C_k|$es el número de observaciones de la agrupación `k` (clase C_k), y X_i, X_j denotan las observaciones *i-ésima* , *j-ésima* de `X`

DEVOLVER `[idx, centroides]`, AGRUPACIÓN Y CENTROIDES ASOCIADOS A LA INICIALIZACIÓN CON INERCIA MÍNIMA

FUNCIONES AUXILIARES:

1. **Función calcula centroides de una determinada agrupación:**

```
centroides = funcion_calcula_centroides(X,idx)
```

Objetivo: calcular la matriz de centroides (ver definición en la descripción de los parámetros de entrada de la función principal) de los datos `X` agrupados según `idx`.

2. **Función calcula centroides de una determinada agrupación:**

```
idx = funcion_calcula_agrupacion (X, centroides)
```

Objetivo: genera la agrupación de los datos `X` de acuerdo a `centroides`. Para ello, se debe asignar cada muestra de `X` al centroide más próximo según distancia Euclidea.

3. **Función compara matrices:**

```
varLogica = funcion_compara_matrices (matriz1, matriz2)
```

donde `varLogica` toma el valor `True` si las matrices con iguales y `False` en caso contrario.

4. **Función calcula inercia:**

```
inercia = funcion_calcula_inercia (X,idx, K)
```

Objetivo: calcular la inercia (ver definición) de la agrupación en `K` clases, dada por `idx`, del conjunto de observaciones `X`.