



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,  
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

DETECCIÓN DE PUNTOS CARACTERÍSTICOS FACIALES  
MEDIANTE EL ALGORITMO SUSAN

Alumna: Yeawen Kuo Shih

Tutor: Rafael Cabeza Laguna

Pamplona, 17 de Febrero de 2011

**ÍNDICE**

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Objetivos del PFC</b>	<b>6</b>
<b>3. Creación de la Base de Datos (BBDD)</b>	<b>8</b>
3.1. Marcaje de los LabelsFace	9
3.2. Marcaje de los LabelsPoints	10
<b>4. Métodos de extracción de puntos característicos faciales</b>	<b>11</b>
4.1. Introducción al algoritmo SUSAN	11
4.2. Introducción a la proyección integral aplicada a la detección de puntos característicos	14
4.3. Método de Hess	16
4.4. Método de Wu	18
4.5. Método de Gu	19
4.6. Método de Kuo	21
4.7. Método de Valenti	24
<b>5. Presentación y Análisis de los resultados</b>	<b>27</b>
5.1. Parámetros	27
5.2. Análisis de los resultados	28
5.2.1. Estudio de las imágenes de la BBDD	28
5.2.1.1. Exactitud	28
5.2.1.2. Error	33
5.2.2. Estudio de las imágenes de la BBDD sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas	38
5.2.2.1. Exactitud	38
5.2.2.2. Error	42
5.2.3. Estudio de las distintas resoluciones	47

5.2.3.1.	Exactitud	48
5.2.3.2.	Error	49
5.2.4.	Estudio de las distintas resoluciones sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas	51
5.2.4.1.	Exactitud	51
5.2.4.2.	Error	52
5.2.5.	Estudio del método de Valenti	54
5.2.5.1.	Exactitud	54
5.2.5.2.	Error	54
5.2.6.	Estudio de la velocidad computacional	55
<b>6.</b>	<b>Problemas y Posibles Mejoras</b>	<b>57</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Los humanos podemos delimitar perfectamente y sin ningún esfuerzo componentes faciales como las cejas, los ojos, la nariz y la boca; extrayendo por ejemplo sus puntos extremos. Es una tarea que realizamos de manera rápida y sencilla, sin embargo, la extracción de puntos característicos faciales mediante ordenador ya no resulta tan sencillo, ya que las imágenes varían considerablemente dependiendo de la persona, y aún tratándose de la misma persona varía la expresión de la cara, la pose, la iluminación, los accesorios, etc.

Una de las utilidades más comunes de la extracción de puntos característicos faciales está en el área del reconocimiento facial, ya que éste tiene múltiples aplicaciones, como pueden ser los sistemas de seguridad (acceso de personal autorizado), identificación criminal, teleconferencia, aplicaciones interactivas humano-ordenador y humano-robot, reconocimiento de somnolencia al volante, publicidad y marketing (donde miran más los consumidores), etc.

El interés de monitorizar el reconocimiento facial ha sido motivado por la demanda cada vez mayor de identificar al individuo y los avances tecnológicos como la telefonía móvil, internet, cámaras digitales, webcams, etc.

Previa a la extracción de puntos característicos faciales se realiza la detección de la cara en una imagen y de ésta la detección de sus zonas más relevantes como pueden ser las cejas, los ojos, la nariz y la boca.

En general, el primer paso a la hora de extraer los puntos característicos se basa en un proceso de ‘grueso a fino’, es decir, quedarse únicamente con los bordes de la imagen para reducir la cantidad de información. Se suelen usar operadores como el de Sobel, Prewit, Canny, la transformada de Hough, o como en el caso de este PFC, el algoritmo SUSAN.

Entre los métodos que más relevancia tuvieron a principios de la década de los 90 y que sirvieron para desarrollos posteriores, es el propuesto por Brunelli y Poggio. Dichos investigadores han realizado métodos para el reconocimiento de rostros a partir de la obtención de características geométricas. Otro método muy utilizado hasta la fecha consiste en el uso de plantillas (máscaras), en el cual se configuran diversas plantillas de ciertas regiones del rostro como pueden ser los ojos, la nariz y la boca. La imagen a reconocer se compara a través de las plantillas con las imágenes de la base de datos y se obtiene un vector con las puntuaciones mediante procesos de correlación.

Hoy en día existen gran cantidad de técnicas de extracción de puntos característicos, entre los cuales podemos destacar el método biométrico, Active Shape Model (ASM) y el Análisis por Componentes Principales (PCA).

Un sistema biométrico es un sistema que realiza el reconocimiento de una persona por medio del reconocimiento de sus rasgos físicos o de comportamiento, que son únicos e irrepetibles en cada persona; es por eso que los sistemas de reconocimiento biométrico son muy usados en sistemas de seguridad, aunque también son muy usados en sistemas informáticos, en el área industrial, para el control de personal y de expedientes en oficinas, en seguridad y control de clientes en bancos, en el área de la salud como mecanismo de acceso a historias clínicas para el suministro de medicamentos, en aeropuertos para el control fronterizo de inmigrantes y pasaportes, y algunos gobiernos también los usan para identificación de votantes. El reconocimiento facial mediante el método biométrico tiene una aceptación muy alta, una fiabilidad alta y una estabilidad media.

El Active Shape Appearance es un método que detecta puntos por medio de una búsqueda acotada en modelos de formas globales, con aprendizaje estadístico de un conjunto de entrenamiento. Una forma es aquella información geométrica que cuando se ha quitado la escala, la posición y la rotación, sigue siendo la misma.

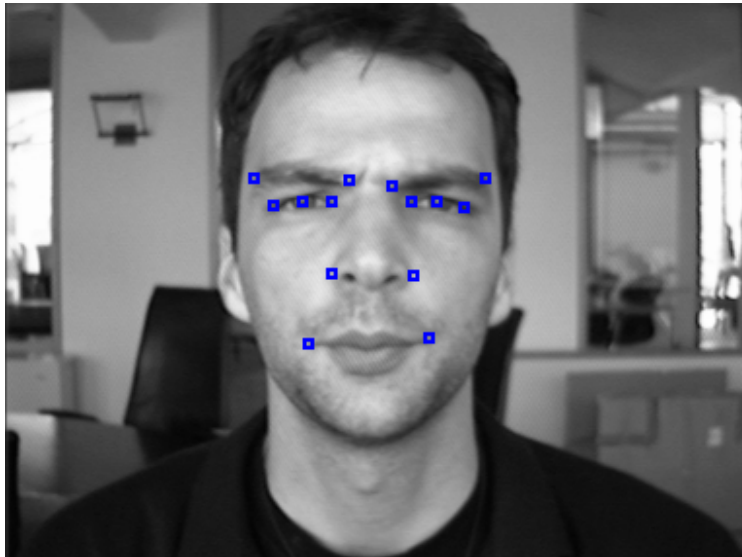
En la actualidad, los dos paquetes de software comercial más utilizados en el reconocimiento de rostros, utilizan la técnica de Análisis por Componentes Principales (PCA) o alguna derivación de ella. Asimismo, la gran mayoría de paquetes computacionales realizados en proyectos de investigación para reconocimiento e identificación de rostros, que utilizan otros métodos estadísticos (regresión, redes neuronales, análisis cluster, etc), comparten algo en común con el PCA, todos ellos utilizan cálculos y métricas que se llevan a cabo en un espacio denominado euclidiano.

El proceso de reconocimiento puede tardar desde milisegundos hasta pocos segundos dependiendo del tamaño de la imagen y del algoritmo implementado.

La motivación de este PFC viene alentada por el hecho de estudiar los parámetros que influyen a la hora de detectar correctamente o no los puntos característicos faciales.

## 2. OBJETIVOS DEL PFC

El objeto principal del PFC es la detección de 14 puntos característicos faciales, los cuales se muestran en la Figura 1 y son los puntos extremos (interior y exterior) de los ojos, el centro de las pupilas, los puntos extremos externos de la boca, las aletas de la nariz y los extremos de las cejas mediante el algoritmo SUSAN (Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus).



*Figura 1. Los 14 puntos característicos faciales.*

Para tener imágenes con las que trabajar se creará una base de datos (BBDD) con distintas imágenes de una misma persona. Se extraen 4 zonas características por imagen, que son las áreas que componen la ceja y ojo izquierdo, el de la ceja y ojo derecho, el de la nariz y el de la boca. Se trabajará sobre estas subimágenes extrayendo los puntos característicos.

Para la BBDD se toman imágenes variando diferentes características: la iluminación (tenue, intensa, lateral); la posición (de frente, de lado, hacia arriba, hacia abajo); la distancia (cercana, media, lejana); los gestos (serio, sonriente, enfadado, con los ojos cerrados, con la boca abierta, sacando la lengua); la resolución (320x240, 640x480, 800x600, 1280x800); el tipo de imagen (RGB, escala de grises); la edad; la raza y otras características como pueden ser la barba, el bigote, el flequillo y las gafas.

Una vez creada la BBDD se implementa un script que vaya recorriendo y anotando los 14 puntos característicos faciales y las posiciones de las zonas características de todas las imágenes de la BBDD. Los datos obtenidos para cada persona se guardan en archivos .txt diferentes. Es decir, para cada persona de la BBDD tenemos dos archivos, una contiene las posiciones de las zonas características y la otra los puntos característicos.

La obtención de las posiciones de las zonas características de la BBDD no se detalla en este PFC, es un estudio externo que se utiliza para el propósito de este PFC.

Respecto a la parte del PFC sobre la extracción de puntos característicos, se implementan una serie de scripts y funciones utilizando Matlab. Por una parte se implementan cuatro funciones que corresponden a cuatro métodos distintos de extracción de puntos característicos. Tres de estos métodos ya existen y simplemente se implementan, los cuales son el método de Hess, de Wu y de Gu. El cuarto es el que se propone en el presente PFC y lo denominamos método de Kuo. Por otra parte se implementan scripts y funciones que calculan distintos parámetros que se evaluarán posteriormente, como son el error cometido (distancia euclídea) entre puntos marcados y detectados normalizada respecto a una distancia de la imagen como puede ser la distancia inter-pupilar; determinar el número de falsos positivos (FP), falsos negativos (FN), verdaderos positivos (TP) y verdaderos negativos (TN) para el cálculo de la exactitud. Para los FP umbralizo la distancia con un valor relativo al tamaño de la imagen (por ejemplo la distancia inter-pupilar).

En ninguno de los cuatro métodos de extracción de puntos característicos mencionados se extrae los puntos que corresponden al centro de las pupilas, simplemente se etiquetan en la BBDD y se evalúan los resultados obtenidos del método de Valenti, el cual es un estudio externo a este PFC.

Cabe señalar que el método propuesto por este PFC, el método de Kuo, se implementa teniendo en cuenta que la imagen con la que va a trabajar está tomada frontalmente, a una distancia no muy lejana, con una iluminación más o menos uniforme y no muy tenue.

Por último, se implementa un script principal que vaya recorriendo todas las imágenes de la BBDD y mostrando los puntos marcados, los detectados y los realmente válidos de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

Como cada método extrae un número determinado de puntos característicos, no se evalúan todos los métodos para todos los puntos característicos.

Para los puntos extremos interior y exterior de los ojos se evalúan los métodos de Hess (sólo los exteriores), Wu, Gu y Kuo; para los extremos interior y exterior de las cejas los de Wu y Kuo; para el centro de las pupilas el de Valenti; para las aletas de la nariz y los extremos de la boca los cuatro métodos.

Con los resultados obtenidos, se evalúan y comparan entre sí los distintos métodos. También se hace un estudio sobre las velocidades computacionales de cada método.

### 3. CREACION DE LA BASE DE DATOS (BBDD)

Se implementa una base de datos (BBDD) con distintas imágenes por persona para poder evaluar la exactitud y el error cometido de los distintos métodos que componen el PFC.

Para la BBDD se toman imágenes variando diferentes características:

- Iluminación (tenue, intensa, lateral).
- Posición (de frente, de lado, hacia arriba, hacia abajo).
- Distancia (cercana, media, lejana).
- Gestos (serio, sonriente, enfadado, con los ojos cerrados, con la boca abierta, sacando la lengua).
- Resolución (320x240, 640x480, 800x600, 1280x800).
- Tipo de imagen (RGB, escala de grises).
- Edad
- Raza
- Otras características como pueden ser la barba, el bigote, el flequillo y las gafas.

En la Tabla 1 que se muestra a continuación se detalla el número de imágenes, la resolución, el formato y el tipo de imagen por persona de la BBDD.

Persona	Nº imágenes/persona	Resolución	Formato	Tipo de imagen
f01-f25	18	640x480	JPG	RGB
f26-f28, f32, f34, f47-f53	18	800x600	JPG	RGB
f29-f31, f33, f35-f46	18	1280x800	JPG	RGB
f54	113	320x240	JPG	En escala de grises
f55	60	320x240	JPG	En escala de grises
f56	2	320x240	JPG	En escala de grises
f57	59	320x240	JPG	En escala de grises
f58	78	320x240	JPG	En escala de grises
f59	87	320x240	JPG	En escala de grises
f60	98	320x240	JPG	En escala de grises
f61	90	320x240	JPG	En escala de grises
f62	61	320x240	JPG	En escala de grises
f63	71	320x240	JPG	En escala de grises
f64	106	320x240	JPG	En escala de grises



f65	99	320x240	JPG	En escala de grises
f66	150	320x240	JPG	En escala de grises
f67	94	320x240	JPG	En escala de grises
f68	51	320x240	JPG	En escala de grises
f69	35	320x240	JPG	En escala de grises
f70	40	320x240	JPG	En escala de grises
f71	40	320x240	JPG	En escala de grises
f72	6	320x240	JPG	En escala de grises
f73	46	320x240	JPG	En escala de grises
f74	50	320x240	JPG	En escala de grises
f75	51	320x240	JPG	En escala de grises
f76	25	320x240	JPG	En escala de grises

**Tabla 1. Características de las imágenes de la BBDD.**

La BBDD se compone de 76 carpetas, una por persona, dentro de las cuales se encuentran las distintas imágenes tomadas para cada persona. El número de imágenes totales de la BBDD es de 2466.

Las carpetas que van de la f54 hasta la f76 ambas incluidas, pertenecen a una BBDD alemana, la cual se ha descargado de internet para ampliar la BBDD del PFC.

No todas las imágenes de la BBDD son apropiadas para la detección de puntos característicos, como por ejemplo las imágenes muy lejanas u oscuras y poses giradas de la cara. Pero se toman imágenes de este tipo para saber hasta donde son buenos los métodos estudiados en el PFC.

La creación de la BBDD es un trabajo compartido que consta de dos partes, el marcaje de las zonas características (LabelsFace) por un lado y el de los puntos característicos (LabelsPoints) por el otro. La parte relacionada con el marcaje de zonas características es un estudio externo, con lo cual sólo se detalla la implementación de los scripts y funciones del marcaje de puntos característicos.

### **3.1. MARCAJE DE LOS LABELSFACE**

El marcaje de las zonas características es un estudio externo que se utiliza para el propósito de este PFC, porque a partir de éstas subimágenes se obtienen los puntos característicos faciales.

Se almacena en la carpeta LabelsFace cada fichero txt generado por cada persona con la siguiente denominación: LabelsFacefN siendo N=01,02...75,76 las distintas personas de la BBDD. El tamaño de cada txt es el número de imágenes de cada persona por 20 (posición en el eje X e Y de los 2 puntos que delimitan las 5 zonas características faciales) y se almacenan en el orden que se muestra en la Tabla 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Esquina superior izquierda		Esquina inferior derecha		Esquina superior izquierda		Esquina inferior derecha		Esquina superior izquierda		Esquina inferior derecha	
Cara				Ceja y ojo izquierdo				Ceja y ojo derecho			

13	14	15	16	17	18	19	20
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Esquina superior izquierda		Esquina inferior derecha		Esquina superior izquierda		Esquina inferior derecha	
Nariz				Boca			

**Tabla 2. Posición de las zonas características en el fichero LabelsFacefN.txt.**

### 3.2. MARCAJE DE LOS LABELPOINTS

Se implementa un script que marca los 14 puntos característicos faciales de todas las imágenes de cada persona que compone la BBDD.

Se almacena en la carpeta LabelsPoints cada fichero txt generado por cada persona con la siguiente denominación: LabelsPointsfN siendo N=01,02...75,76 las distintas personas de la BBDD. El tamaño de cada txt es el número de imágenes de cada persona por 28 (posición en el eje X e Y de los 14 puntos característicos) y se almacenan en el orden que se muestra en la Tabla 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Pto externo		Pto interno		Pto externo		Pto interno		Pto externo		Pupila		Pto interno	
Ceja izquierda				Ceja derecha				Ojo izquierdo					

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Pto externo		Pupila		Pto interno		Aleta izquierda		Aleta derecha		Pto izquierdo		Pto derecho	
Ojo derecho				Nariz				Boca					

**Tabla 3. Posición de los 14 puntos característicos en el fichero LabelsPointsfN.txt.**

Para el marcaje de los 14 puntos característicos se marcan 15 puntos, el primero de ellos es la esquina inferior derecha de la imagen y se usa para los puntos ocultos. El resto de los puntos son los 14 puntos característicos y si algún punto facial está oculto se marca de nuevo esa misma esquina. A continuación, se buscan los puntos con un valor similar al primer punto y se hacen NAN

## 4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PUNTOS CARACTERÍSTICOS FACIALES

En el presente PFC, se implementan tres métodos de extracción de puntos característicos faciales ya existentes y se propone un nuevo método. Los métodos que se implementan son el método Mauricio Hess de la Universidad de Costa Rica, el de Haiyuan Wu de la Universidad de Japón y el de Hua Gu de la Universidad de Beijing. De aquí en adelante nos referimos a ellos como el método de Hess, el método de Wu y el método de Gu; y al propuesto como método de Kuo.

Para la extracción del centro de las pupilas se utiliza el método de Roberto Valenti de la Universidad de Amsterdam, el cual es un estudio externo a este PFC.

No se detallará la obtención de las zonas características de las cejas y ojos, nariz y boca porque no concierne a este proyecto. Partimos directamente de éstas subimágenes obtenidas en la BBDD. Por esta razón, se realizan ligeros cambios en los métodos con el fin de conseguir los mejores resultados posibles.

Lo que sí cabe resaltar es que en la BBDD están etiquetadas aparte de la cara cuatro zonas características, que son la ceja y ojo izquierdo, la ceja y ojo derecho, la nariz y la boca. Con el fin de obtener imágenes de las cejas por un lado y de los ojos por el otro, se divide nuevamente las imágenes que contienen la ceja y el ojo en la proporción de  $9/20$  la altura de la imagen para la zona de la ceja y  $11/20$  para la del ojo.

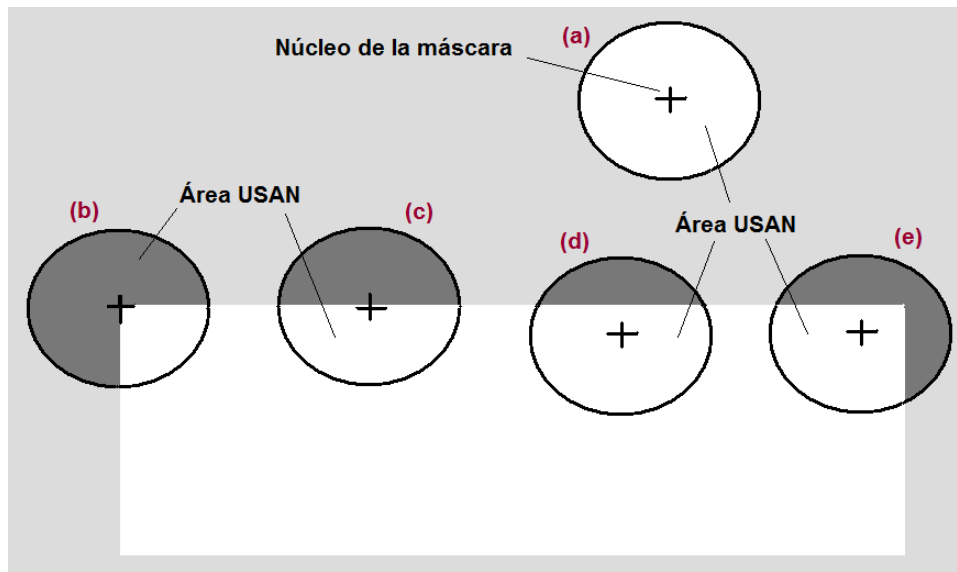
Como todos los métodos de reconocimiento facial que componen este PFC se basan en el algoritmo SUSAN, a continuación se explica en qué consiste y sus principios básicos.

También se explica el principio de la proyección integral.

### 4.1. INTRODUCCIÓN AL ALGORITMO SUSAN

El algoritmo SUSAN (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) es una nueva aproximación para el procesamiento de imágenes de bajo nivel, en particular para la detección de bordes y esquinas. Además está integrado con un método de reducción de ruido.

El principio básico de SUSAN es que cada punto de la imagen tiene asociado un área local con una luminosidad similar.

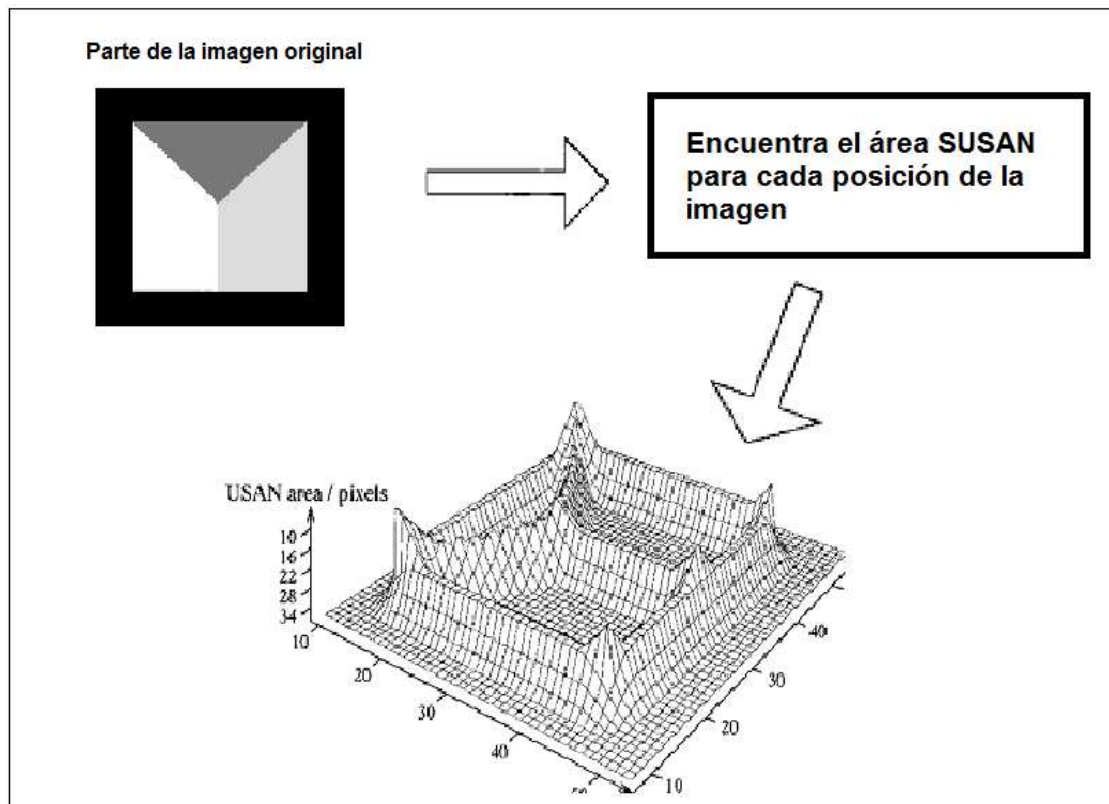


*Figura 2. Máscaras circulares en distintas posiciones de la imagen.*

La figura 2 muestra un rectángulo negro sobre un fondo blanco con cinco máscaras circulares en diferentes posiciones de la imagen. La luminosidad de cada pixel dentro de la máscara se compara con la luminosidad del núcleo de la máscara (centro de la máscara), cuyo tamaño es de 1 pixel. Se define el USAN (Univalue Segment Assimilating Nucleus) como el área de la máscara que tiene la misma luminosidad que el núcleo. En la figura 2 observamos que las áreas USAN de cada máscara dependiendo de su localización en la imagen.

El área USAN es máxima cuando el núcleo se encuentra en una región lisa de la superficie de la imagen (Figura 2a), es la mitad del máximo muy cerca de un borde recto (Figura 2c) y es menos de la mitad del máximo en una esquina (Figura 2e).

Ésta propiedad del área USAN es la que determina principalmente la presencia de bordes y características de dos dimensiones.



**Figura 3.** Gráfica tridimensional del área USAN de la parte de una imagen, mostrando el realce de los bordes y esquinas.

En la figura 3 vemos la salida en tres dimensiones del área USAN de una pequeña parte de una imagen. Cada punto (pixel) de la imagen de entrada es usado como núcleo de una pequeña máscara circular, obteniendo así su área USAN asociada. Observamos que en las esquinas se encuentran los mínimos.

La máscara que se usa por defecto en todos los experimentos de extracción de características es de 37 píxeles. Ésta máscara se sitúa en cada píxel de la imagen y se comparan las luminosidades de todos los píxeles dentro de la máscara con la del núcleo mediante la siguiente fórmula:

$$c(\vec{r}, \vec{r}_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)| \leq t \\ 0 & \text{if } |I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)| > t \end{cases}$$

*Ecuación 1*

Siendo  $r_0$  la posición del núcleo,  $r$  la posición de cualquier punto dentro de la máscara,  $I(r_0)$  la luminosidad del núcleo,  $I(r)$  la luminosidad de cualquier píxel,  $t$  es la diferencia de umbral de luminosidad y  $c$  la salida de la comparación, que es 1 cuando la diferencia de luminosidad entre el píxel dentro de la máscara y el núcleo no supera un umbral  $t$ .

El parámetro  $t$  determina el contraste mínimo de características que serán detectadas y también la cantidad de ruido que será ignorado. Es decir, variando el parámetro  $t$  variamos la sensibilidad en la detección de puntos en la manera de que si se disminuye se aumenta la sensibilidad y por lo tanto se detectan más puntos.

La comparación se realiza para cada píxel dentro de la máscara, y sumando todos se obtiene  $n$ , que es el número de píxeles totales del área USAN.

$$n(\vec{r}_0) = \sum_{\vec{r}} c(\vec{r}, \vec{r}_0)$$

Ecuación 2

El parámetro  $n$  es comparado con un umbral fijo  $g$  (umbral geométrico) que está fijado en  $3/4$  el valor máximo que puede tomar  $n$ .

La respuesta de bordes inicial  $R(r_0)$  se crea mediante la siguiente fórmula:

$$R(\vec{r}_0) = \begin{cases} g - n(\vec{r}_0) & \text{if } n(\vec{r}_0) < g \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 3

Cuanto menor es el área USAN, mayor es la respuesta de bordes.

En vez de la ecuación 1 se utiliza una versión suavizada de ella, que se muestra a continuación:

$$c(\vec{r}, \vec{r}_0) = e^{-\left(\frac{I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)}{t}\right)^6}$$

Ecuación 4

Ésta ecuación permite que las luminosidades de los píxeles varíen levemente sin un gran efecto en el parámetro  $c$ .

El detector SUSAN ha resultado ser mejor que otros detectores, como por ejemplo el operador de Canny y opera eficientemente en presencia de ruido.

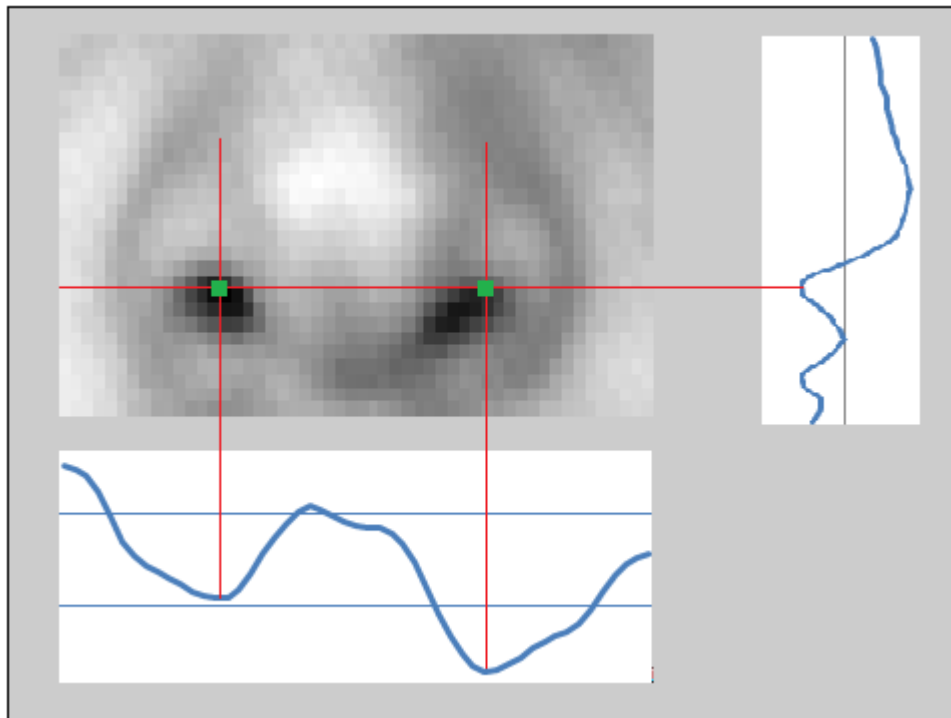
## 4.2. INTRODUCCIÓN A LA PROYECCIÓN INTEGRAL APLICADA A LA DETECCIÓN DE PUNTOS CARACTERÍSTICOS

La proyección integral es un método muy sencillo y de gran uso a la hora de detectar zonas y puntos característicos faciales. Éste método consiste en aplicar proyecciones horizontales y verticales de luminancia a una imagen y localizar sus valles mínimos o máximos dependiendo de la aplicación deseada, que en nuestro caso de detección de puntos característicos será la localización de sus valles mínimos.

La proyección vertical de luminancia consiste en ir sumando las luminosidades que componen cada fila de una imagen hasta obtener una luminosidad media por fila. De esas luminosidades buscamos el que tenga menor valor.

La proyección horizontal de luminancia es similar a la vertical, pero en este caso sumamos las luminosidades de cada columna obteniendo una luminosidad media por columna. Y de la misma manera localizamos el valle mínimo.

En la Figura 4 podemos ver un ejemplo de aplicación de proyección integral vertical y horizontal a una nariz. El valle mínimo de la proyección vertical nos da la posición en el eje y de los orificios de la nariz y los de la proyección horizontal el eje x. Así obtenemos las posiciones de los orificios de la nariz.



**Figura 4. Proyección integral de luminancia para detectar los orificios de la nariz.**

A continuación se muestra en la Figura 5 un ejemplo numérico de proyección integral para una imagen de 5x8 píxeles.

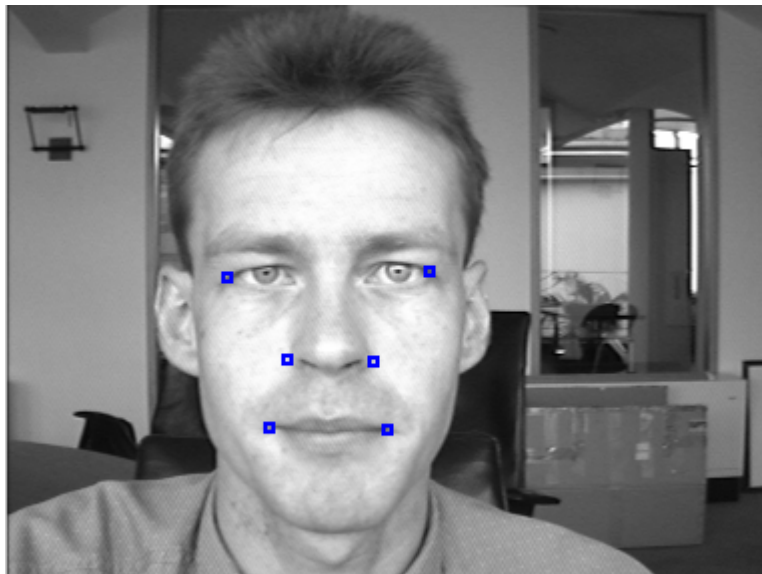
3	5	7	4	8	3	9	2	41
4	5	5	7	2	8	7	5	43
6	5	3	5	1	2	1	4	27
3	4	6	7	2	6	4	7	39
8	2	3	7	5	7	2	5	39
24	21	24	30	18	26	23	23	

**Figura 5. Ejemplo sencillo de proyección integral.**

### 4.3. MÉTODO DE HESS

El método de Hess aplica detección de bordes y esquinas a cada zona característica facial mediante el algoritmo SUSAN y extrae los puntos característicos aplicando reglas basadas en el conocimiento.

Éste método extrae de 4 zonas de la cara ( $I^*$ ) (ojo izquierdo, ojo derecho, nariz y boca) 6 puntos característicos faciales (extremos externos de los ojos, aletas de la nariz y extremos de la boca), como se muestra en la Figura 6.



*Figura 6. Puntos característicos obtenidos mediante Hess.*

Se aplica un ajuste del contraste a las subimágenes de las zonas características ( $2^*$ ).

Como la extracción del punto derecho correcto de la boca es similar al izquierdo, sólo se describe este último.

Para extraer el punto izquierdo correcto de la boca se siguen los siguientes pasos:

- La imagen de la boca se divide en dos verticalmente y se le aplica el algoritmo de extracción de esquinas SUSAN a la subimagen izquierda de la boca con un umbral fijado por Hess de  $t=22$ . Normalmente devuelve más de un punto, a los que llamamos candidatos del punto izquierdo de la boca.
- El candidato es eliminado si la cantidad de columnas entre él y la columna  $m$  (centro) es mayor que el 35% de la anchura de la boca.
- De los candidatos que quedan se eliminan aquellos cuya concentración de bordes a su derecha sea menor que a su izquierda (aplicando la extracción de bordes SUSAN con un umbral fijado por Hess de  $t=15$ ).
- El punto izquierdo correcto de la boca es aquel que está más a la izquierda de la columna  $m$ .

Como la extracción de la esquina externa correcta del ojo derecho es similar al izquierdo, sólo se describe este último.



Para extraer la esquina externa correcta del ojo izquierdo se siguen los siguientes pasos:

- Se aplica el algoritmo de extracción de esquinas SUSAN a la imagen del ojo izquierdo con un umbral fijado por Hess de  $t=22$ . Normalmente devuelve más de un punto, a los que llamamos candidatos de la esquina externa del ojo izquierdo.
- Eliminamos los candidatos cuya concentración de bordes a su derecha sea menor que a su izquierda (aplicando la extracción de bordes SUSAN con un umbral fijado por Hess de  $t=21$ ).
- Empezando por el lado derecho hacia la izquierda, medimos las distancias entre el candidato y cada uno de los candidatos a su derecha. El candidato es eliminado si todas las distancias medidas son mayores que  $1/5$  de la anchura de la imagen del ojo izquierdo.
- Medimos la distancia entre el centro del párpado inferior (candidato cuya posición es la más pequeña dentro de la región) y cada candidato que esté por encima y a su izquierda. La esquina externa correcta del ojo izquierdo es aquel candidato que está más a la izquierda y cuya distancia no es mayor que  $1/3$  de la anchura de la boca.

Como la extracción de la esquina externa correcta de la nariz derecha es similar a la izquierda, sólo se describe este último.

Para extraer la esquina externa correcta de la nariz izquierda se siguen los siguientes pasos:

- Se aplica el algoritmo de extracción de esquinas SUSAN a la imagen de la nariz con un umbral fijado por Hess de  $t=9$ . Normalmente devuelve más de un punto, a los que llamamos candidatos de la esquina externa de la nariz.
- Medimos la distancia entre el candidato y el resto de candidatos. El candidato es eliminado si todas las distancias son mayores que  $1/5$  ( $3^*$ ) de la anchura de la nariz.
- Medimos la distancia entre el candidato que está más a la izquierda con cada candidato que esté por debajo suyo. La esquina izquierda correcta de la nariz es el que está más a la derecha y cuya distancia no es mayor que  $1/8$  ( $4^*$ ) de la anchura de la nariz.

Los asteriscos entre paréntesis indican pasos y distancias modificadas ligeramente debido a que las imágenes sobre las que se trabaja (BBDD) no son de las mismas proporciones que si se hubiesen obtenido mediante éste método.

*(1) El método original de Hess extrae sus puntos característicos de cuatro zonas de la cara que se componen de la ceja y ojo izquierdo, la ceja y ojo derecho, la nariz y la boca. De esta manera el error cometido en los extremos externos de los ojos es muy grande porque detecta los extremos externos de las cejas antes que la de los ojos. Por ese motivo se delimita la zona de los ojos, eliminando la parte de la ceja.*

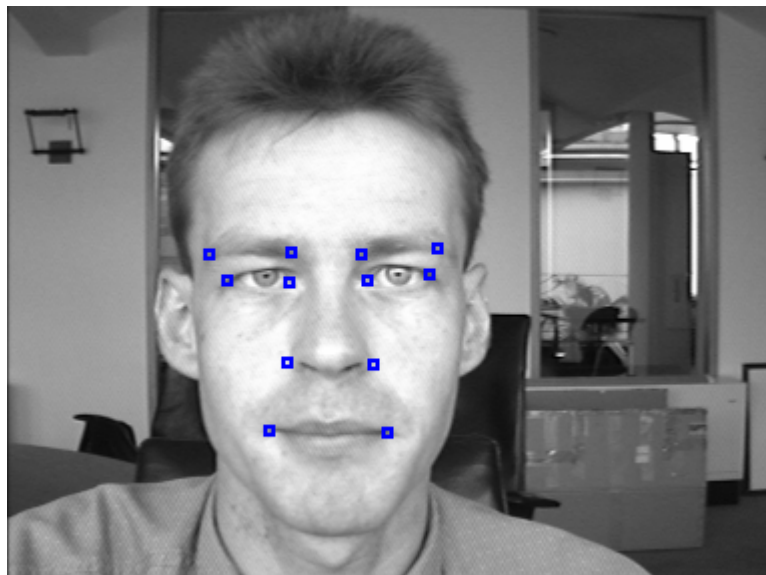
*(2) Los resultados obtenidos aplicando un previo ajuste del contraste mejoran considerablemente.*

(3) y (4) La distancia original es de 1/4 y 1/6 respectivamente. Se han modificado éstas a 1/5 y 1/8 respectivamente consiguiendo una reducción en el error cometido.

#### 4.4. MÉTODO DE WU

El método de Wu extrae los puntos característicos faciales aplicando el detector de esquinas SUSAN a cada zona característica con un umbral fijo, previo ajuste del contraste de la imagen.

El método de Wu extrae de 6 zonas de la cara (ceja izquierda, ojo izquierdo, ceja derecha, ojo derecho, nariz y boca) 12 puntos característicos faciales (extremos externos e internos de las cejas, extremos externos e internos de los ojos, aletas de la nariz y extremos de la boca), como se muestra en la Figura 7.



*Figura 7. Puntos característicos obtenidos mediante Wu.*

El umbral óptimo del algoritmo de SUSAN suele diferir de una imagen de entrada a otra debido a las diferentes condiciones de iluminación. Para fijar un valor de umbral se ajusta el contraste de la imagen de entrada según la siguiente ecuación:

$$x' = A(x-a)/(b-a)$$

siendo  $x$  la iluminación de la imagen original,  $x'$  la iluminación de la imagen ajustada,  $a$  y  $b$  el mínimo y máximo valor de iluminación de la región respectivamente.  $A$  es el rango dinámico de la imagen ( $A=255$ ).

Se aplica el operador SUSAN a cada zona característica de la cara con un umbral de  $t=14$  si se trata de las cejas,  $t=20$  para los ojos,  $t=17$  para la nariz y  $t=23$  para la boca.

Los puntos característicos son los puntos que se encuentran más a la izquierda y más a la derecha de los candidatos.

(1) El método original de Wu fija unos umbrales de  $t=20$  para las cejas,  $t=24$  para los ojos,  $t=25$  para la nariz y  $t=23$  para la boca. Se han modificado todos los umbrales excepto el de la boca con el criterio de buscar la mayor exactitud posible con el menor error cometido.

#### 4.5. MÉTODO DE GU

Gu propone un método basado en las características visuales humanas, usando la geometría y la simetría de la cara para extraer los puntos característicos faciales con invariancia de escala, translación y rotación. Éste método no necesita normalizar las imágenes al mismo tamaño antes del procesado. Gu utiliza el operador SUSAN para extraer los bordes y esquinas de los puntos característicos faciales.

El método de Gu extrae de 4 zonas de la cara (ojo izquierdo, ojo derecho, nariz y boca) 8 puntos característicos faciales ( $I^*$ ) (extremos externos e internos de los ojos, aletas de la nariz y extremos de la boca), como se muestra en la Figura 8.

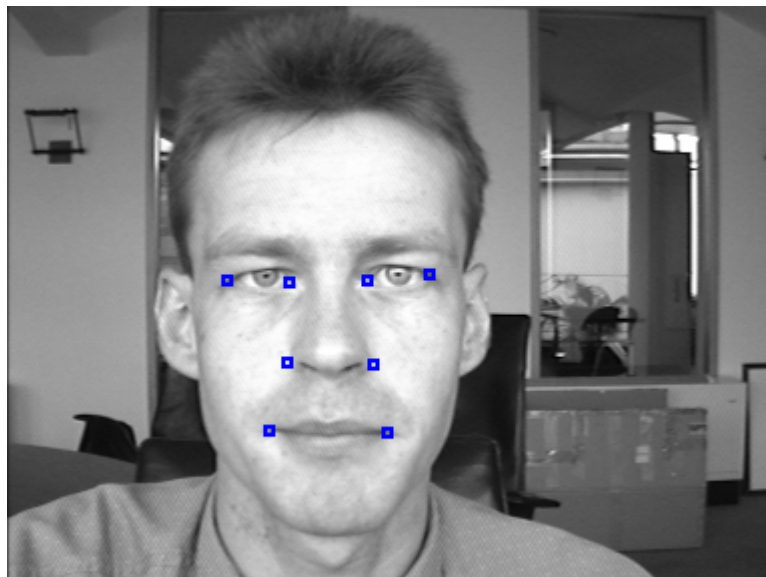


Figura 8. Puntos característicos obtenidos mediante Gu.

Para obtener los extremos internos y externos de los ojos se siguen los siguientes pasos:

- Para obtener imágenes binarias de los ojos se usa umbral adaptativo basado en la media, con un tamaño de ventana de 15 y un umbral de 0,05.
- Se aplica el algoritmo de extracción de bordes y esquinas SUSAN mediante un proceso iterativo con umbral inicial  $t=30$  que va disminuyendo en uno si no encuentra puntos hasta el límite de  $t=0$  ( $2^*$ ).

- A los puntos obtenidos mediante el detector de esquinas SUSAN se le pasa la máscara obtenida del detector de bordes SUSAN con  $t=22$ .
- Los puntos extremos correctos de los ojos son aquellos que se encuentran más a la izquierda y a la derecha de los candidatos.

Para obtener los puntos que corresponden a las aletas de la nariz se siguen los siguientes pasos:

- Se delimita la imagen de la nariz en un 40% por la parte superior y en un 10% la inferior (3\*).
- Se ajusta el contraste de la imagen (4\*).
- Se aplica proyección integral vertical de luminancia.
- Se divide la imagen verticalmente en dos y se aplica proyección integral horizontal de luminancia a cada subimagen (5\*).
- Se busca el valor mínimo de la proyección vertical para obtener la altura de la nariz.
- Se busca el valor mínimo de la proyección horizontal de cada parte de la imagen para obtener la posición en el eje X de los agujeros de la nariz.

Para obtener los puntos extremos de la boca se siguen los siguientes pasos:

- Se ajusta el contraste de la imagen (6\*).
- Se aplica el algoritmo de extracción de bordes y esquinas SUSAN mediante un proceso iterativo con umbral inicial  $t=30$  que va disminuyendo en uno si no encuentra puntos hasta el límite de  $t=0$  (2\*).
- A los puntos obtenidos mediante el detector de esquinas SUSAN se le pasa la máscara obtenida del detector de bordes SUSAN con  $t=14$ .
- Los puntos extremos correctos de la boca son aquellos que se encuentran más a la izquierda y a la derecha de los candidatos.

(1\*) *El método original de Gu extrae 9 puntos característicos faciales (extremos internos y externos de los ojos, centro de las pupilas, punto medio de los orificios de la nariz y los extremos de la boca). Los pequeños cambios que se proponen son que no se extraen las pupilas porque no concierne a este PFC y se extraen los orificios de la nariz en vez del punto medio por motivos de poder analizar y comparar los resultados con los demás métodos.*

(2\*) y (7\*) *En vez de utilizar el operador de bordes y esquinas SUSAN directamente con un umbral de  $t=27$ , se propone un proceso iterativo con umbral inicial  $t=30$  que va disminuyendo en uno si no encuentra puntos hasta el límite de  $t=0$  porque se consigue una mayor exactitud.*

(3\*) *Originalmente el método de Gu no delimita la parte superior e inferior de la nariz. Pero para evitar parte de los ojos, gafas y bigote en caso que hubiese, se delimita la parte superior e inferior.*

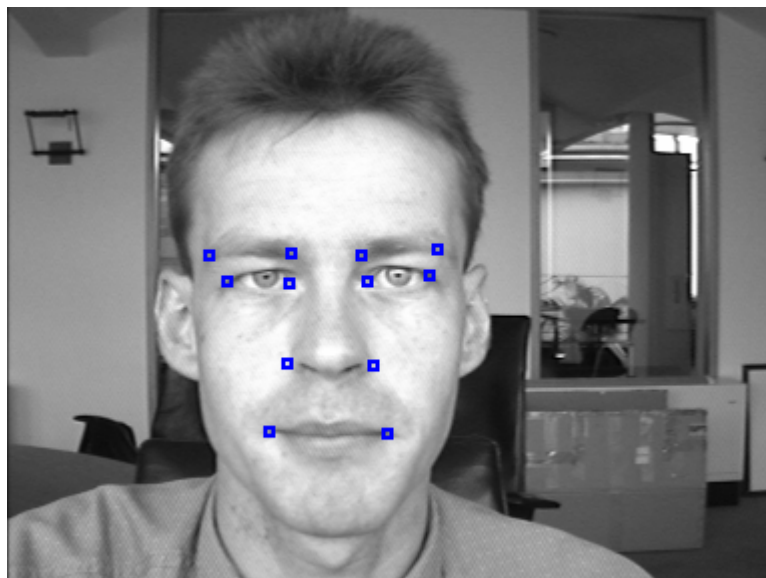
(4\*) y (6\*) Se aplica un ajuste del contraste de la imagen para obtener un mejor resultado.

(5\*) El método original de Gu no hace una división verticalmente en dos de la imagen de la nariz. Se ha propuesto esta división porque los resultados obtenidos no eran los esperados debido a que localizaba los dos mínimos horizontales en el mismo orificio. Si en un píxel del agujero hay un mínimo es muy probable que en un píxel vecino se pueda encontrar el otro mínimo. Este problema se acentúa si existe una iluminación no uniforme en la imagen. Dividiendo la imagen en dos se soluciona este problema.

#### 4.6. MÉTODO DE KUO

El método de Kuo es el método propuesto por este PFC. Está implementado para detectar puntos característicos de caras frontales, con una distancia no muy lejana y con una iluminación no excesivamente oscura. Al igual que los métodos de Hess, Wu y Gu, éste está basado en el algoritmo SUSAN.

Este método extrae de 6 zonas de la cara (ceja izquierda, ojo izquierdo, ceja derecha, ojo derecho, nariz y boca) 12 puntos característicos faciales (extremos externos e internos de las cejas, extremos externos e internos de los ojos, aletas de la nariz y extremos de la boca), como se muestra en la Figura 9.



*Figura 9. Puntos característicos obtenidos mediante Kuo.*

Para las zonas características de las cejas, ojos y boca se divide la imagen verticalmente en tres partes iguales mientras que para la nariz se trabaja con la imagen entera.

A estas subimágenes o imagen si se trata de la nariz se aplica un ajuste del contraste y se fija como umbral inicial  $t=30$  si se trata de las cejas y los ojos,  $t=12$  para

la nariz y  $t=23$  para la boca. Se aplica el detector de esquinas SUSAN y si no devuelve ningún punto se repite el proceso disminuyendo en uno el umbral hasta que se obtengan puntos o se llegue a  $t=0$ , que será el caso en que no devuelva ningún punto.

Como no todas las imágenes tienen la misma iluminación tampoco necesitan el mismo umbral para detectar puntos, por ejemplo las imágenes oscuras necesitan un umbral más bajo que las que tienen mayor iluminación porque disminuir el umbral significa aumentar la sensibilidad. Por eso se propone un método iterativo de detección de puntos que comience con un umbral alto y vaya disminuyendo.

Si a la salida de este bucle no se obtienen puntos, se realiza el mismo proceso iterativo pero en vez de a cada subimagen, a la imagen completa con un umbral  $t=30$ .

Se crean unas máscaras del mismo tamaño que la imagen ( $t_1 \times t_2$  píxeles) y se le pasan a la imagen para quedarse únicamente con aquellos puntos que realmente pueden ser los correctos candidatos y desechar el resto. A continuación se muestran en las Figuras 10, 11, 12 y 13 las máscaras que se crean para las distintas zonas características.

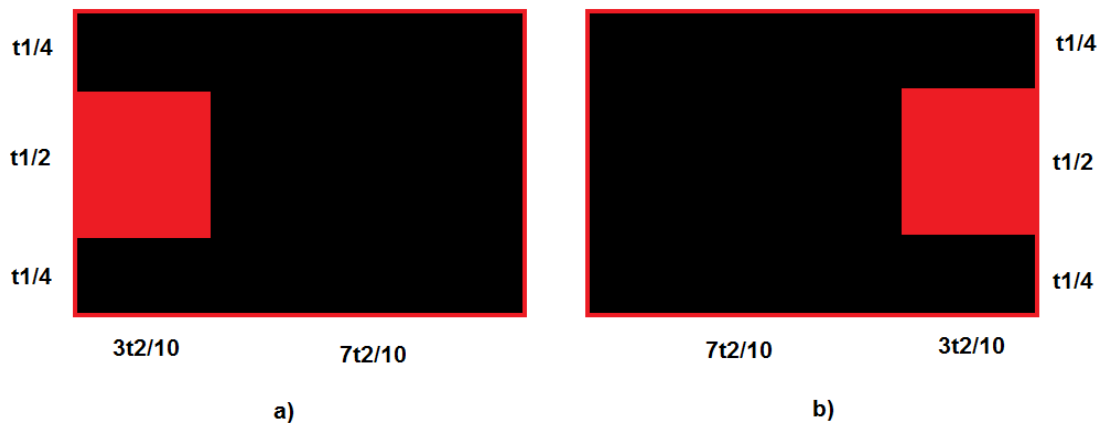


Figura 10. a) Máscara para el punto izquierdo de la ceja. b) Máscara para el punto derecho de la ceja.

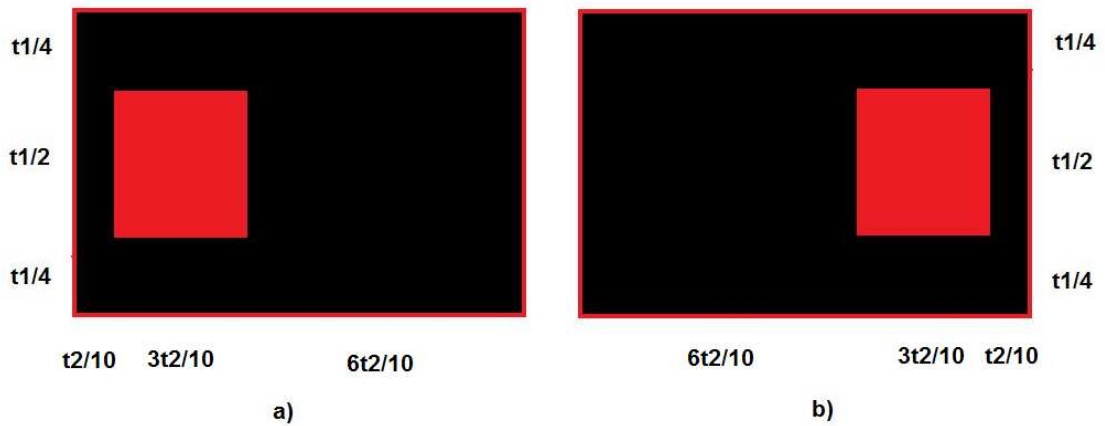


Figura 11. a) Máscara para el punto izquierdo del ojo. b) Máscara para el punto derecho del ojo.

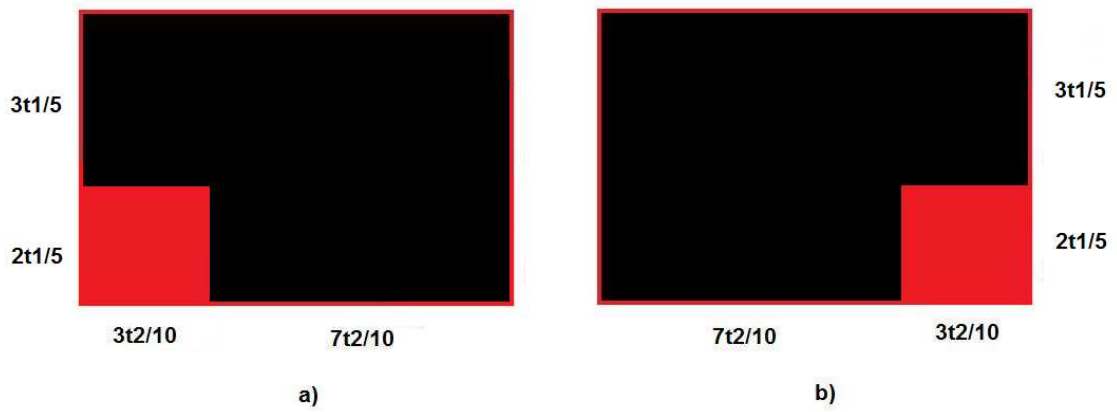


Figura 12. a) Máscara para la aleta izquierda de la nariz. b) Máscara para la aleta derecha de la nariz.



Figura 13. a) Máscara para el punto izquierdo de la boca. b) Máscara para el punto derecho de la boca.



Como se puede apreciar en las máscaras, este método puede soportar una ligera rotación de la cara frontal, pero no soporta altos ángulos de rotación debido a que los puntos característicos quedarían fuera de las máscaras.

Finalmente, se selecciona el punto que está más a la izquierda de los candidatos devueltos por la máscara izquierda como el correcto punto característico izquierdo y el punto que está más a la derecha de la máscara derecha como el correcto punto característico derecho.

Este método es robusto en cuanto a los FP porque si no hay candidatos que cumplan la condición de encontrarse en las áreas de las máscaras, no se devuelve ningún punto.

#### **4.7. MÉTODO DE VALENTI**

El método de Valenti es un estudio externo a este PFC que se aplica únicamente para su evaluación, por lo que se hace una breve explicación a continuación.

Roberto Valenti propone un método para localizar y hacer un seguimiento del centro de las pupilas usando una simple cámara web basada en curvas 'isophotes' para ganar invariancia a cambios lineales en la iluminación, invariancia rotacional y mantener unos costes computacionales bajos.

Para conseguir éste objetivo Valenti hace las siguientes contribuciones:

1. La localización de las pupilas está basada en la observación de que los ojos están caracterizados por patrones radiales simétricos de luminosidad. Por eso éste método utiliza curvas 'isophotes' para deducir el centro de los patrones (semi)circulares.
2. Un mecanismo de votación del centro es la clave de un resultado exitoso. Se usa para incrementar y dar mayor importancia a algunos votos frente al resto y reforzar la estimación de los centros.

Las 'isophotes' de una imagen son curvas que conectan puntos con una misma intensidad. Mientras que una 'isophote' no intersecte con otra, una imagen puede ser totalmente descrita por sus 'isophotes'. Además, la forma de las 'isophotes' es independiente a cambios lineales de iluminación y rotación. Debido a estas propiedades, las 'isophotes' han sido exitosamente usadas como características en detección de objetos y segmentación de imágenes.



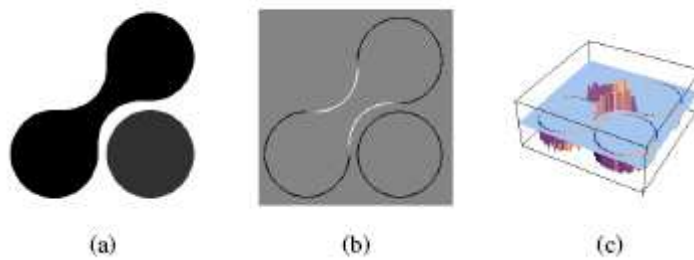


Figura 14. a) Imagen original. b) Curvatura del 'isophote' en los bordes. c) Representación en 3D.

La curvatura 'isophote' se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\kappa = -\frac{L_y^2 L_{xx} - 2L_x L_{xy} L_y + L_x^2 L_{yy}}{(L_x^2 + L_y^2)^{3/2}}$$

Ecuación 1

Siendo  $L_x$  y  $L_y$  las derivadas de primer orden de la función de luminancia  $L(x,y)$ .

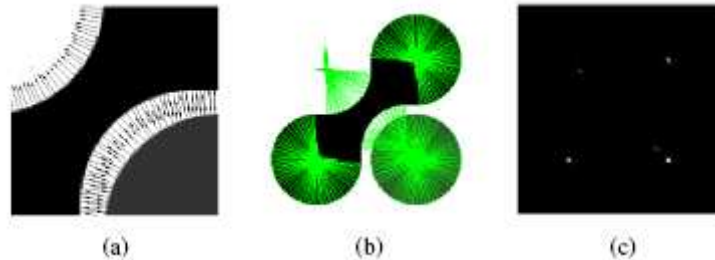


Figura 15. a) Dirección del gradiente debajo de los bordes de la imagen. b) Vectores de desplazamiento apuntando a los centros de los 'isophotes'. c) Mapa de centros.

Dado que la curvatura es recíproca al radio, podemos invertir la Ecuación 1 y obtener el radio del círculo generado por la curvatura de la 'isophote'. No tiene sentido hablar de radio si no va combinada con orientación y dirección. La orientación se estima del gradiente, sin embargo el signo de la curvatura de la 'isophote' depende de la intensidad de la parte externa de la curva (para una luminosidad mayor en la parte externa de la curva el signo es positivo). Además, multiplicando el gradiente con el inverso de la curvatura 'isophote', la dualidad de la curvatura 'isophote' ayuda a detectar la dirección del centro.

$$D(x, y) = -\frac{\{L_x, L_y\}(L_x^2 + L_y^2)}{L_y^2 L_{xx} - 2L_x L_{xy} L_y + L_x^2 L_{yy}}$$

Ecuación 2

Siendo  $D(x,y)$  los vectores de desplazamiento para estimar la posición de los centros de los 'isophotes', los cuales se acumulan para obtener un mapa de centros. El más votado será el centro del 'isophote'.

Las curvaturas tienen una respuesta baja en bordes y superficies lisas y alta en zonas donde la densidad del 'isophote' es máxima, es decir, alrededor de los bordes de un objeto; con lo cual, seleccionando las partes del 'isophote' donde su densidad sea máxima obtendremos los límites del objeto y su correspondiente centro correctamente.

$$curvedness = \sqrt{L_{xx}^2 + 2L_{xy}^2 + L_{yy}^2}$$

*Ecuación 3*

A los centros de los 'isophotes' los denominamos 'isocenters' o 'ICs'. Y el máximo isocentro (MIC) obtenido representará una estimación del centro de la pupila.

Éste método hace frente a fuertes iluminaciones e imágenes borrosas. En general, esperamos que las imágenes tengan una cierta iluminación y oclusiones del párpado, con lo que obtendremos un MIC erróneo. Para solucionar este problema Valenti propone un cambio en la media para la estimación de la densidad y un aprendizaje automático para la clasificación.

Los valores que toman sigma 1, sigma 2 y hsize en las funciones de Valenti son las siguientes:

- sigma2=0,25
- sigma1=0,02\*dist\_interpupilar
- hsize=round(0,1372\*dist\_interpupilar)

Siendo dist\_interpupilar la distancia que hay entre los centros de las pupilas.

## 5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.1. PARÁMETROS

Para evaluar, analizar y comparar los distintos métodos propuestos en el PFC se calculan los siguientes parámetros:

- Exactitud (Accuracy)

La exactitud indica la proximidad de los resultados medidos (prácticos) con sus valores reales (teóricos).

FN (False Negative): Cuando existe el punto teórico pero no el práctico.

FP (False Positive): Cuando existe el punto práctico pero no el teórico.

TN (True Negative): Cuando no existe el punto práctico ni el teórico.

TP (True Positive): Cuando existe el punto práctico y el teórico y además su distancia no supere un umbral que depende del tamaño de la imagen.

$$\text{accuracy} = \frac{\text{number of true positives} + \text{number of true negatives}}{\text{numbers of true positives} + \text{false positives} + \text{false negatives} + \text{true negatives}}$$

- Error

El error cometido es la distancia euclídea entre los valores teóricos y los prácticos, es decir, la distancia que hay entre esos dos puntos.

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Siendo  $d(P_1, P_2)$  la distancia euclídea entre dos puntos  $P_1$  y  $P_2$ , de coordenadas  $(x_1, y_1)$  y  $(x_2, y_2)$  respectivamente.

- Velocidad computacional

La velocidad computacional es el tiempo que tarda cada método en ejecutarse.

NOTA: Como no todas las imágenes tienen el mismo tamaño ni están tomadas a la misma distancia de la cámara web, se normaliza el error cometido dividiendo la distancia euclídea entre la distancia inter-pupilar. Se ha fijado el error máximo permitido en un 2,4% de la distancia inter-pupilar para todos los puntos

característicos faciales excepto para las pupilas, donde se ha restringido más, con un valor de 1,8%.

## 5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.2.1. ESTUDIO DE LAS IMÁGENES DE LA BBDD

#### 5.2.1.1. Exactitud

En la Tabla 4 se muestra los valores medios de exactitud para cada punto característico, para cada zona característica y los valores medios totales de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

Los puntos característicos que se muestran en la Tabla 1 son los siguientes:

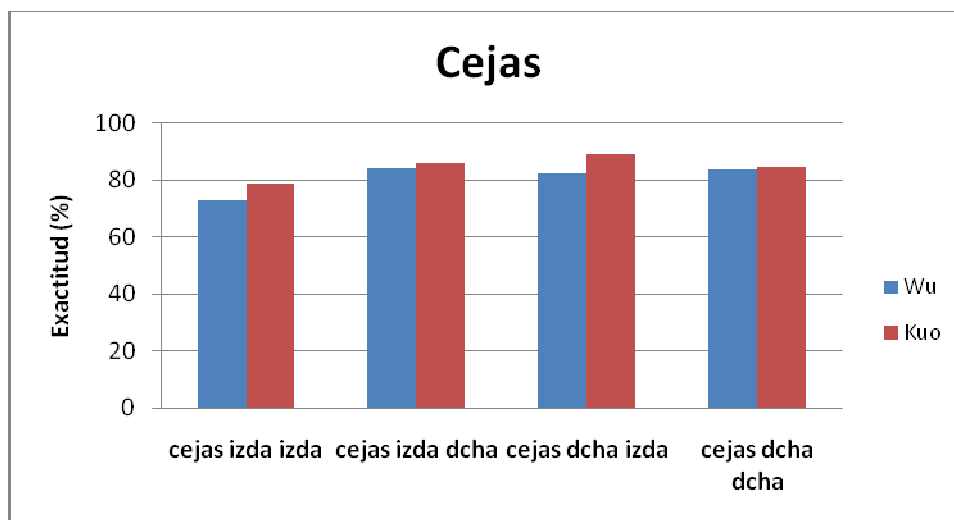
- Ceja izda izda: Punto externo de la ceja izquierda.
- Ceja izda dcha: Punto interno de la ceja izquierda.
- Ceja dcha izda: Punto interno de la ceja derecha.
- Ceja dcha dcha: Punto externo de la ceja derecha.
- Ojo izdo izdo: Punto externo del ojo izquierdo.
- Ojo izdo dcho: Punto interno del ojo izquierdo.
- Ojo dcho izdo: Punto interno del ojo derecho.
- Ojo dcho dcho: Punto externo del ojo derecho.
- Nariz izdo: Punto izquierdo de la nariz.
- Nariz dcho: Punto derecho de la nariz.
- Boca izdo: Punto izquierdo de la boca.
- Boca dcho: Punto derecho de la boca.

EXACTITUD	HESS	WU	GU	KUO
ceja izda izda		72,8305		78,6699
ceja izda dcha		84,1444		85,7259
ceja dcha izda		82,3601		88,9294
ceja dcha dcha		83,4550		84,7121
ojo izdo izdo	89,9432	89,1322	84,7121	89,4972
ojo izdo dcho		88,6050	83,2522	91,0381
ojo dcho izdo		89,4161	83,1306	92,2547
ojo dcho dcho	90,2271	87,9157	84,2255	88,0373
nariz izdo	57,8670	87,3074	81,2652	89,6594

<b>nariz dcho</b>	53,1225	87,6318	84,4688	86,9830
<b>boca izdo</b>	92,3763	93,3496	87,8751	95,3771
<b>boca dcho</b>	87,9562	92,8629	85,6448	95,1744
<b>CEJAS</b>		80,6975		84,5093
<b>OJOS</b>	90,0852	88,7672	83,8301	90,2068
<b>NARIZ</b>	55,4947	87,4696	82,8670	88,3212
<b>BOCA</b>	90,1663	93,1062	86,7599	95,2758
<b>TOTAL</b>	78,6778	86,6545	84,3218	88,8382

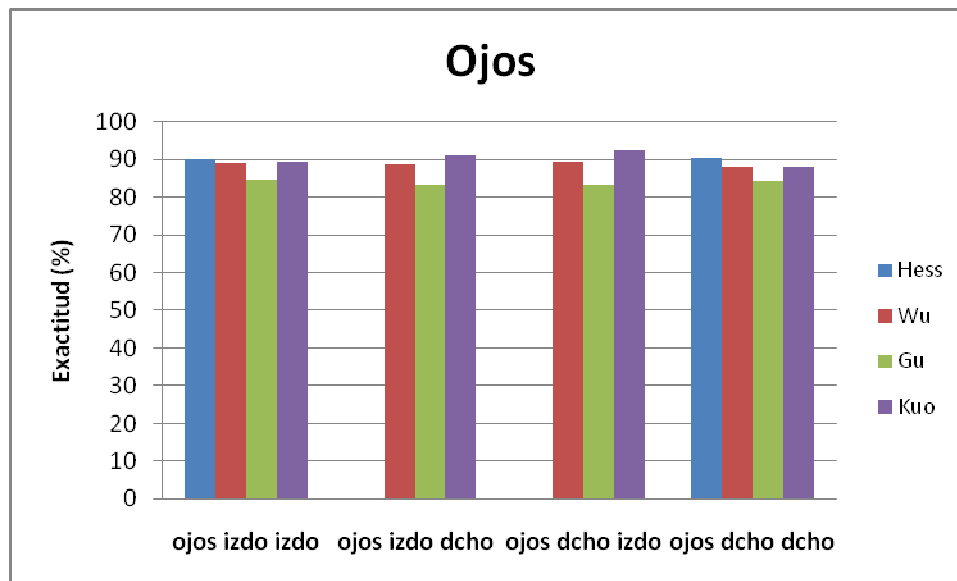
**Tabla 4. Exactitud media para los distintos puntos, zonas características y total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.**

A continuación se muestran en las Gráficas 1, 2, 3 y 4 las exactitudes para cada punto de las zonas características.



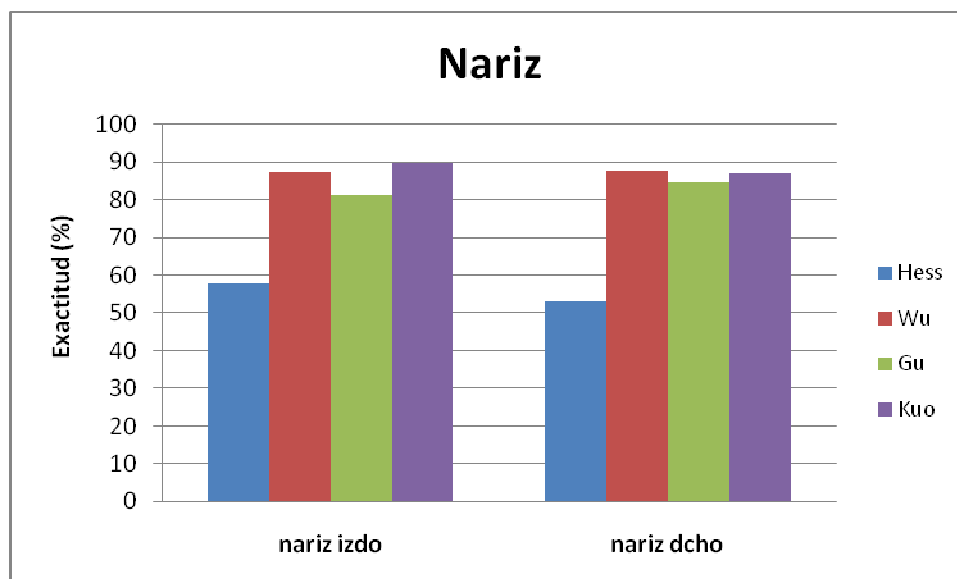
**Gráfica 1. Exactitud media para cada punto de las cejas de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.**

En la Gráfica 1 vemos que los puntos de las cejas tienen un 80% de exactitud aproximadamente, lo que se considera un nivel bueno.



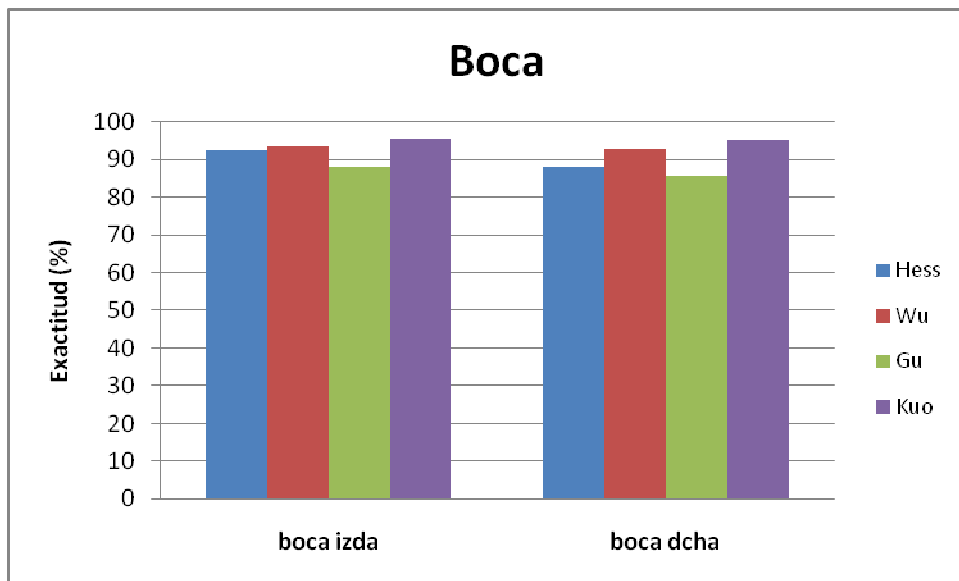
*Gráfica 2. Exactitud media para cada punto de los ojos de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.*

Con un valor de 90% de exactitud más o menos, como se ve en la Gráfica 2, los ojos obtienen un resultado muy bueno.



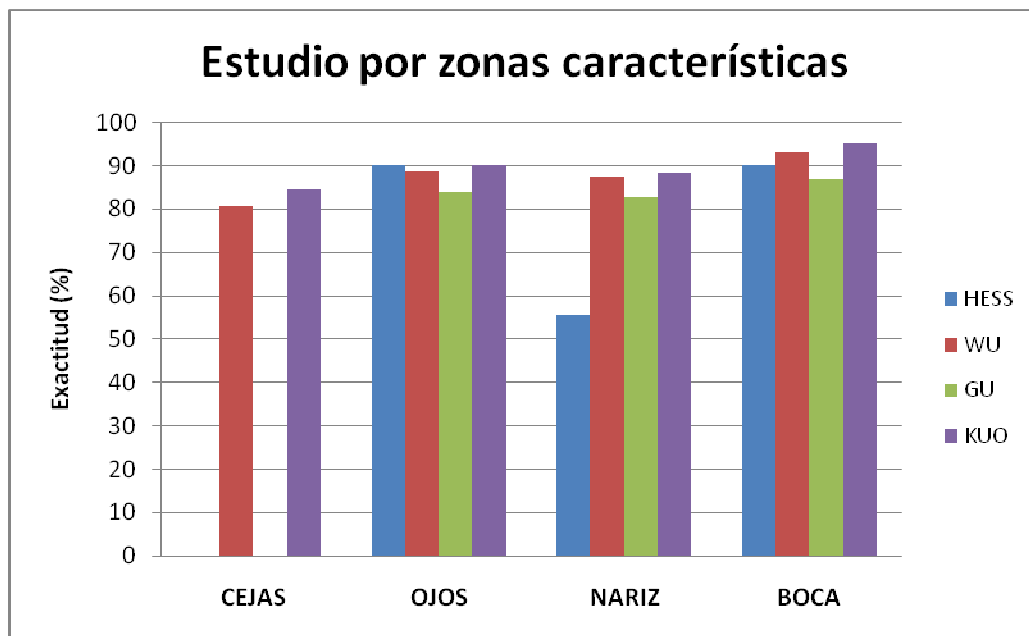
*Gráfica 3. Exactitud media para cada punto de la nariz de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.*

Los métodos de Wu, Gu y Kuo consiguen unos resultados muy buenos para las aletas de la nariz frente a Hess, el cual no llega ni a los mínimos para considerarse aceptable. En el apartado 6 de Problemas y Posibles Mejoras del PFC se explica las dificultades de mejorar la nariz para el método de Hess.



Gráfica 4. Exactitud media para cada punto de la boca de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

La gráfica 4 muestra, como cabía esperar, que la boca es la zona con mayor exactitud con unos niveles que rondan el 90%, considerándose muy buenos los resultados.



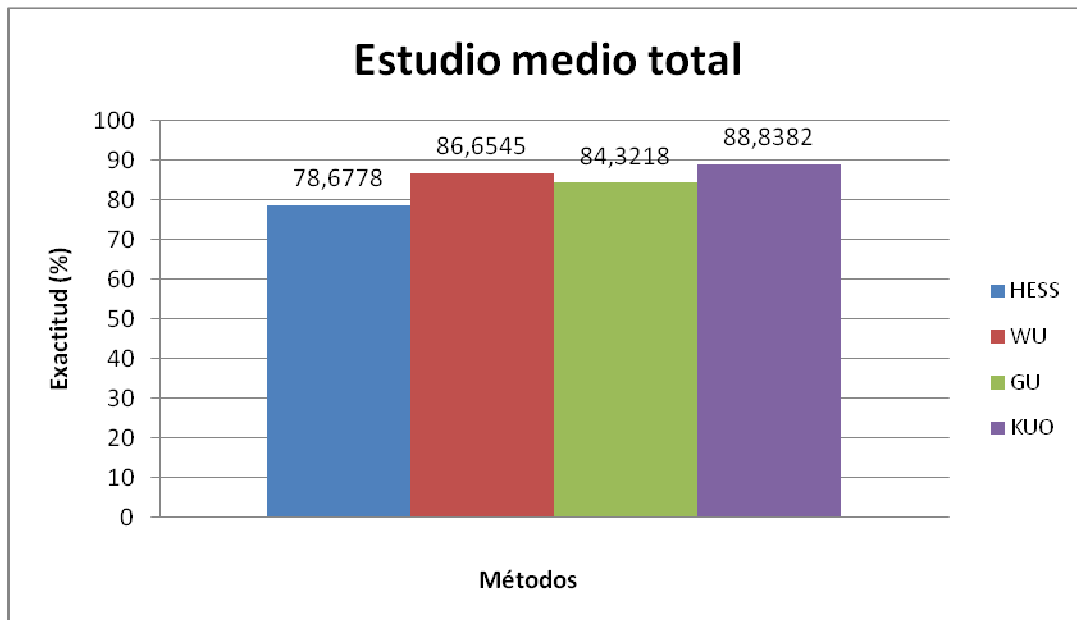
Gráfica 5. Exactitud media para cada zona característica de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

Analizando los resultados de las gráficas podemos observar que la zona de la boca es la que mayor exactitud tiene en todos los métodos, seguido de la zona de los ojos, la nariz y las cejas, siendo estas dos últimas las que peores niveles tienen. Es normal que

la zona de la boca tenga mayor exactitud que las otras porque es la que tiene el mayor contraste entre los labios y la piel. La zona de las cejas, que también tiene un alto contraste, incluso más que la boca, tiene una baja exactitud debido a que no es una zona tan definida como pueden ser los labios. Y la nariz en la mayoría de las imágenes es la que tiene una exactitud menor debido a que es una zona con un contraste entre las aletas y la piel muy bajo.

	HESS	WU	GU	KUO
<b>Media exactitud total</b>	78,6778	86,6545	84,3218	88,8382
<b>Desviación estándar</b>	17,5369	16,9057	18,7252	13,6409
<b>Mínimo</b>	16,6667	8,3333	12,5000	16,6667
<b>Máximo</b>	100	100	100	100

Tabla 5. Exactitud media total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.



Gráfica 6. Exactitud media total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

La Gráfica 6 muestra la exactitud media por imagen para cada método, que es de aproximadamente 88% para Kuo, 86% para Wu, 84% para Gu y 78% para Hess. Éstos valores son bastante buenos teniendo en cuenta que la base de datos está compuesta en un 14% de imágenes inapropiadas (exactamente 355 imágenes) para el cálculo de puntos característicos, ya sea debido a la poca iluminación, a la iluminación no uniforme, a la pose, a la distancia, etc.

Si nos fijamos en las desviaciones estándares de la Tabla 5 se puede afirmar que el método de Kuo tiene una mayor uniformidad a la hora de detectar puntos característicos.



## 5.2.1.2. Error

A continuación se exponen en las Tablas 6, 7, 8 y 9 los resultados obtenidos respecto al error cometido por los distintos puntos y zonas características, así como el error medio total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

HESS	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ojo izdo izdo	0,0693	0,0527	0,0000	0,2393
ojo dcho dcho	0,0988	0,0574	0,0000	0,2393
nariz izdo	0,1274	0,0551	0,0013	0,2397
nariz dcho	0,1406	0,0547	0,0000	0,2396
boca izdo	0,0751	0,0520	0,0000	0,2391
boca dcho	0,0693	0,0527	0,0000	0,2393
<b>OJOS</b>	0,0841	0,0551	0,0000	0,2393
<b>NARIZ</b>	0,1340	0,0549	0,0007	0,2397
<b>BOCA</b>	0,0722	0,0524	0,0000	0,2392
<b>TOTAL</b>	0,0947	0,0592	0,0000	0,2397

Tabla 6. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Hess.

WU	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ceja izda izda	0,1327	0,0591	0	0,2394
ceja izda dcha	0,1150	0,0553	0	0,2395
ceja dcha izda	0,1167	0,0584	0	0,2397
ceja dcha dcha	0,1150	0,0563	0	0,2386
ojo izdo izdo	0,1012	0,0574	0	0,2399
ojo izdo dcho	0,0761	0,0477	0	0,2387
ojo dcho izdo	0,0752	0,0528	0	0,2393
ojo dcho dcho	0,1114	0,0612	0	0,2396
nariz izdo	0,1054	0,0554	0	0,2398
nariz dcho	0,1009	0,0500	0	0,2398
boca izdo	0,0737	0,0518	0	0,2391
boca dcho	0,0719	0,0537	0	0,2394
<b>CEJAS</b>	0,1199	0,0573	0	0,2393
<b>OJOS</b>	0,0909	0,0548	0	0,2394
<b>NARIZ</b>	0,1032	0,0527	0	0,2398
<b>BOCA</b>	0,0728	0,0528	0	0,2393
<b>TOTAL</b>	0,0983	0,0582	0	0,2399

Tabla 7. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Wu.

GU	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ojo izdo izdo	0,1067	0,0477	0,0000	0,2399
ojo izdo dcho	0,0775	0,0472	0,0000	0,2382
ojo dcho izdo	0,0834	0,0533	0,0000	0,2394
ojo dcho dcho	0,1258	0,0589	0,0000	0,2400

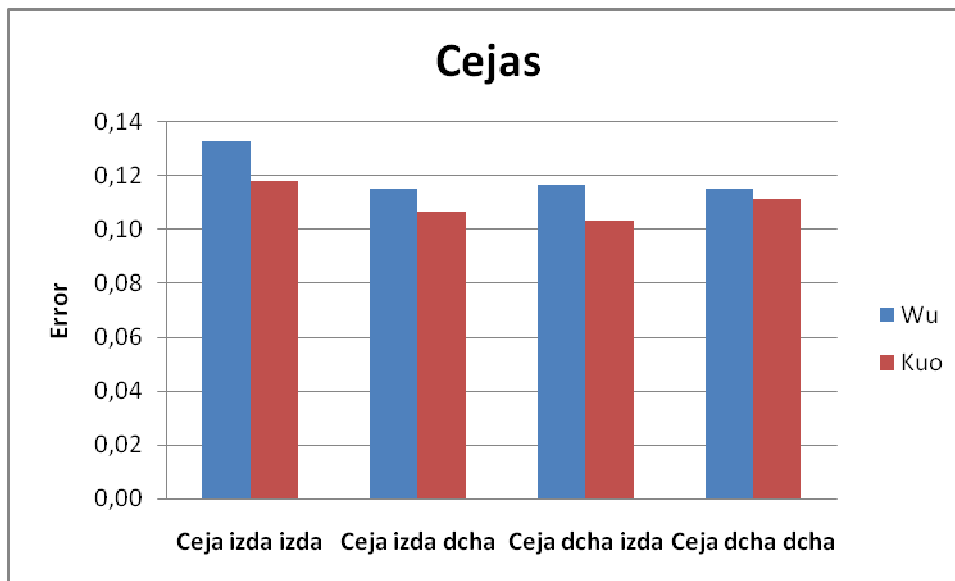
*Detección de puntos característicos faciales mediante el algoritmo SUSAN*

<b>nariz izdo</b>	0,1263	0,0553	0,0018	0,2398
<b>nariz dcho</b>	0,1259	0,0564	0,0000	0,2399
<b>boca izdo</b>	0,0767	0,0568	0,0000	0,2398
<b>boca dcho</b>	0,0710	0,0591	0,0000	0,2398
<b>OJOS</b>	0,0983	0,0518	0,0000	0,2394
<b>NARIZ</b>	0,1261	0,0558	0,0009	0,2399
<b>BOCA</b>	0,0739	0,0579	0,0000	0,2398
<b>TOTAL</b>	<b>0,0990</b>	<b>0,0593</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2400</b>

*Tabla 8. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Gu.*

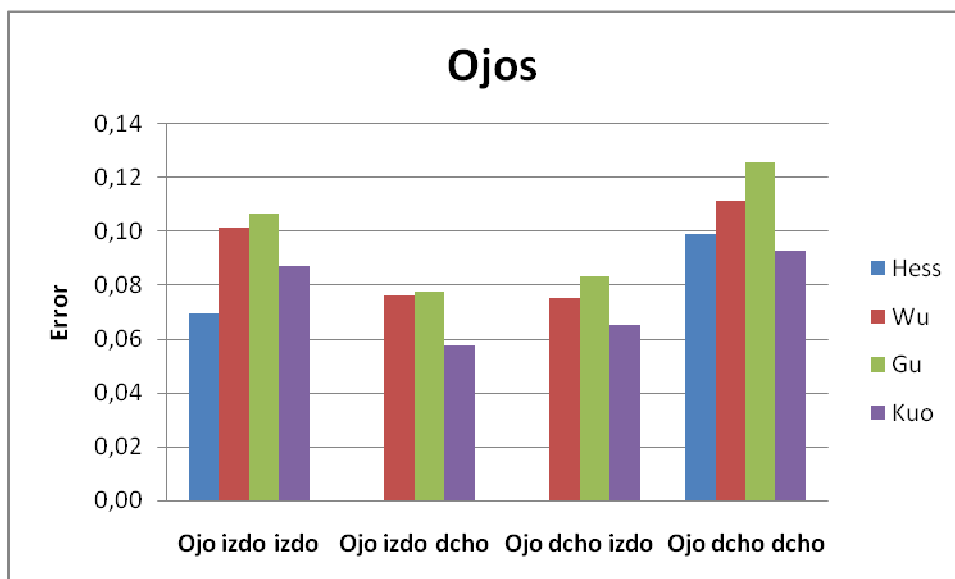
<b>KUO</b>	<b>Error medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>ceja izda izda</b>	0,1180	0,0566	0	0,2396
<b>ceja izda dcha</b>	0,1066	0,0512	0	0,2398
<b>ceja dcha izda</b>	0,1032	0,0518	0	0,2399
<b>ceja dcha dcha</b>	0,1112	0,0553	0	0,2381
<b>ojo izdo izdo</b>	0,0873	0,0567	0	0,2399
<b>ojo izdo dcho</b>	0,0574	0,0341	0	0,2373
<b>ojo dcho izdo</b>	0,0654	0,0453	0	0,2393
<b>ojo dcho dcho</b>	0,0930	0,0588	0	0,2398
<b>nariz izdo</b>	0,0811	0,0433	0	0,2348
<b>nariz dcho</b>	0,0910	0,0424	0	0,2386
<b>boca izdo</b>	0,0751	0,0511	0	0,2391
<b>boca dcho</b>	0,0755	0,0513	0	0,2393
<b>CEJAS</b>	0,1098	0,0537	0	0,2394
<b>OJOS</b>	0,0758	0,0487	0	0,2391
<b>NARIZ</b>	0,0861	0,0429	0	0,2367
<b>BOCA</b>	0,0753	0,0512	0	0,2392
<b>TOTAL</b>	<b>0,0878</b>	<b>0,0532</b>	<b>0</b>	<b>0,2399</b>

*Tabla 9. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Kuo.*



**Gráfica 7. Error medio para cada punto de las cejas de los métodos de Wu y Kuo.**

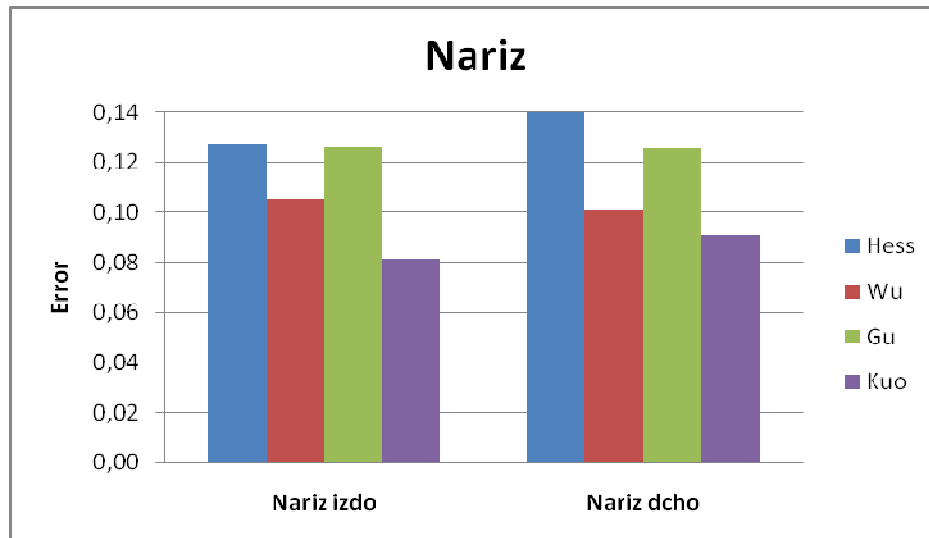
Todos los puntos de las cejas de ambos métodos (Wu y Kuo) tienen un error muy similar que rondan el 11%, como se aprecia en la Gráfica 7. Como ya se ha explicado anteriormente, las cejas tienen un nivel de contraste con la piel muy grande pero es una zona difícil de delimitar, por lo tanto, en la mayoría de los casos la distancia entre el punto marcado y el detectado será grande.



**Gráfica 8. Error medio para cada punto de los ojos de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.**

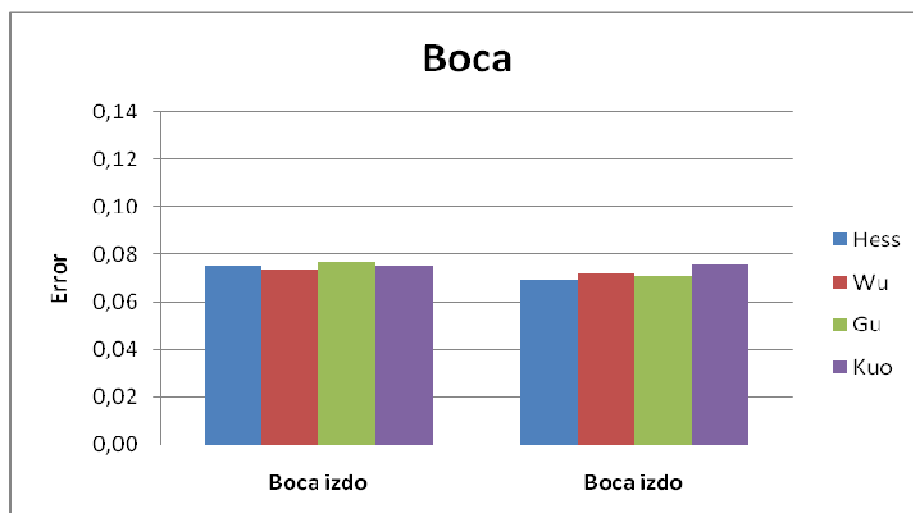
En la Gráfica 8 se observa que los puntos interiores de los ojos son los que menor error cometen frente a los exteriores. Aunque lo más lógico sería pensar que es viceversa, ya que los puntos exteriores están más contrastados por las pestañas que la zona del lagrimal, no es así en estos casos. La razón reside en varios motivos, el primero

son las pequeñas arrugas que tenemos cerca de los puntos externos de los ojos, la segunda es la presencia de gafas, y por último que las imágenes rotadas contienen parte de cejas. Por lo que en vez de detectar el correcto punto externo de los ojos detecta uno de los puntos descritos.



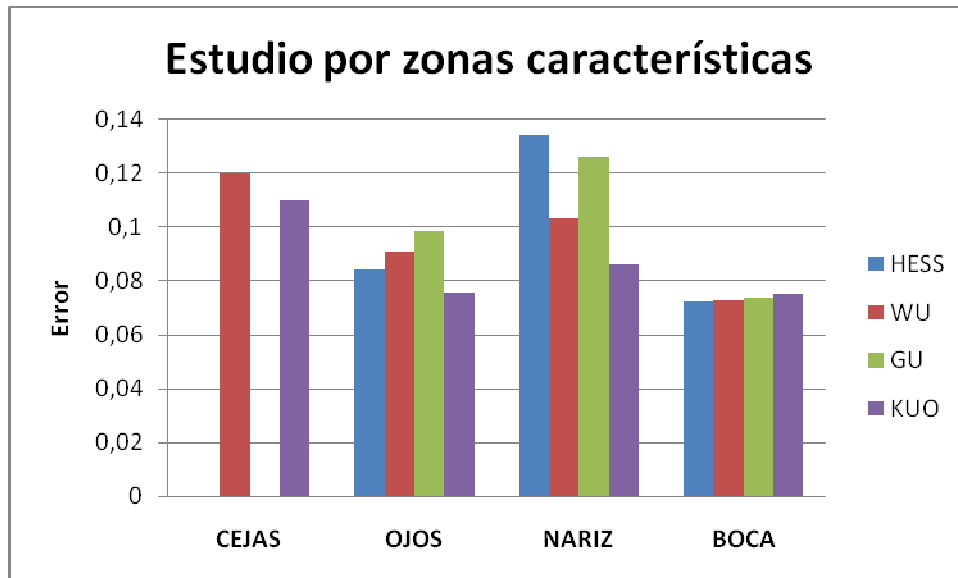
**Gráfica 9.** Error medio para cada punto de la nariz de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

En el caso de la nariz, su error es alto debido a dos motivos principalmente. El primero es que el contraste entre las aletas de la nariz y la cara es muy bajo, con lo cual en muchas imágenes será muy difícil detectarlos. Y en segundo lugar, en muchas imágenes en vez de detectar las aletas detecta los agujeros de la nariz, siempre y cuando éstos sean visibles. Por lo tanto, el error cometido entre la aleta que es el punto marcado y el agujero que es el detectado en muchas ocasiones será bastante grande. En la gráfica 9 se observa que los métodos de Hess y Gu son los que mayor error comenten, en torno a un 13%, frente a Wu y Kuo con un 10% y 8,5% respectivamente.



**Gráfica 10.** Error medio para cada punto de la boca de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

La boca es la zona característica con mayor contraste y mejor delimitado, por lo que su error es el menor con diferencia, alrededor de un 7%, como se observa en la Gráfica 10.



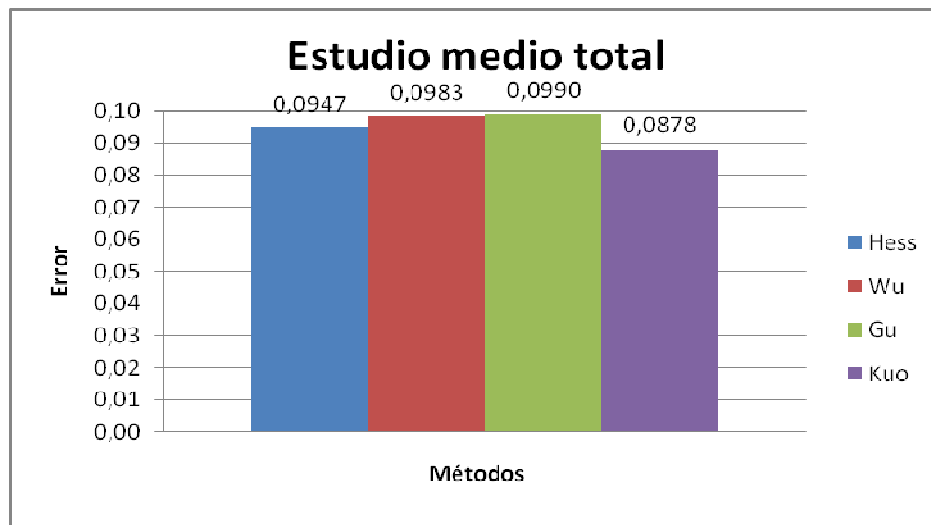
**Gráfica 11.** Error medio para cada zona característica de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

En la Gráfica 11 se observa de nuevo lo mismo, que la boca seguida de los ojos son las zonas donde los puntos cometen menos error.

En la Tabla 10 como en la Gráfica 12 se muestra que Kuo es el que menor error comete frente a Hess, Wu y Gu, los cuales tienen un error similar.

	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
<b>HESS</b>	0,0947	0,0592	0	0,2397
<b>WU</b>	0,0983	0,0582	0	0,2399
<b>GU</b>	0,0990	0,0593	0	0,24
<b>KUO</b>	0,0878	0,0532	0	0,2399

**Tabla 10.** Error medio total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.



Gráfica 12. Error medio total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

De los resultados obtenidos en la Tabla 10 se afirma que los cuatro métodos difieren entre sí una cantidad inapreciable de milésimas. Los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo se consideran aceptables en cuanto a error cometido, no llegando a superar el 10%.

## 5.2.2. ESTUDIO DE LAS IMÁGENES DE LA BBDD SIN TENER EN CUENTA LAS IMÁGENES INAPROPIADAS

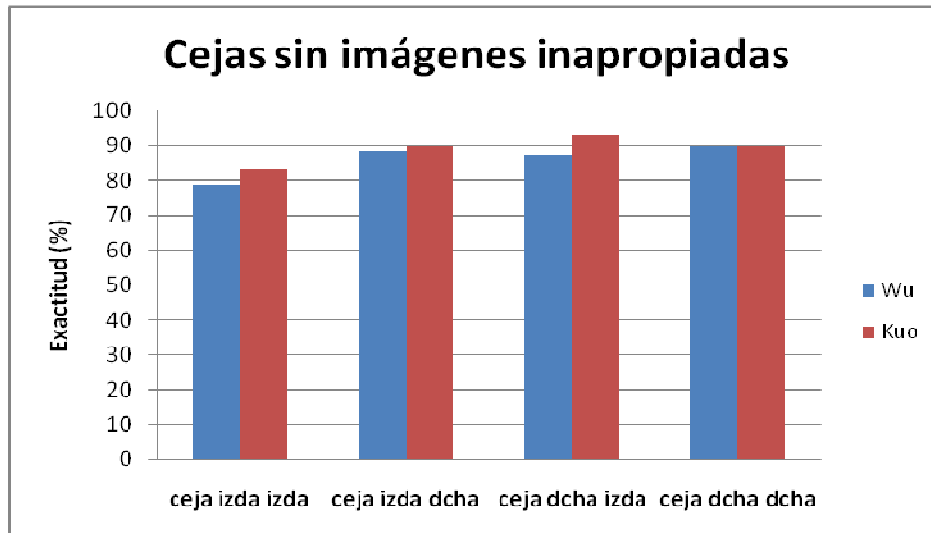
### 5.2.2.1. Exactitud

A continuación se realiza el mismo estudio pero sin tener en cuenta este 14% de imágenes inapropiadas, que son debidas a una mala iluminación, poses giradas y distancias demasiado lejanas.

EXACTITUD	HESS	WU	GU	KUO
ceja izda izda		78,7916		83,1711
ceja izda dcha		88,3617		89,7810
ceja dcha izda		87,3074		93,0657
ceja dcha dcha		89,6188		89,7810
ojo izdo izdo	95,7015	95,7421	88,5239	96,2693
ojo izdo dcho		96,0665	86,6586	95,0527
ojo dcho izdo		96,6342	86,7802	95,9854
ojo dcho dcho	95,7421	95,2149	88,1995	95,0527
nariz izdo	64,1930	95,4177	91,0787	95,2960
nariz dcho	59,7729	96,0260	93,1873	92,2141
boca izdo	96,1882	96,5937	91,8086	98,1752
boca dcho	92,0925	96,8370	90,5109	97,9724
CEJAS		86,0199		88,9497
OJOS	95,7218	95,9144	87,5406	95,5900

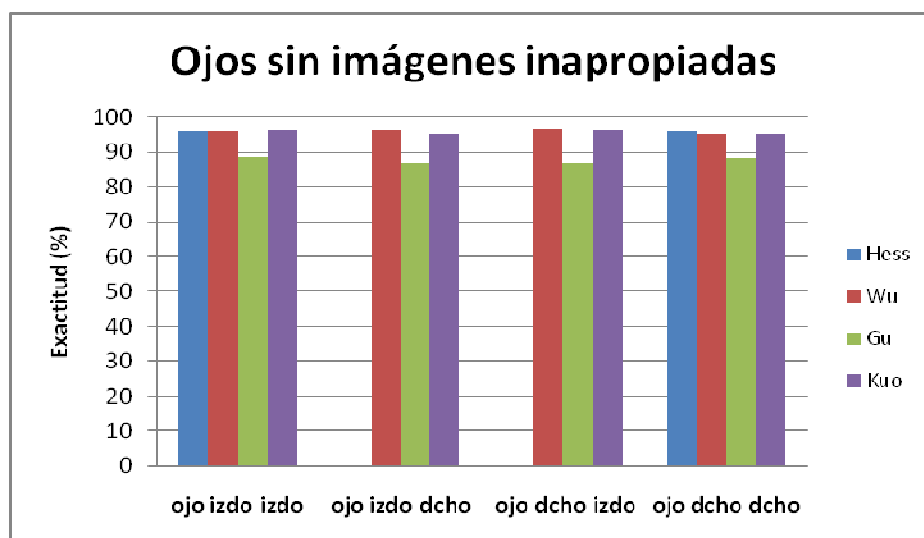
<b>NARIZ</b>	61,9830	95,7218	92,1330	93,7551
<b>BOCA</b>	94,1403	96,7153	91,1598	98,0738
<b>TOTAL</b>	81,2964	91,4970	87,8492	92,3927

Tabla 11. Exactitud media para los distintos puntos, zonas características y total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.



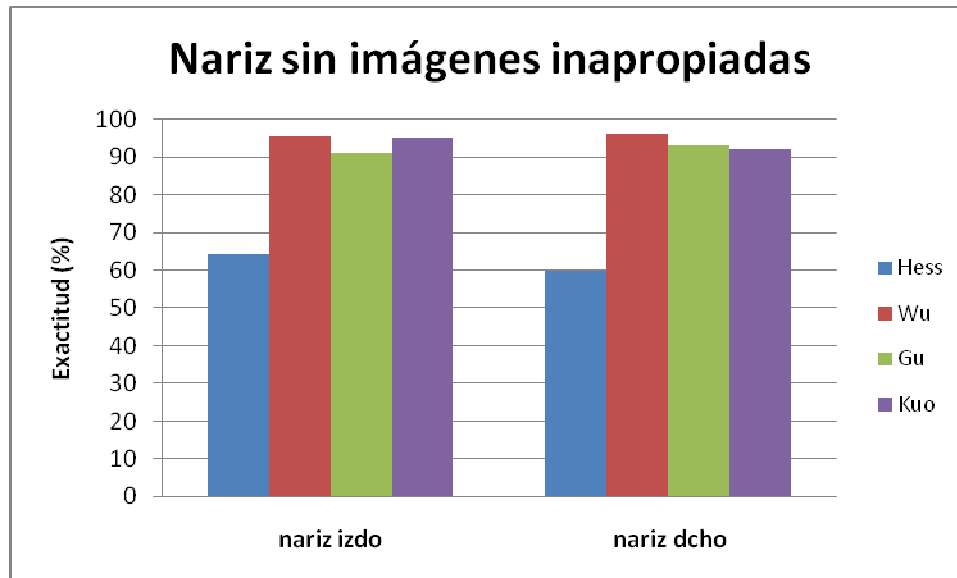
Gráfica 13. Exactitud media para cada punto de las cejas de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

El estudio sin las imágenes inapropiadas muestra en las cejas una mejora notable, ahora los valores rondan casi el 90%, como se observa en la Gráfica 13. El método de Wu ha pasado de 80 a 86% y Kuo de 84 a 89% de exactitud. Se consideran que los resultados para las cejas son muy buenas.



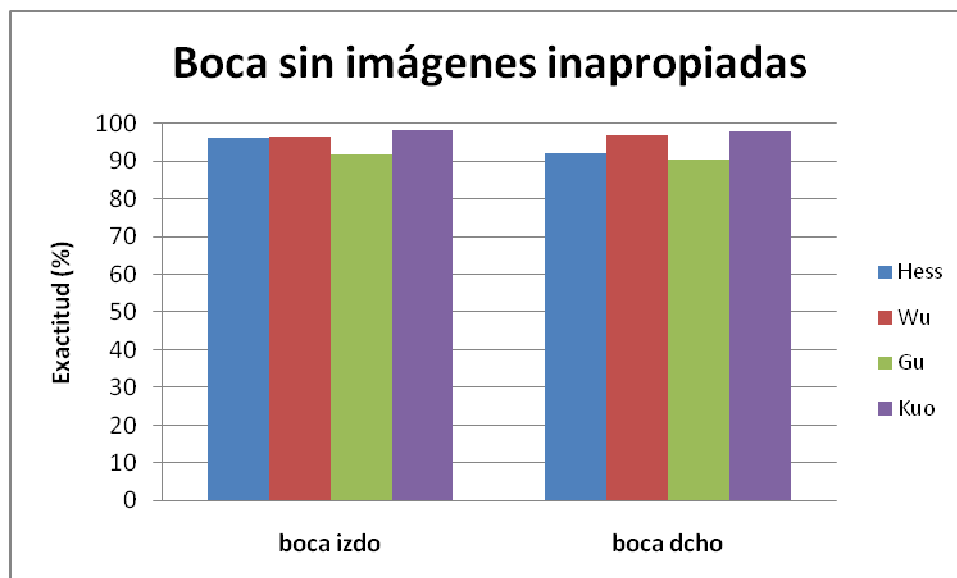
Gráfica 14. Exactitud media para cada punto de los ojos de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

En la Gráfica 14 de nuevo lo mismo, se ha obtenido una mejora en unos resultados que se consideraban bastante buenos ya que rondaban el 90% a unos resultados muy buenos con un 95% para Hess, Wu y Kuo y de 83% a 90% para Gu.



**Gráfica 15.** Exactitud media para cada punto de la nariz de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

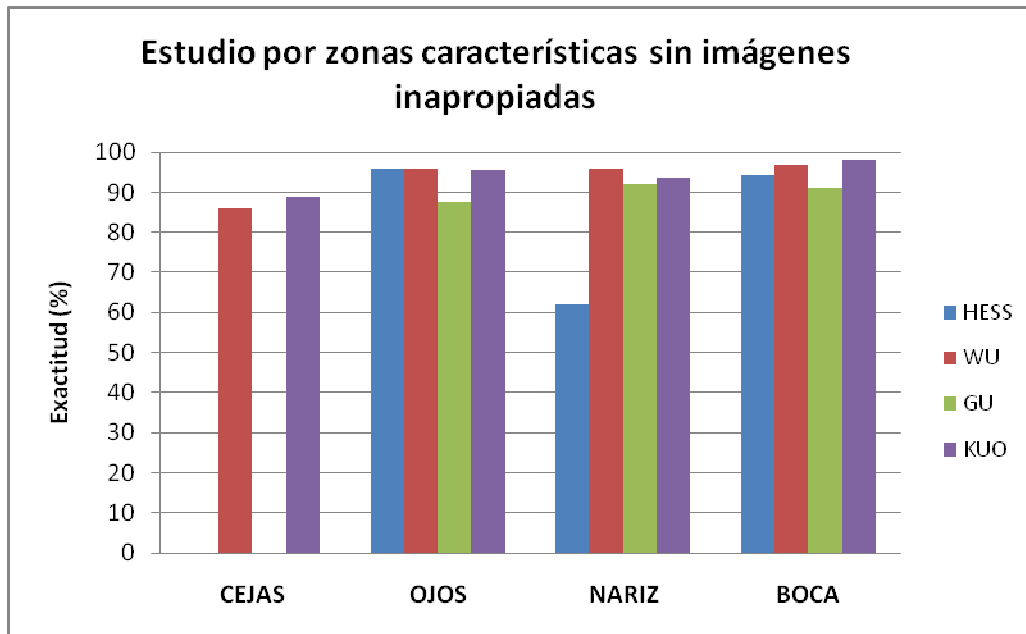
Si nos fijamos en la Gráfica 15, podemos ver que la detección de las aletas de la nariz ha mejorado entre un 5 y un 10% para los distintos métodos. El método de Hess sigue sin ser aceptable ya que sus niveles no llegan ni a un 65%, mientras que los resultados para Wu, Gu y Kuo se consideran muy buenos ya que superan el 90%.



**Gráfica 16.** Exactitud media para cada punto de la boca de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.



En la Gráfica 16 se observa que la boca, al igual que el resto de zonas características también ha mejorado su nivel de exactitud, pero de una manera menor ya que las imágenes inapropiadas que hemos eliminado no afectan mucho a la boca, ya que esta zona es la que mejor se detecta.

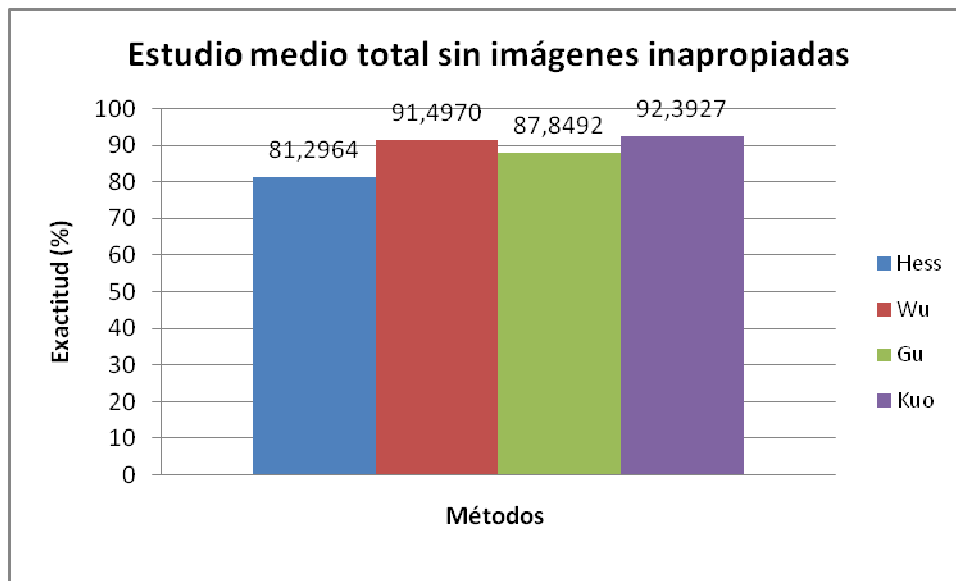


*Gráfica 17. Exactitud media para cada zona característica de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*

Si observamos la Gráfica 17 a grandes rasgos se concluye que, tras eliminar del estudio las imágenes inapropiadas, los resultados para las distintas zonas características de los cuatro métodos son muy buenos, exceptuando la nariz de Hess, que se tratará aparte en el apartado 6 del PFC.

	HESS	WU	GU	KUO
<b>Media exactitud total</b>	81,2964	91,4970	87,8492	92,3927
<b>Desviación estándar</b>	15,4895	9,7236	16,2540	9,2197
<b>Mínimo</b>	16,6667	33,3333	12,5000	50,0000
<b>Máximo</b>	100	100	100	100

*Tabla 12. Exactitud media total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*



*Gráfica 18. Exactitud media total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*

Los valores medios de exactitud sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas no varían significativamente, rondan del 3 al 5 % de diferencia, como se puede observar en las gráficas 6 y 18. Esto se debe a que la mayor parte de las imágenes inapropiadas son debidas a la lejanía más que a la iluminación y la pose. Además muchas de las imágenes con un nivel bajo de exactitud son debidas a la presencia de gafas y no se han considerado como inapropiadas. En las tablas 5 y 12 se aprecia que los parámetros de desviación estándar, el mínimo y el máximo no han variado tampoco significativamente para ninguno de los métodos.

En las imágenes inapropiadas el número de puntos teóricos etiquetados es relativamente bajo y el número de puntos prácticos que devuelve cualquiera de los métodos también. Por lo tanto, hemos eliminado del estudio las imágenes lejanas pero que en muchos casos tiene una exactitud aceptable. En consecuencia, no hay mucha diferencia entre las exactitudes con y sin imágenes apropiadas.

### 5.2.2.2. Error

Al igual que en el estudio de la exactitud, se repite el cálculo del error eliminando las imágenes inapropiadas. En las Tablas 13, 14, 15 y 16 se muestran los resultados obtenidos respecto al error cometido por los distintos puntos y zonas características, así como el error medio total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

HESS	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ojo izdo izdo	0,0908	0,0541	0,0019	0,2394
ojo dcho dcho	0,0986	0,0570	0,0004	0,2393

*Detección de puntos característicos faciales mediante el algoritmo SUSAN*

<b>nariz izdo</b>	0,1268	0,0545	0,0013	0,2397
<b>nariz dcho</b>	0,1411	0,0544	0,0000	0,2396
<b>boca izdo</b>	0,0731	0,0501	0,0000	0,2371
<b>boca dcho</b>	0,0685	0,0520	0,0000	0,2393
<b>OJOS</b>	0,0947	0,0556	0,0012	0,2394
<b>NARIZ</b>	0,1340	0,0545	0,0007	0,2397
<b>BOCA</b>	0,0708	0,0510	0,0000	0,2382
<b>TOTAL</b>	<b>0,0944</b>	<b>0,0588</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2397</b>

*Tabla 13. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Hess sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*

<b>WU</b>	<b>Error medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>ceja izda izda</b>	0,1153	0,0501	0	0,2380
<b>ceja izda dcha</b>	0,1066	0,0488	0	0,2292
<b>ceja dcha izda</b>	0,1049	0,0517	0	0,2489
<b>ceja dcha dcha</b>	0,1031	0,0483	0	0,2368
<b>ojo izdo izdo</b>	0,0959	0,0537	0	0,2489
<b>ojo izdo dcho</b>	0,0718	0,0420	0	0,2298
<b>ojo dcho izdo</b>	0,0710	0,0479	0	0,2314
<b>ojo dcho dcho</b>	0,1018	0,0541	0	0,2497
<b>nariz izdo</b>	0,0953	0,0481	0	0,2273
<b>nariz dcho</b>	0,0951	0,0448	0	0,2289
<b>boca izdo</b>	0,0673	0,0446	0	0,2371
<b>boca dcho</b>	0,0662	0,0471	0	0,2325
<b>CEJAS</b>	0,1075	0,0497	0	0,2382
<b>OJOS</b>	0,0851	0,0494	0	0,2400
<b>NARIZ</b>	0,0952	0,0465	0	0,2281
<b>BOCA</b>	0,0668	0,0459	0	0,2348
<b>TOTAL</b>	<b>0,0865</b>	<b>0,0538</b>	<b>0</b>	<b>0,2394</b>

*Tabla 14. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Wu sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*

<b>GU</b>	<b>Error medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>ojo izdo izdo</b>	0,1033	0,0439	0,0000	0,2379
<b>ojo izdo dcho</b>	0,0733	0,0408	0,0000	0,2304
<b>ojo dcho izdo</b>	0,0788	0,0490	0,0000	0,2365
<b>ojo dcho dcho</b>	0,1171	0,0539	0,0000	0,2403
<b>nariz izdo</b>	0,1076	0,0440	0,0018	0,2427
<b>nariz dcho</b>	0,1140	0,0517	0,0000	0,2401
<b>boca izdo</b>	0,0679	0,0472	0,0000	0,2409
<b>boca dcho</b>	0,0612	0,0481	0,0000	0,2371
<b>OJOS</b>	0,0931	0,0469	0,0000	0,2363
<b>NARIZ</b>	0,1108	0,0479	0,0009	0,2414

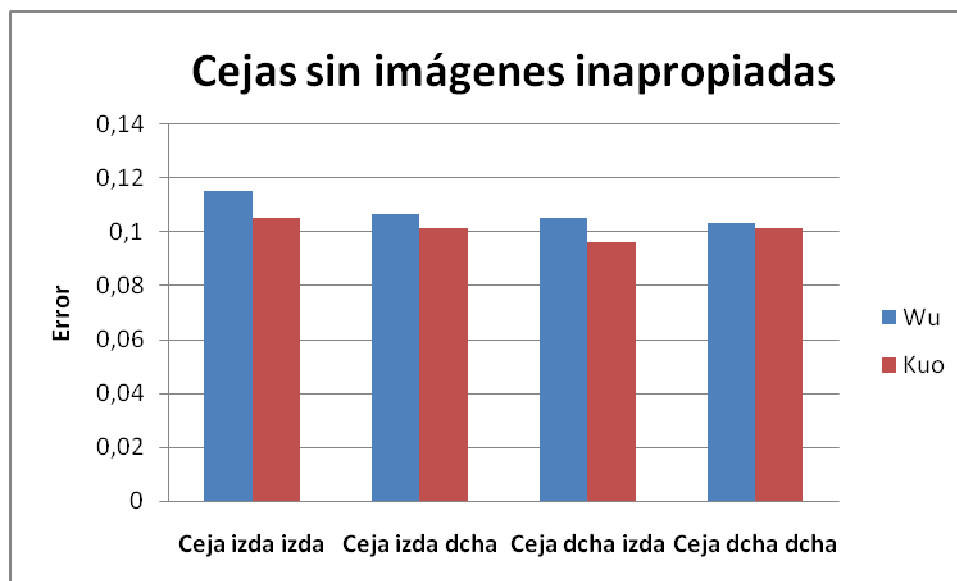
## Detección de puntos característicos faciales mediante el algoritmo SUSAN

<b>BOCA</b>	0,0646	0,0476	0,0000	0,2390
<b>TOTAL</b>	0,0984	0,0587	0,0000	0,2400

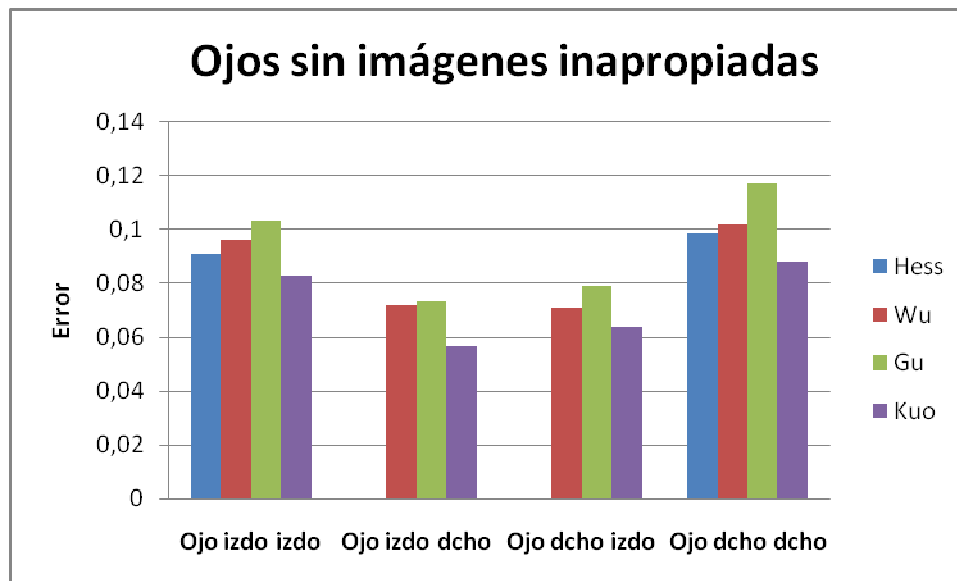
Tabla 15. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Gu sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

KUO	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ceja izda izda	0,1053	0,0480	0	0,2269
ceja izda dcha	0,1014	0,0464	0	0,2353
ceja dcha izda	0,0960	0,0468	0	0,2234
ceja dcha dcha	0,1013	0,0484	0	0,2368
ojo izdo izdo	0,0830	0,0526	0	0,2403
ojo izdo dcho	0,0565	0,0322	0	0,2114
ojo dcho izdo	0,0638	0,0434	0	0,2193
ojo dcho dcho	0,0878	0,0539	0	0,2436
nariz izdo	0,0776	0,0396	0	0,2207
nariz dcho	0,0886	0,0402	0	0,2000
boca izdo	0,0694	0,0449	0	0,2323
boca dcho	0,0704	0,0458	0	0,2258
<b>CEJAS</b>	0,1010	0,0474	0	0,2306
<b>OJOS</b>	0,0728	0,0455	0	0,2287
<b>NARIZ</b>	0,0831	0,0399	0	0,2104
<b>BOCA</b>	0,0699	0,0454	0	0,2291
<b>TOTAL</b>	0,0875	0,0529	0	0,2399

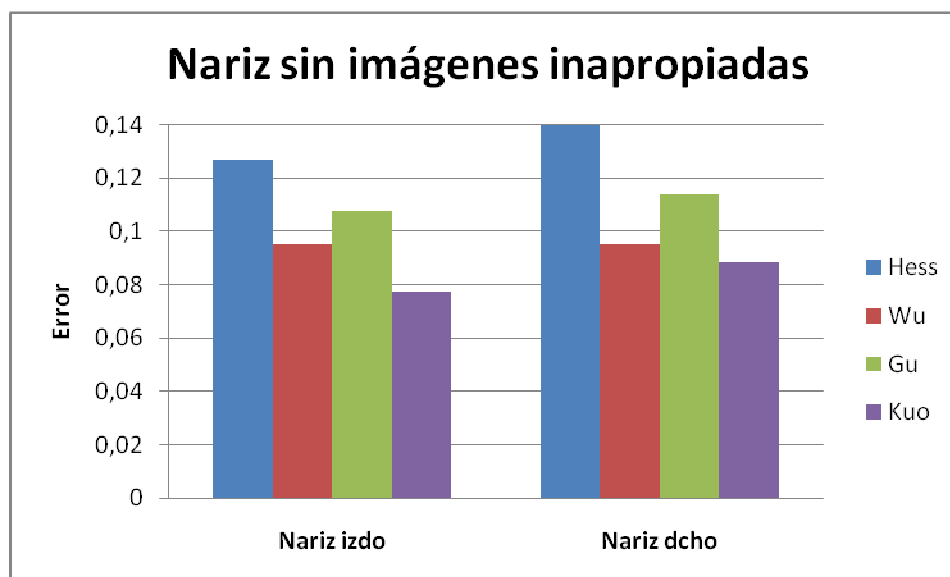
Tabla 16. Error medio para los puntos, zonas características y total del método de Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.



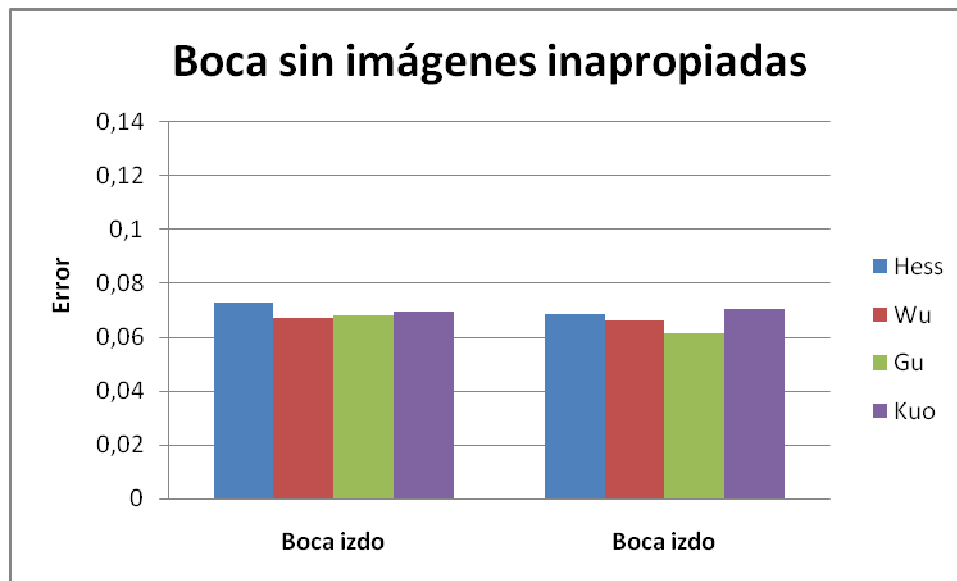
Gráfica 19. Error medio para cada punto de las cejas de los métodos de Wu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.



*Gráfica 20. Error medio para cada punto de los ojos de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*

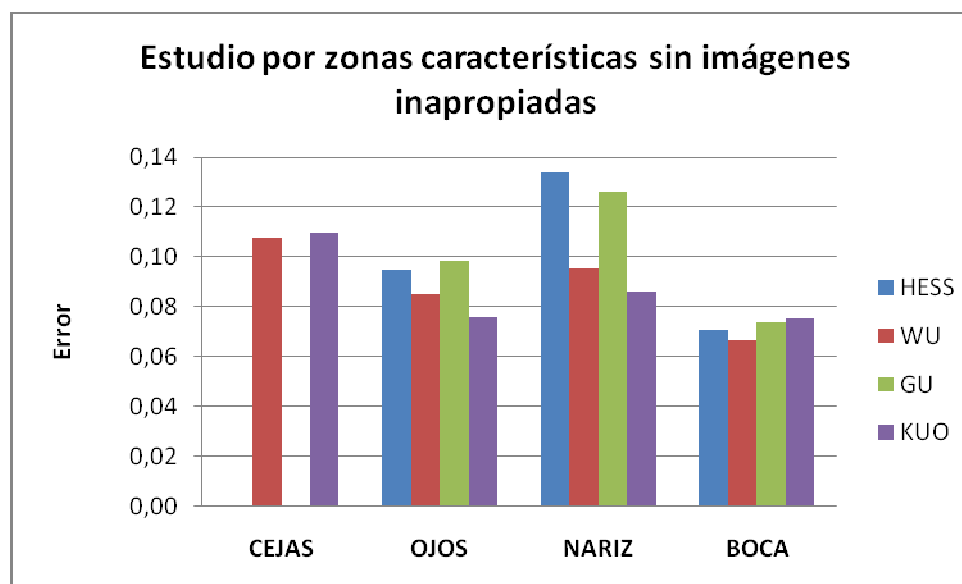


*Gráfica 21. Error medio para cada punto de la nariz de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*



**Gráfica 22.** Error medio para cada punto de la boca de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

En las Gráficas 19, 20, 21 y 22 se observa el error cometido para cada punto de las zonas características. Si las comparamos con sus respectivas gráficas teniendo en cuenta las imágenes inapropiadas podemos apreciar que han mejorado insignificadamente unas milésimas.

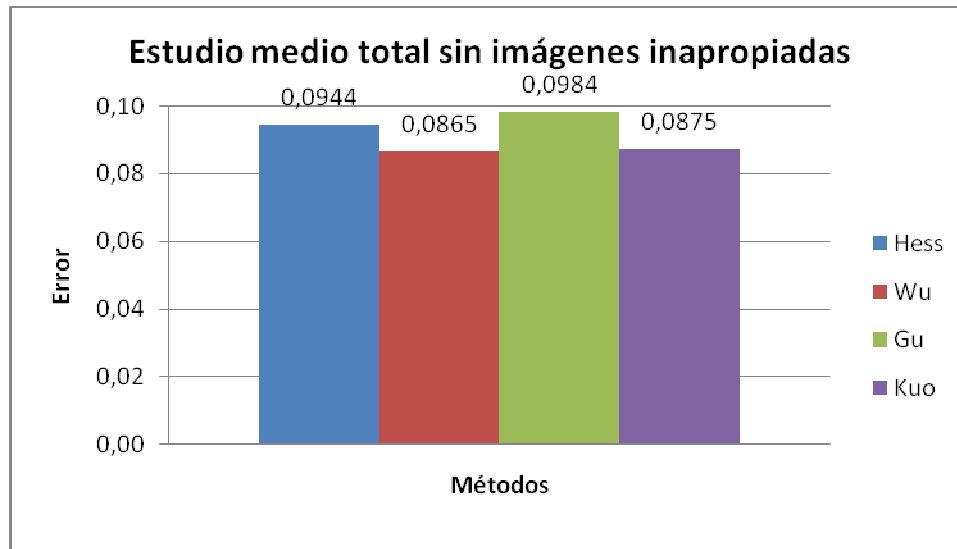


**Gráfica 23.** Error medio para cada zona característica de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

Los resultados de la Gráfica 23 son prácticamente idénticos a la Gráfica 11. La boca, seguida de los ojos, son las que menor error cometen frente a la nariz y las cejas.

	Error medio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
<b>HESS</b>	0,0944	0,0588	0	0,2397
<b>WU</b>	0,0865	0,0538	0	0,2394
<b>GU</b>	0,0984	0,0587	0	0,24
<b>KUO</b>	0,0875	0,0529	0	0,2399

*Tabla 17. Error medio total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*



*Gráfica 24. Error medio total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.*

De los resultados mostrados en las Gráficas anteriores podemos decir que la diferencia en el error cometido con y sin imágenes inapropiadas es insignificante. La razón es la misma explicada en el apartado 5.2.2.1 sobre el estudio de la exactitud sin imágenes inapropiadas. Estos resultados, al igual que antes, se consideran aceptables ya que no superar el 10%.

### 5.2.3. ESTUDIO DE LAS DISTINTAS RESOLUCIONES

La BBDD está compuesta por imágenes de distintas resoluciones, la proporción de cada una de ellas es la siguiente:

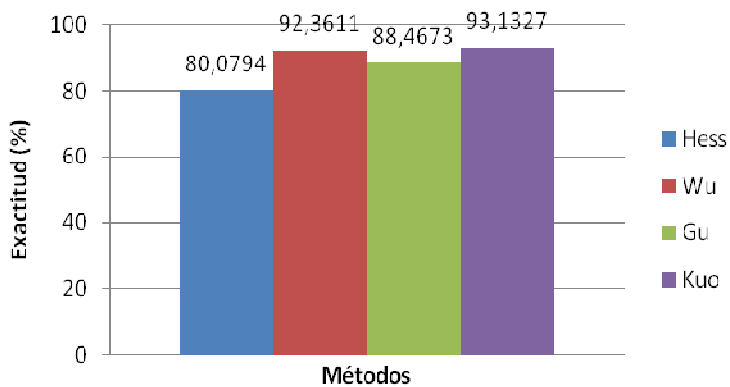
- 61,3% de 320x240 (1512 imágenes)
- 18,3% de 640x800 (450 imágenes)
- 8,7% de 800x600 (216 imágenes)
- 11,7% de 1280x800 (288 imágenes)

## 5.2.3.1. Exactitud

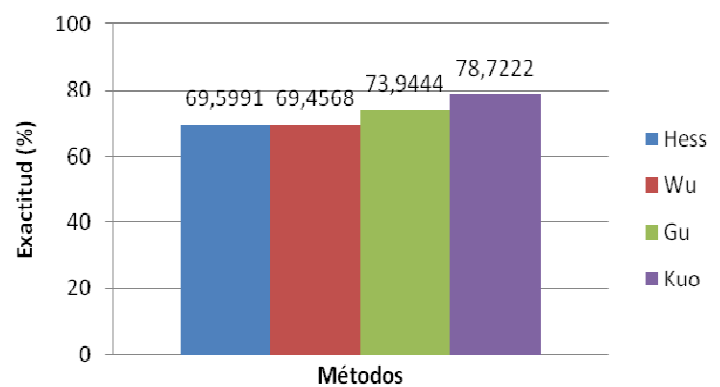
		Exactitud	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
320x240	Hess	80,0794	15,2572	16,6667	100
	Wu	92,3611	8,8118	33,3333	100
	Gu	88,4673	14,9880	12,5000	100
	Kuo	93,1327	13,9217	12,5000	100
640x480	Hess	69,5991	19,6241	16,6667	100
	Wu	69,4568	24,2773	8,3333	100
	Gu	73,9444	21,4690	8,3333	100
	Kuo	78,7222	20,7769	8,3333	100
800x600	Hess	85,8025	15,9642	16,6667	100
	Wu	88,7731	14,2077	41,6667	100
	Gu	87,2106	15,5979	16,6667	100
	Kuo	91,2809	15,0531	16,6667	100
1280x800	Hess	80,1394	21,0556	16,6667	100
	Wu	81,8576	17,7492	25,0000	100
	Gu	76,6059	19,4117	12,5000	100
	Kuo	80,2662	18,8048	12,5000	100

Tabla 18. Exactitud media total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800.

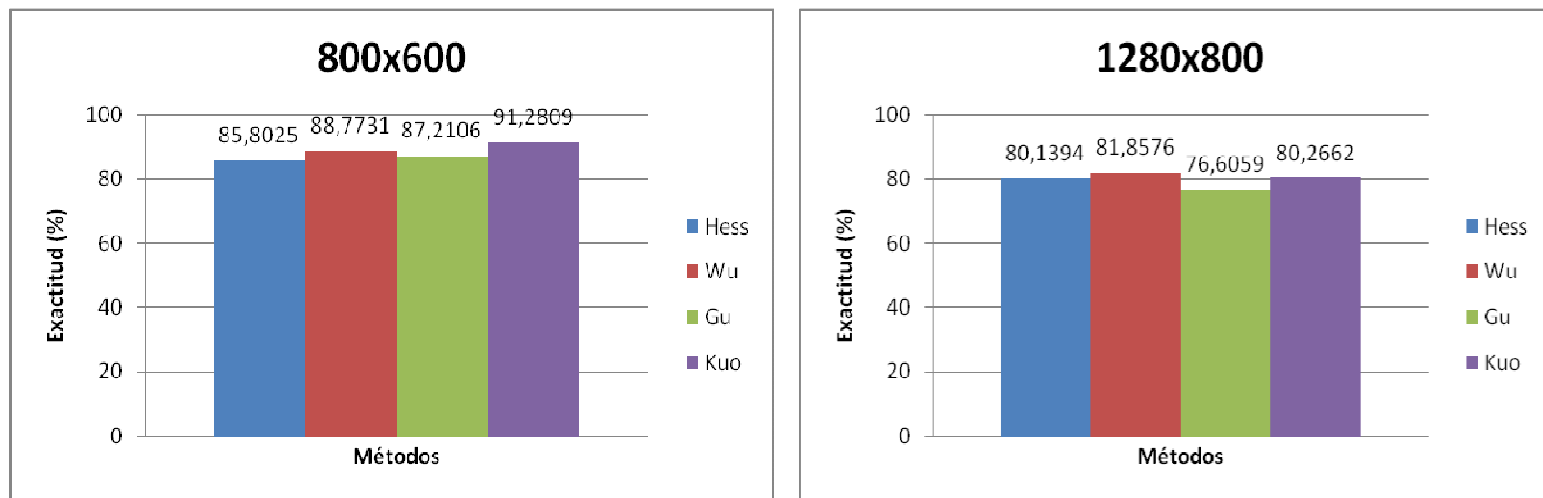
## 320x240



## 640x480







Gráfica 25. Exactitud media total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800.

Las imágenes de tamaño 320x240 pertenecen a las de la BBDD alemana, estas imágenes están tomadas a unos 30 cm de distancia, de frente y sin rotación de la cara, es decir, son adecuadas para obtener unos buenos resultados. Se observa en la Gráfica 25 que los valores de exactitud obtenidos son muy buenos para todos los métodos.

La mayor parte de las imágenes tomadas con una resolución de 640x480 están a un distancia lejana para obtener buenos resultados. Por ese motivo los niveles de exactitud se consideran aceptables pero no buenos.

Los resultados de las imágenes de 800x600 son bastante buenos, esto se debe a que la mayor parte de éstas imágenes están tomadas a una distancia entre 30 y 50 cm, es decir, cercana.

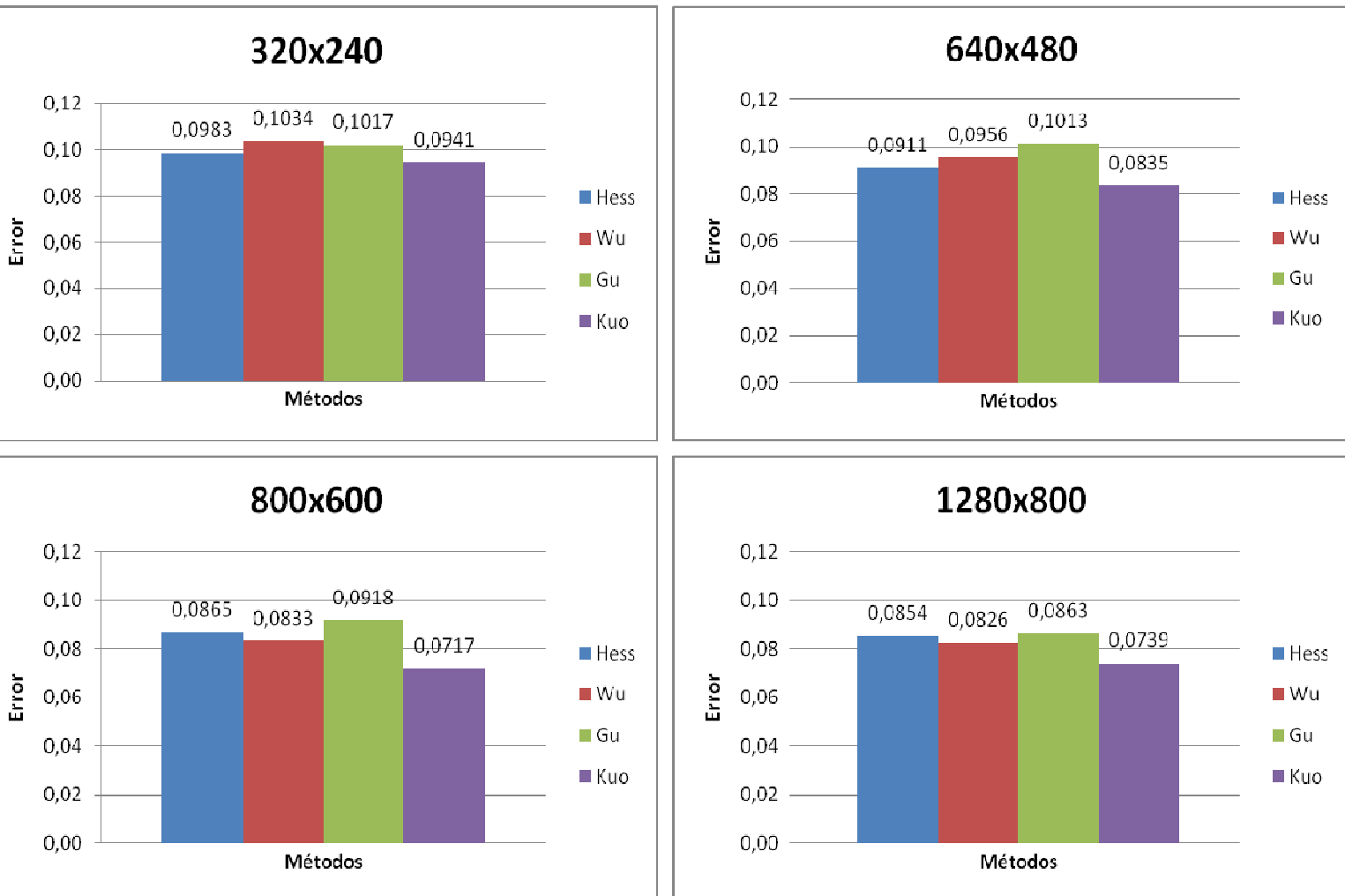
Una mayor resolución no implica una notable mejora a la hora de detectar puntos característicos faciales. Al ser una imagen de mayor resolución, todo, incluso las pequeñas arrugas de la cara se verán mejor, lo cual conlleva una mayor dificultad a la hora de discernir entre un punto característico u otro cualquiera. Por lo que la exactitud de las imágenes de 1280x800 no son tan buenas como se esperaban.

### 5.2.3.2. Error

		Error	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
320X240	Hess	0,0983	0,0578	0	0,2397
	Wu	0,1034	0,0574	0	0,2398
	Gu	0,1017	0,0580	0	0,24
	Kuo	0,0941	0,0531	0	0,2396
640x480	Hess	0,0911	0,0606	0	0,2391
	Wu	0,0956	0,0576	0	0,2399

	<b>Gu</b>	0,1013	0,0602	0	0,2399
	<b>Kuo</b>	0,0835	0,0528	0	0,2399
<b>800x600</b>	<b>Hess</b>	0,0865	0,0605	0	0,2387
	<b>Wu</b>	0,0833	0,0578	0	0,2392
	<b>Gu</b>	0,0918	0,0583	0	0,2398
	<b>Kuo</b>	0,0717	0,0509	0	0,2386
<b>1280x800</b>	<b>Hess</b>	0,0854	0,0625	0	0,2396
	<b>Wu</b>	0,0826	0,0591	0	0,2396
	<b>Gu</b>	0,0863	0,0650	0	0,2398
	<b>Kuo</b>	0,0739	0,0540	0	0,2399

Tabla 19. Error medio total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800.



Gráfica 26. Error medio total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800.

Las imágenes con una resolución mayor tienen menor error a la hora de detectar los puntos característicos, como se aprecia en la Gráfica 26. Aunque todas, con un error menor al 9% se consideran aceptables.

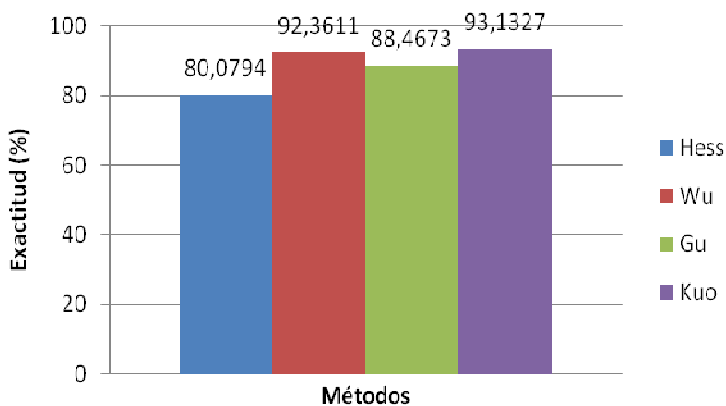
## 5.2.4. ESTUDIO DE LAS DISTINTAS RESOLUCIONES SIN TENER EN CUENTA LAS IMÁGENES INAPROPIADAS

### 5.2.4.1. Exactitud

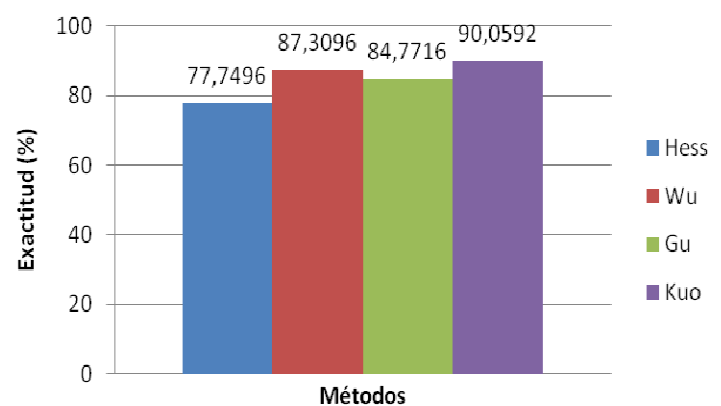
		Exactitud	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
320X240	Hess	80,0794	15,2572	16,6667	100
	Wu	92,3611	8,8118	33,3333	100
	Gu	88,4673	14,9880	12,5000	100
	Kuo	93,1327	13,9217	12,5000	100
640x480	Hess	77,7496	15,6984	33,3333	100
	Wu	87,3096	11,6816	50,0000	100
	Gu	84,7716	16,7423	37,5000	100
	Kuo	90,0592	10,9218	58,3333	100
800x600	Hess	88,0000	13,0669	50,0000	100
	Wu	91,2500	11,2317	58,3333	100
	Gu	89,7500	13,2477	37,5000	100
	Kuo	93,5417	10,1096	58,3333	100
1280x800	Hess	87,1921	15,9981	33,3333	100
	Wu	89,3678	11,1025	50,0000	100
	Gu	84,3596	12,5058	50,0000	100
	Kuo	88,0131	9,8109	50,0000	100

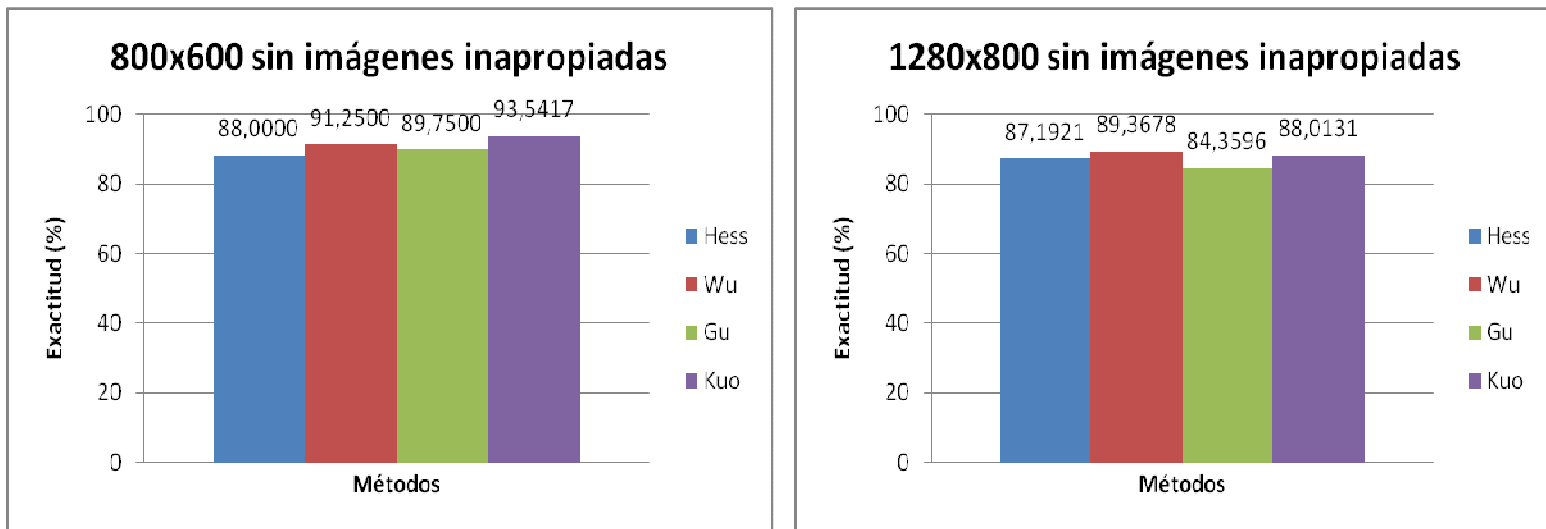
Tabla 20. Exactitud media total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800 sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

#### 320x240 sin imágenes inapropiadas



#### 640x480 sin imágenes inapropiadas





Gráfica 27. Exactitud media total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800 sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

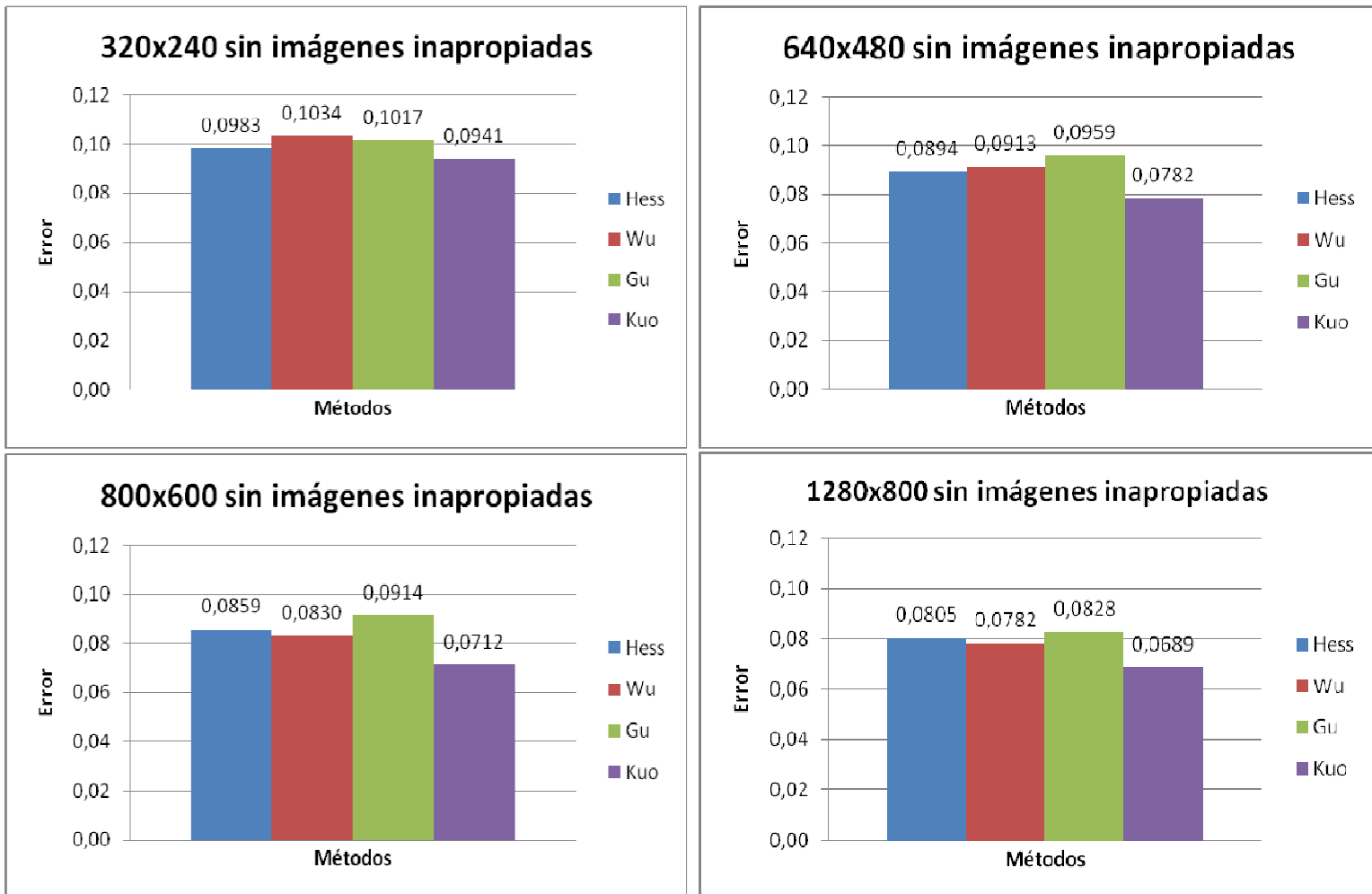
Los resultados para las imágenes de 320x240 son exactamente iguales ya que no hay ninguna imagen inapropiada en la BBDD alemana. Las de 800x600 tampoco varían casi porque hay pocas imágenes inapropiadas de esta resolución, sólo algunas poses giradas o caras muy rotadas. En cambio, las imágenes de 1280x800 mejoran notablemente debido a que entre éstas imágenes se encontraban la mayor parte de poses giradas y caras rotadas. En cuanto a las de resolución 640x480, su mejora es claramente visible, se han obtenido unos resultados muy buenos por el hecho de que aquí se encontraban la mayor parte de imágenes inapropiadas debidas a la lejanía.

#### 5.2.4.2. Error

		Error	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
320X240	Hess	0,0983	0,0578	0	0,2397
	Wu	0,1034	0,0574	0	0,2398
	Gu	0,1017	0,0580	0	0,24
	Kuo	0,0941	0,0531	0	0,2396
640x480	Hess	0,0894	0,0605	0	0,2379
	Wu	0,0913	0,0557	0	0,2394
	Gu	0,0959	0,0565	0	0,2385
	Kuo	0,0782	0,0504	0	0,2388
800x600	Hess	0,0859	0,0599	0	0,2387
	Wu	0,0830	0,0577	0	0,2392
	Gu	0,0914	0,0582	0	0,2398
	Kuo	0,0712	0,0508	0	0,2386
1280x800	Hess	0,0805	0,0595	0	0,2396
	Wu	0,0782	0,0565	0	0,2396
	Gu	0,0828	0,0632	0	0,2397

	<b>Kuo</b>	0,0689	0,0513	0	0,2399
--	------------	--------	--------	---	--------

**Tabla 21.** Error medio total, desviación estándar, valor mínimo y máximo de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800 sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.



**Gráfica 28.** Error medio total de los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo para las imágenes de 320x240, 640x480, 800x600 y 1280x800 sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas.

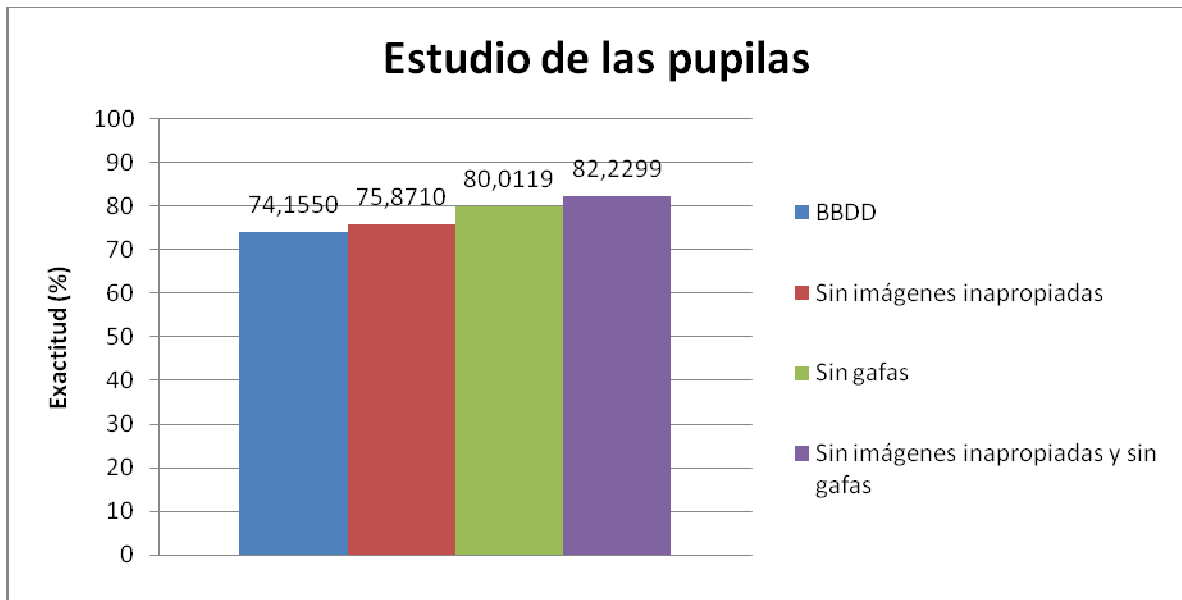
El error con y sin las imágenes inapropiadas es insignificante, varían unas milésimas, lo es que imperceptible. Los resultados siguen considerándose aceptables.

## 5.2.5. ESTUDIO DEL MÉTODO DE VALENTI

### 5.2.5.1. Exactitud

Exactitud	BBDD	Sin imágenes inapropiadas	Sin gafas	Sin imágenes inapropiadas y sin gafas
Media	74,1550	75,8710	80,0119	82,2299
Desviación estándar	38,4277	37,3768	35,8566	34,1132
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	100	100	100	100

Tabla 22. Exactitud media total, desviación estándar, mínimo y máximo del método de Valenti.



Gráfica 29. Exactitud media total del método de Valenti.

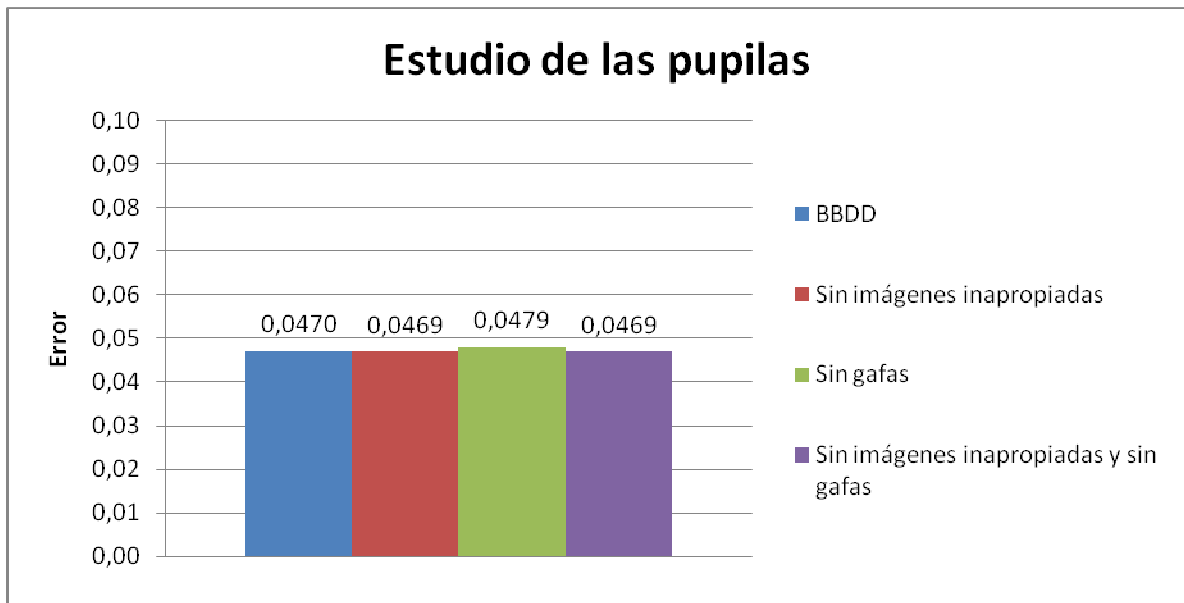
Para la detección de las pupilas mediante el método de Valenti se hacen varios estudios. Con todas las imágenes de la BBDD la exactitud obtenida es de aproximadamente 74%, sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas asciende a 76%, eliminando las imágenes con gafas mejora hasta un 80% y sin tener en cuenta las inapropiadas y las que tienen gafas obtenemos un 82% de exactitud, lo cual es un nivel bastante bueno.

### 5.2.5.2. Error

Error	BBDD	Sin imágenes inapropiadas	Sin gafas	Sin imágenes inapropiadas y sin gafas
Media	0,0470	0,0469	0,0479	0,0469
Desviación estándar	0,0322	0,0321	0,0323	0,0321

<b>Mínimo</b>	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	0,1796	0,1796	0,1796	0,1796

Tabla 23. Error medio total, desviación estándar, mínimo y máximo del método de Valenti.



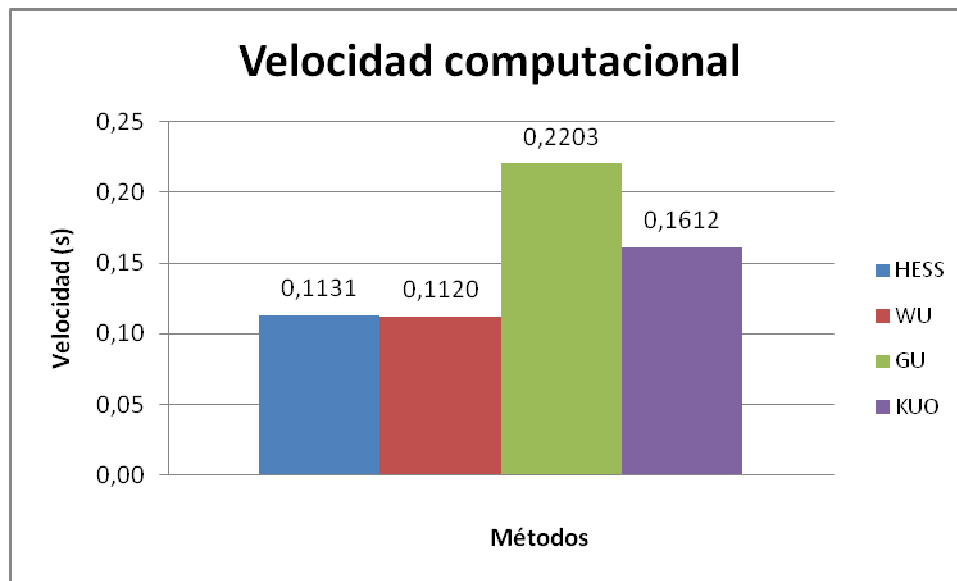
Gráfica 30. Error medio total del método de Valenti.

Todos los estudios realizados para la detección de las pupilas mediante el método Valenti dan unos errores muy bajos, menos de un 5%, lo cual son unos resultados muy buenos.

### 5.2.6. ESTUDIO DE LA VELOCIDAD COMPUTACIONAL

Tiempo(s)	Hess	Wu	Gu	Kuo
<b>Media</b>	0,1131	0,1120	0,2203	0,1612
<b>Desviación estándar</b>	0,0533	0,0502	0,1115	0,0594
<b>Mínimo</b>	0,0364	0,0377	0,0666	0,0532
<b>Máximo</b>	0,5693	0,6139	0,7150	0,5395

Tabla 24. Velocidad computacional media, desviación estándar, mínimo y máximo para los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.



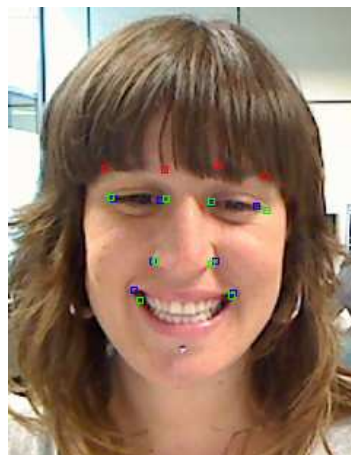
Gráfica 31. Velocidad computacional media para los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo.

Los métodos de Hess y Wu son lo más rápidos computacionalmente, mientras que Gu y Kuo contienen un proceso iterativo para encontrar el umbral de SUSAN que devuelva puntos que los ralentizan.



## 6. PROBLEMAS Y POSIBLES MEJORAS

- Los puntos característicos de la nariz que devuelve el método de Hess constituye uno de los mayores problemas de este PFC. Su exactitud no llega ni a un 50%, lo cual se considera un nivel bastante bajo. Al principio se pensó que el problema radicaba en que las subimágenes de la nariz no estaban extraídas de la misma manera que como proponía el propio método de Hess. Así que se decidió probar a extraer las imágenes de la nariz como el método de Hess; pero sus resultados no sólo no mejoraron sino que empeoraron. También se intentó sin éxito alguno variar las distancias geométricas utilizadas por Hess para hallar los puntos de la nariz. La única solución que vislumbro sería detectar los puntos de la nariz cambiando completamente el procedimiento que sugiere Hess.
- A la hora de etiquetar los puntos característicos de la nariz se decide marcar las aletas de éstas ya que los orificios no son siempre visibles. El problema radica en que los distintos métodos que componen el PFC se basan en propiedades que tienen que ver con el contraste y la extracción de bordes, lo que significa que si se ven los orificios los puntos característicos que devuelven los distintos métodos serán mayoritariamente éstos, y si no se ven, devolverá las aletas. Debido a esto los resultados obtenidos para la nariz son peores comparado con el resto de zonas características. Una posible solución a este problema puede ser etiquetar los orificios cuando sean visibles y las aletas en caso contrario.
- Los distintos métodos que componen este PFC no están diseñados para no devolver puntos en caso de oclusión. Es decir, si algún punto no está visible, como por ejemplo las cejas debido a la presencia de flequillo, la mayoría de las veces se devolverá un punto, siendo un Falso Positivo (puntos rojos en la Figura 16). Una manera de solucionar este problema puede ser mediante la herramienta ‘imclearborder’ de Matlab, la cual elimina los objetos que están unidos al borde.



*Figura 16. Falsos positivos en puntos que están ocultos.*

- Para normalizar el cálculo del error entre el punto marcado y el detectado por los distintos métodos se hace uso de la distancia inter-pupilar, es decir, la distancia que hay entre los centros de las pupilas. Pero no siempre se tiene esta distancia, por ejemplo cuando ambos ojos están cerrados o cuando la cara está girada lateralmente. En vez de optar por desechar estos resultados se propone el cálculo de la distancia inter-pupilar por medio de los extremos de los ojos, ya que el centro de la pupila está aproximadamente a una distancia media entre los extremos interno y externo del ojo. Como tercera opción se propone que la distancia para normalizar el error sea la distancia entre los extremos de la boca, ya que se ha visto que la gran mayoría tiene una distancia entre los puntos externos de la boca aproximadamente aunque ligeramente inferior a la distancia inter-pupilar. Si esta opción tampoco fuese válida se descarta la imagen, es decir, los errores para los puntos característicos de esa imagen serán NaN.

## 7. CONCLUSIONES

A la hora de abordar el PFC no sabía cuán robusto y eficaz serían los métodos implementados ni dónde se encontraban sus límites. Por ello en la BBDD se tomaron imágenes de todo tipo: variando posición, distancia, pose, iluminación, gestos, accesorios, etc. Muchas de éstas imágenes se consideraron inapropiadas, como las que tenían una distancia mayor a aproximadamente unos 60 cm de la cámara web, imágenes muy oscuras o con una fuerte iluminación lateral, caras giradas lateralmente o de frente y con gran ángulo de rotación, gestos excesivamente exagerados. Por este motivo los resultados no son tan buenos como serían si la BBDD hubiese sido realizada por imágenes adecuadas. Por consiguiente, una imagen tomada de frente, sin rotar, con una buena iluminación uniforme y a una distancia de unos 30 cm es fundamental para obtener unos buenos resultados.

Aparte de tomar las imágenes de un modo adecuado, otro parámetro que es clave para unos buenos resultados es la elección del umbral del algoritmo SUSAN. Se ha invertido mucho tiempo variando los umbrales de los distintos métodos para cada zona característica hasta obtener los más óptimos.

De los resultados obtenidos podemos decir que los puntos de la boca seguidos de los ojos son los más estables, aproximadamente con un 90% de exactitud. Esto es debido a que estas zonas están bien definidas y con un alto contraste con la piel en el caso de la boca. La nariz tiene una exactitud algo menor, en torno al 85% para Wu, Gu y Kuo y 55% para Hess. Estos resultados se consideran muy buenos considerando que es una zona difícil para detectar las aletas, ya que tiene un bajo contraste con la piel. Las cejas, que también poseen un alto contraste con la piel tienen la exactitud más baja, en torno al 85% para Kuo y 80% para Wu, porque no son una zona tan bien definida como puede ser la boca. Con los errores ocurre lo mismo, la boca y los ojos son los que menor error cometen, en torno a un 7% mientras que las cejas y sobretodo la nariz tienen un error mayor de entre 11 a un 13%. El error medio cometido para los métodos de Hess, Wu, Gu y Kuo no supera el 10%, considerándose unos muy buenos resultados.

De los estudios sin tener en cuenta las imágenes inapropiadas se concluye que la mejora es claramente notable. La exactitud de las cejas mejoran un 5%, los ojos entre un 4 y un 8%, la nariz entre un 5 y un 10% y la boca es la que sufre menos mejora, entre un 3 y un 5%, ya que es la zona más estable a la hora de detectar. El error medio varía unas milésimas, lo cual es imperceptible, por lo que el error se mantiene con y sin imágenes inapropiadas.

Para el método de Valenti se ha fijado un umbral de error menor que para la detección de puntos característicos obteniendo un 75% de exactitud con un error medio menor de 5%, lo cual se considera aceptable.

En lo concerniente a las distintas resoluciones, no se puede hacer una valoración objetiva de qué resolución es la que muestra mejores resultados debido a que las imágenes no han sido tomadas de manera uniforme. Lo que sí cabe resaltar es que aumentar la resolución implica aumentar el detalle, con lo cual resulta más complicado discernir entre un punto característico y otro cualquiera.

En conclusión, el método propuesto por el presente PFC, es decir, el método de Kuo es el que mayor exactitud presenta para la BBDD propuesta, en torno a un 88% y el que menor error comete.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Algoritmo de SUSAN. SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing. Stephen M. Smith and J. Michael Brady. Department of Engineering Science, Oxford University, Oxford, UK, 1995.
- Método de Wu. Automatic Facial Feature Points Detection with SUSAN Operator. Haiyuan Wu, Junya Inada, Tadayoshi Shioyama, Qian Chen and Tetsuo Simada. Dept. of Mechanical and System Engineering, Kyoto Institute of Technology, Japan. Faculty of Systems Engineering, Wakayama University, Japan, 2001.
- Método de Gu. Feature Points Extraction from Faces. Hua Gu, Guangda Su and Cheng Du. Department of Electronic Engineering, Research Institute of Image and Graphics, Tsinghua University, Beijing, China.
- Método de Hess. Facial Feature Extraction based on the Smallest Univalued Segment Assimilating nucleus (SUSAN) Algorithm. Mauricio Hess and Geovanni Martinez. Image Processing and Computer Vision Research Lab, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica.
- Método de Valenti. Accurate Eye Center Location and Tracking Using Isophote Curvature. Roberto Valenti and Theo Gevers. Intelligent Systems Lab Amsterdam, University of Amsterdam, The Netherlands.
- Introducción. Reconocimiento de rostros utilizando análisis de componentes principales: limitaciones del algoritmo. Carlos Villegas Quezada. Universidad Iberoamericana, México D.F, 2005.
- Introducción. Reconocimiento de caras frontales mediante la extracción de puntos característicos. Miguel Cortés Marlia. Universidad Autónoma de Madrid, Marzo 2009.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_shape\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Active_shape_model)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Biometric>