

# “Visión Artificial” en las Ingenierías de Informática: Propuesta Integradora para Cursos de Primer y Segundo Ciclo

J. F. VÉLEZ, A. SÁNCHEZ, A. B. MORENO y A. SANZ

Dept. de Informática, Estadística y Telemática  
Universidad Rey Juan Carlos  
c/Tulipán s/n, 28933 Móstoles (Madrid), España, Tel: (+34) 6647452 Fax: (+34)6647490  
E-mail: {j.f.velez, an.sanchez, a.b.moreno, a.sanz}@escet.urjc.es

*Resumen - Este artículo describe nuestra experiencia docente en la coordinación de las asignaturas de “Visión Computacional” y “Visión Artificial”, impartidas respectivamente en tercer curso de la titulación Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y en quinto curso de Ingeniería Superior en Informática de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. El artículo explica la problemática y la necesidad de la coordinación e integración de los contenidos docentes enseñados en ambos cursos con vistas a un mejor aprovechamiento global. También reflejamos el enfoque dado a ambas asignaturas, incidiendo especialmente en las prácticas propuestas, y el resultado de nuestra experiencia docente en los dos últimos años al impartir esta materia interdisciplinar a los alumnos de titulaciones informáticas.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Típicamente, en centros universitarios que imparten titulaciones técnicas y superiores en informática suelen ofrecerse como materias optativas diversos cursos de Visión Artificial. En la titulación de primer ciclo suele aparecer una asignatura introductoria, donde se estudian los procesos sistemáticos que aplicados sobre una imagen digital producen otra imagen modificada más apropiada para cierto propósito (por ejemplo, para ser visualizada, analizada, comprimida, etc.). En la titulación superior, normalmente en segundo ciclo, se imparte otro curso donde se profundiza en las técnicas de análisis de imágenes y se introducen otros elementos más avanzados de Visión Artificial, como por ejemplo la Visión Dinámica y la Visión Tridimensional.

En general, la Visión Artificial es una materia con aplicaciones múltiples en diversas disciplinas tanto científicas (biología, astronomía, meteorología, medicina,...) como industriales (robótica, procesamiento de documentos, arte, biometría,...) [1][7]. Como en otras áreas científicas, los problemas de Visión Artificial se pueden resolver de una manera metódica y estructurada. El análisis y el diseño eficiente de los algoritmos usados en las aplicaciones que trabajan sobre imágenes son componentes críticos en toda metodología de procesamiento de imágenes y visión artificial. Dado el elevado número de aplicaciones que manipulan imágenes, capturadas mediante diferentes tipos de sensores (cámaras, escáneres, digitalizadores 3D, etc.), resulta útil para la formación académica de un estudiante de Ingeniería Técnica y/o Superior en Informática,

disponer de conocimientos prácticos sobre las operaciones más importantes de tratamiento de imágenes y sobre la manera eficiente de implementar dichas operaciones. Estos conocimientos se podrían aplicar a otras materias afines, por ejemplo, “Robótica” o “Inteligencia Artificial”.

El enfoque que se propone para enseñar las asignaturas de Visión Artificial se ha aplicado conjuntamente a las asignaturas “Visión Computacional” de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y “Visión Artificial” de la Ingeniería Superior en Informática de la Universidad Rey Juan Carlos. Se basa principalmente en resaltar los aspectos algorítmicos de las técnicas de tratamiento de imágenes digitales en la asignatura de primer ciclo y profundizar en el análisis de imágenes, introducir nuevos paradigmas (p. ej. la Visión Dinámica) y mostrar aplicaciones reales simplificadas de Visión por Computador en la asignatura de segundo ciclo. La integración de esta propuesta global exige, entre otras cosas, una adecuada coordinación entre el profesorado que imparte ambos cursos para ajustar los contenidos de teoría y de prácticas explicados en las dos asignaturas.

A continuación, se describe la estructura del resto del trabajo. La sección 2 resume nuestras ideas generales sobre la enseñanza de la Visión Artificial en titulaciones informáticas. La sección 3 describe la asignatura de “Visión Computacional” de primer ciclo. La sección 4 presenta la asignatura de “Visión Artificial” de segundo ciclo. En la sección 5 se describe nuestra experiencia docente al impartir ambas asignaturas en los dos cursos

académicos anteriores. Finalmente, la sección 6 resume las conclusiones extraídas de esta propuesta.

## **2. REFLEXIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DE “VISIÓN ARTIFICIAL” EN TITULACIONES INFORMÁTICAS**

Como hemos indicado, la Visión Artificial es una materia interdisciplinar. Está relacionada con la informática, las matemáticas y la ingeniería, y también con otras áreas donde se puede aplicar (por ejemplo, la medicina o la geología). Este carácter interdisciplinar convierte a la materia en atractiva y de gran utilidad profesional pero, por otro lado, hace difícil el diseño de cursos, normalmente cuatrimestrales, basados en Tratamiento Digital de Imágenes y Visión por Computador. En consecuencia, el profesorado debe optar inevitablemente entre diferentes enfoques, por lo que los simples objetivos de la asignatura pueden variar mucho. Algunas consideraciones generales a tener en cuenta al planificar los contenidos y la orientación de los cursos de “Visión Artificial” son las siguientes:

- Se trata de una materia “en auge”.

Actualmente muchas empresas tienen una opinión bastante positiva sobre el futuro de las tecnologías de Visión Artificial. Su ámbito de aplicación no está solamente en el reconocimiento de objetos y en la interpretación de imágenes, sino en otros campos como: la realidad virtual, Internet y las bases de datos de imágenes.

- Los estudiantes necesitan algo más que teoría.

Aunque existe una parte teórica de la Visión por Computador que está bien definida, se necesita imperativamente un trabajo de laboratorio y de proyectos de visión con una orientación sobre los sistemas. Hacen falta prácticas cortas para familiarizar a los alumnos con cámaras, tarjetas digitalizadoras, etc. Se necesita dedicar tiempo a explicar a los alumnos proyectos reales que se puedan resolver (así como su solución) usando técnicas de Visión por Computador. En las soluciones es importante hacer énfasis en los aspectos de eficiencia y tiempo de respuesta de las aplicaciones desarrolladas.

- ¿Qué enseñar?

Estos cursos suelen ofertarse como materias optativas en los últimos años de titulaciones informáticas (ingenierías técnicas, ingenierías superiores o licenciaturas). Nuestra propuesta considera, además, el uso de técnicas algorítmicas para analizar y resolver problemas relacionados con el tratamiento digital de imágenes en la asignatura de primer ciclo, y una orientación tanto hacia la práctica de la visión artificial como a aspectos de introducción a la investigación en este área, en la asignatura de segundo ciclo.

- ¿Cómo enseñar?

La manera tradicional de ofrecer la materia es mediante clases magistrales de teoría y la realización de prácticas de laboratorio. Como elementos docentes complementarios proponemos: la impartición de conferencias por parte de especialistas en este campo, procedentes tanto del ámbito académico como de la industria; y la realización por parte de los alumnos de trabajos escritos relacionados con artículos de investigación en Visión Artificial.

Otro aspecto importante al impartir cursos relacionados con esta materia es conseguir clarificar al alumno la relación entre las técnicas de Visión Artificial y los problemas prácticos para los que se aplican, mostrando además los requisitos reales exigibles a las soluciones propuestas (por ejemplo, el tiempo de respuesta máximo requerido por la técnica implementada en un PC convencional).

## **3. ASIGNATURA “VISIÓN COMPUTACIONAL”**

### **3.1 Breve Descripción**

Esta asignatura es optativa, y se imparte en el tercer curso de la titulación de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas. Es una asignatura cuatrimestral (14 semanas) con tres horas lectivas por semana de las cuales se destinan en promedio dos horas a teoría y una hora a prácticas. La teoría debe aprobarse mediante un examen escrito. La parte práctica está organizada en: hojas de ejercicios y algunos problemas sobre tratamiento de imágenes (prácticas de laboratorio). Éstos últimos deben codificarse eficientemente usando un lenguaje de programación de alto nivel.

### **3.2 Enfoque**

La orientación que se da a esta asignatura es eminentemente práctica comparada con muchas de las ofertadas en el primer ciclo. Sin embargo, para la realización de las prácticas se requiere el conocimiento de un lenguaje de programación estructurada de alto nivel con capacidades multimedia (preferentemente Pascal, C o Java), junto con las técnicas algorítmicas y las estructuras de datos más usuales. Ello puede conseguirse tras haber cursado otras asignaturas troncales previas como “Metodología de la Programación” y “Estructuras de Datos y de la Información”, impartidas respectivamente en los cursos primero y segundo de la carrera. Es así que, aún siendo un curso con gran componente experimental, se le da un enfoque algorítmico basado en la aplicación de las técnicas de diseño de algoritmos y en la selección de las estructuras de datos apropiadas [2][3] para los diferentes procesos de análisis de imágenes. Con esta estrategia se pretende mostrar la aplicación de elementos de programación ya conocidos por los alumnos para resolver problemas Visión Artificial. Este intento de interrelación entre diferentes asignaturas de una titulación informática ha sido resaltado como muy provechoso por parte de otros autores [15]. En este sentido, la Tabla 1 muestra algunos

Técnica de diseño algorítmica	Ejemplo de su uso en la asignatura
Divide-y-vencerás	Filtro de mediana (realzado) <i>Split-and-merge</i> (segmentación)
Técnica voraz	Códigos de Huffman (compresión) Árbol de recubrimiento (clasificación)
Backtracking	Componentes conexas (reconocimiento) Crecimiento de regiones (segmentación)
Programación dinámica	Contorno óptimo (extracción de características) Detección de líneas (extracción de características)
Transformación del dominio	FFT (filtrado en el dominio de la frecuencia) Transformada de Hough (segmentación)

Tabla 1. Técnicas de diseño de algoritmos asociadas a distintos ejemplos de procesamiento de imágenes.

ejemplos sobre cómo integrar las técnicas de diseño de algoritmos en nuestro curso [14]. Consideramos también importante recalcar los aspectos de eficiencia de los algoritmos de imágenes para completar o insistir en puntos claves de asignaturas más propias de diseño de algoritmos de un primer ciclo de informática. Tal vez, un algoritmo inicial diseñado usando una técnica particular no es aplicable directamente en la práctica. Por ejemplo, esto ocurre cuando se usa *backtracking* con objeto de implementar un método de etiquetado de regiones conexas en una imagen digital [6]. En este caso, se identificará y explicará un algoritmo más eficiente, basado en el uso de la programación dinámica. Es útil para los estudiantes aplicar esta estrategia de “refinamiento” de la solución para descubrir un mejor algoritmo con respecto a los requerimientos de tiempo de ejecución y memoria.

### 3.3 Programa de la asignatura

A continuación, se muestra un esbozo de los temas cubiertos en las clases de teoría junto con el número de semanas dedicadas a cada tema (entre paréntesis):

1. Introducción: problemas y aplicaciones (1)
2. Adquisición de imágenes digitales (1)
3. Muestreo y cuantización de imágenes (1)
4. Filtrado y realzado de imágenes (3)
  - a. operaciones de tratamiento a nivel de píxeles y de regiones,
  - b. transformaciones geométricas sobre imágenes,
  - c. tratamiento en el dominio de la frecuencia.
5. Análisis de imágenes (3):
  - a. segmentación,
  - b. extracción de características,

- c. reconocimiento de formas.
6. Compresión de imágenes (2).
7. Aspectos avanzados (3):
  - a. morfología matemática,
  - b. introducción a la visión tridimensional,
  - c. visualización de datos.

Durante el curso se utilizan varios libros, aunque no encontramos ninguno totalmente adaptado para el curso completo. Es por ello, que hemos escrito nuestro propio texto para la asignatura [16], adaptado exactamente a los contenidos y al tiempo disponible para impartirla. Un libro complementario bastante utilizado es el de González y Woods [6]. Otros libros de texto que permiten al alumno profundizar en los temas de la materia explicada son: Jain et al. [7], Baxes [1] y Maravall [9].

### 3.4 Prácticas

Ambos cursos de “Visión Artificial” tienen un laboratorio con equipamiento común. Los recursos de hardware y software disponibles son: diez PCs (Pentium III y Pentium IV), tres tarjetas digitalizadoras Matrox Meteor 2/4, su software de digitalización y tratamiento de imágenes Matrox Imaging Libraries (MIL) [11], dos cámaras de vídeo analógicas convencionales, una cámara de vídeo analógica industrial y una videocámara digital, una tarjeta de adquisición de vídeo digital con entrada IEEE1394 y software de edición de vídeo Pinnacle, varias *webcams*, una GPU Nvidia GeForce4 Ti4600, un digitalizador 3D de contacto y varios sistemas 2D de barrido, software MATLAB 6.1 [10] con las *toolboxes* de *Image Processing* [12], *Neural Networks* y *Fuzzy Control*, así como instrumental de apoyo a los dispositivos.

Las prácticas de laboratorio consisten en la realización de una o varias operaciones básicas, descritas previamente en las clases de teoría, sobre imágenes digitales. Tras la presentación en profundidad de una clase de operaciones sobre imágenes y de sus algoritmos asociados, el énfasis se pone en ayudar a los alumnos a descubrir cómo implementar estas operaciones. Es muy importante recalcar la eficiencia de los algoritmos de imágenes [2]. Tal vez un algoritmo diseñado inicialmente, de forma poco eficiente, usando una técnica algorítmica particular no sea aplicable en la práctica. En este punto, se explicará un nuevo algoritmo más apropiado para la resolución del mismo problema. Nosotros consideramos útil que los estudiantes aprendan “por refinamiento” a identificar un mejor algoritmo en relación con los requerimientos de tiempo y memoria.

Las prácticas propuestas son individuales y diferentes para cada alumno. Cada enunciado de prácticas contiene una descripción corta de su propósito, los datos de entrada, los resultados que debe proporcionar, y en algunos casos la(s) técnica(s) de diseño de algoritmo(s) que se han de utilizar con objeto de tener una implementación más eficiente. Muchas de las prácticas están orientadas a una técnica de diseño específica (por ejemplo, “divide y vencerás”, búsqueda con retroceso, etc.), y los estudiantes deben explicar también por qué la técnica elegida resulta aplicable en relación con la eficiencia de la solución. De las prácticas propuestas en el curso, resumimos tres a continuación.

- Componentes conexas de una imagen:

Una de las operaciones más comunes en tratamiento de imágenes digitales consiste en encontrar las componentes conexas en una imagen [6][7]. Por ejemplo, en tareas de segmentación, los puntos (píxeles) de una componente conexas forman una región candidata para representar un objeto (o parte de él) en una imagen. Un algoritmo de etiquetado de componentes conexas encuentra todas las componentes de una imagen y asigna una única etiqueta a todos los puntos que están en la misma componente. En esta práctica, se pide a los alumnos que diseñen e implementen un algoritmo recursivo para el problema propuesto siguiendo el esquema de *backtracking* o búsqueda con retroceso [2][3], dado un píxel de comienzo. También se pide a los estudiantes que identifiquen otro algoritmo equivalente y más eficiente (no recursivo) usando una estructura de datos auxiliar (árbol cuaternario o *quadtree*) para almacenar los vecinos de cada píxel. La Figura 1 muestra una imagen binaria y su correspondiente representación usando un *quadtree*.

- Filtro de mediana:

El filtro de mediana es un filtro de rango, que sustituye cada píxel de una imagen por la mediana de los valores de gris en su vecindad local [1]. Si la vecindad de un píxel se considera de tamaño 3x3, esta región se puede convertir en un vector, que se ordena primero por valores de intensidad no decreciente, y luego se selecciona el valor de intensidad situado en la posición mediana de

dicho vector. Se pide a los estudiantes que diseñen un algoritmo de ordenación eficiente que siga la técnica “divide y vencerás” [2] para obtener la mediana, y luego se aplica dicho filtro a toda la imagen original para obtener una nueva imagen filtrada.

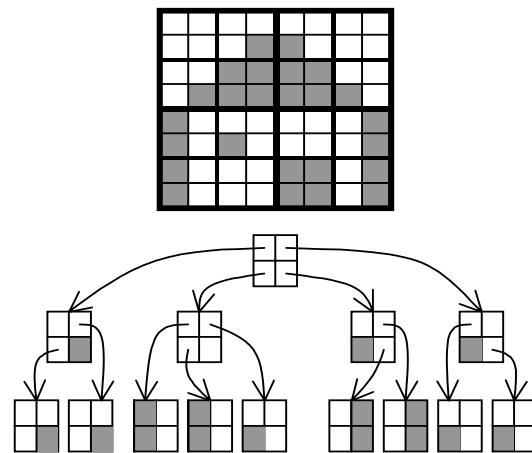


Figura 1.- Ejemplo de una imagen binaria y su correspondiente representación “quadtree” para segmentarla.

- Códigos de Huffman:

El objetivo de esta práctica es construir la representación comprimida de una imagen mediante la técnica de los códigos de Huffman [6]. La compresión de Huffman de una imagen es una técnica de codificación sin pérdida. Los niveles de intensidad de los píxeles se sustituyen por códigos de longitud variable basados en la frecuencia de ocurrencia para cada nivel de intensidad en la imagen dada. Una tarea inicial para los estudiantes consiste en obtener el histograma de la imagen con las frecuencias de ocurrencia de cada valor de intensidad en la imagen. Se sugiere, a continuación, un algoritmo voraz [2][3] que permita asignar los códigos más cortos a los niveles con ocurrencias más frecuentes. Finalmente, hay que realizar un análisis de la eficiencia del algoritmo desarrollado.

## 4. ASIGNATURA “VISIÓN ARTIFICIAL”

### 4.1 Breve Descripción

Esta asignatura también es optativa cuatrimestral (14 semanas), y se imparte en el quinto curso (segundo ciclo) de la titulación de Ingeniería Superior en Informática. Las cuatro horas lectivas por semana de que consta, se dividen al 50% entre teoría y prácticas.

### 4.2 Enfoque

La evaluación de esta asignatura tiene un componente más práctico que la de primer ciclo. Como se ha comentado, se profundiza en lo estudiado en la asignatura de primer ciclo (Análisis de Imágenes), se introducen nuevos temas más avanzados (Visión

Dinámica y Visión 3D) y se proponen prácticas más orientadas a problemas industriales.

Si bien en la asignatura de primer ciclo las prácticas eran resueltas fundamentalmente con lenguajes y entornos de programación de alto nivel, en esta asignatura utilizamos básicamente MATLAB [10] como herramienta de prototipado rápido. El entorno de ventanas de su versión 6.1 junto con la *toolbox* de procesamiento de imágenes [12] ofrecen unas herramientas adecuadas para la realización de las prácticas. También se ha usado para la realización de prácticas, en las que se capturaban imágenes con una cámara CCD y que después se digitalizaban, la librería de tratamiento de imágenes Matrox MIL[11].

Esta asignatura pretende iniciar al alumno hacia la investigación en este área mediante la realización de trabajos basados en artículos científicos. También, se ha invitado a personas con experiencia en la investigación y desarrollo de aplicaciones basadas en Visión por Computador para la realización de seminarios y divulgación de trabajos de relevancia, dentro del horario de la asignatura. De esta manera, se opta por dar un atractivo carácter investigador y de futuro laboral real. En este sentido han colaborado investigadores del CSIC, Universidad de Toulouse (Francia), PUC de Parana (Brasil), así como de empresas dedicadas al análisis de documentos. Ello permite al alumno entender parcialmente la problemática de las aplicaciones del mundo real que hacen uso de técnicas de Visión Artificial.

#### 4.3 Programa de la asignatura

Puesto que la asignatura de primer ciclo es de carácter optativo se da la circunstancia de que gran parte de los alumnos matriculados en “Visión Artificial” no tienen los conocimientos específicos que se enseñan en la asignatura de “Visión Computacional”. También se puede dar el caso de que el alumno llegue a la asignatura con la de primer ciclo superada. Por esta razón, la asignatura de segundo ciclo comienza realizando un resumen de lo explicado en “Visión Computacional” de manera más rápida (fundamentalmente centrándose en el Análisis de Imágenes Digitales), al mismo tiempo que se introducen progresivamente aspectos del Análisis de Imágenes no estudiados en la asignatura de primer ciclo. Luego la asignatura se adentra en temas más específicos y con una problemática añadida: Visión Dinámica y Visión Tridimensional. Las últimas sesiones del curso se centran en la exposición los trabajos sobre artículos de investigación y de los proyectos a los que cada grupo de alumnos se tiene que enfrentar a lo largo de los dos últimos meses del curso. A continuación, se enumeran los temas explicados en las clases de teoría junto con el número de semanas dedicadas a cada tema (entre paréntesis):

1. Introducción: panorámica general (1)

2. Análisis de imágenes (5):
  - a. preproceso (filtrado y realzado) de imágenes digitales,
  - b. segmentación,
  - c. características y representación de regiones y objetos, y
  - d. reconocimiento de patrones.
3. Visión dinámica (2):
  - a. visión dinámica y detección de movimiento, y
  - b. seguimiento.
4. Compresión de imágenes (1):
  - a. métodos de compresión sin pérdida, y
  - b. métodos de compresión con pérdida.
5. Visión tridimensional (3):
  - a. técnicas de adquisición de datos 3D, y
  - b. descripción y reconocimiento de objetos 3D.
6. Seminarios y presentación de trabajos (2).

La bibliografía básica recomendada se centra en textos generales como: González y Woods [6], Duda et al [4], Pajares y de la Cruz [13], A. de la Escalera [5], y los anteriormente citados Jain et al. [7] y Baxes [1]. Además, para cada tema concreto se abordan referencias de artículos científicos de interés especial, que se pueden conseguir en Internet y/o la biblioteca de la universidad.

#### 4.4 Prácticas

En esta subsección se describen someramente algunas prácticas de programación (de carácter individual) y algunos proyectos (en grupos de tres personas), que deben ser realizados por los alumnos en la asignatura de “Visión Artificial”. Las prácticas resultan ser una aplicación casi directa de lo explicado en teoría. Los proyectos presentan una complejidad de realización mayor, abordando el desarrollo de aplicaciones reales simplificadas. También se ha recalado que, en los proyectos, el tiempo de respuesta de la aplicación es un factor importante a considerar [8]. Para motivar a los estudiantes sobre la importancia de implementar programas eficientes, se les pide algún tipo de medida de la eficiencia de su solución. A continuación, se describen brevemente tres prácticas y dos proyectos de programación propuestas a los alumnos.

##### Prácticas (individuales)

- *Implementación de un filtro MMSE.*

El filtro MMSE (Mínimo Error Cuadrático Medio) [6] es de tipo adaptativo que hace uso del conocimiento de la varianza local de una imagen para determinar si un filtro de media se aplica a la región local (por ejemplo, de 3x3 ó 5x5 píxeles) o no. Como es conocido, el filtro de media degrada los detalles de las imágenes por lo que en situaciones de alta varianza local debe evitarse aplicarlo, no así en regiones de varianza local pequeña, que

corresponderán a regiones más homogéneas. Se pide que los alumnos realicen en MATLAB las funciones necesarias para implementar dicho filtro y que realicen estudios comparativos para diferentes imágenes y tamaños de regiones locales.

- *Reconstrucción morfológica de imágenes de códigos de barras.*

Leer un código de barras de una imagen que ha sido escaneada previamente es un problema bien conocido en la práctica. Dicho problema lleva asociados otros debidos a la técnica no especificada usada por los escáneres para capturar las imágenes. Generalmente, éstos capturan las imágenes en niveles de gris, mientras que los lectores de códigos de barras trabajan sobre imágenes binarias (monocromas, o en blanco y negro). La conversión de una imagen en niveles de gris a una imagen binaria se denomina umbralización. Los escáneres avanzados usan procedimientos de umbralización regional para tal operación. Dichos métodos realzan la calidad visual de las imágenes eliminando zonas oscuras homogéneas. Sin embargo, tienen efectos perniciosos sobre los códigos de barras, precisamente porque los códigos de barras son zonas oscuras homogéneas (como se observa en la Figura 2).

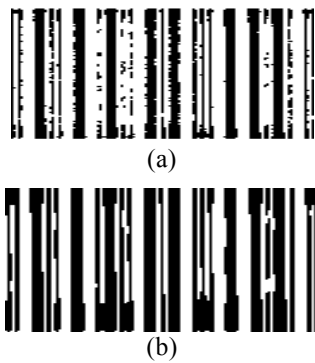


Figura 2. En la imagen superior, se muestra un código de barras degradado debido al uso de umbralización regional. En la imagen inferior, el resultado de la construcción del mismo código de barras usando una dilatación morfológica.

Para el realce de la región de la imagen que contiene el código de barras, los alumnos han de proponer e implementar un procedimiento de reconstrucción. Primero, el sistema debe encontrar la región de la imagen que contiene el código de barras (por ejemplo usando un algoritmo de *split-and-merge*). Luego, se aplica un procedimiento de reconstrucción (por ejemplo basado en la operación de dilatación morfológica). El tiempo total de respuesta debe ser menor que un segundo por imagen en un PC estándar.

- *Detección de movimiento en escenas dinámicas.*

La detección de movimiento en escenas dinámicas tiene especial interés en campos como la videovigilancia, el control, la robótica, etc. En esta práctica de laboratorio,

se pide al alumno que trate de segmentar las regiones en movimiento respecto a un fondo estático de una secuencia de imágenes. Para ello se pide detectar el movimiento entre cuadros implementando varios métodos descritos en clase, en concreto: la imagen diferencia para cada par de imágenes consecutivas, la imagen de diferencias acumuladas de la secuencia, y el algoritmo de Horn y Schunck [7] para la detección de las componentes de flujo óptico, mostrando resultados para diferentes constantes multiplicativas  $\alpha$  y número de iteraciones  $n$  de la siguiente solución propuesta:

$$u^{n+1} = \bar{u}^n - I_x \frac{I_x \bar{u}^n + I_y \bar{v}^n + I_t}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2}$$

$$v^{n+1} = \bar{v}^n - I_y \frac{I_x \bar{u}^n + I_y \bar{v}^n + I_t}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2}$$

### Proyectos (grupos de 3 alumnos)

- *Calibración de dos cámaras de un par estéreo.*

El objetivo de este proyecto es que los alumnos lleve a cabo la calibración de dos cámaras. Esta tarea es necesaria para la creación de un sistema de visión estéreo tridimensional.

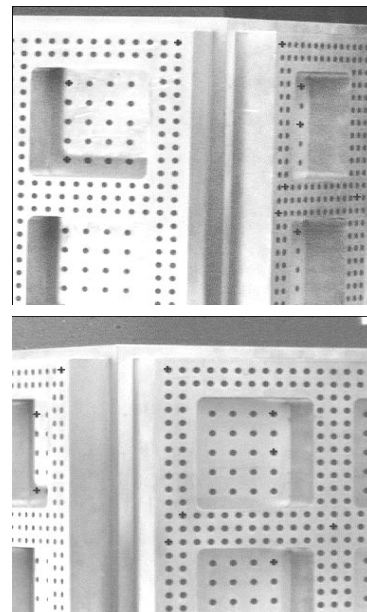


Figura 3.- Imágenes de la plantilla de calibración. Los 10 puntos que se utilizan para la calibración aparecen marcados con una cruz. Estas dos imágenes junto con las coordenadas 3D de los puntos marcados se proporcionan al alumno para la realización de la práctica.

Se propone que el modelo de cámara a emplear sea el de la transformación perspectiva directa. Ésta se obtiene mediante la resolución un sistema de ecuaciones lineales sobredeterminado y se representa por una matriz de dimensión 3x4, que aplicada a puntos del espacio tridimensional proporciona sus proyecciones en la imagen. Para el cálculo de los modelos de las cámaras el



Figura 4. Imagen final segmentada con las ayudas visuales luminosas detectadas y agrupadas en líneas.

alumno hará uso de MATLAB, que proporciona las funciones matemáticas necesarias (p.e. el cálculo de la pseudoinversa de una matriz). Para la calibración de las cámaras el alumno cuenta con dos imágenes de una plantilla de calibración (adquiridas cada una con una de las cámaras a calibrar) y un fichero que contiene las coordenadas 3D ( $x,y,z$ ) de puntos de la misma. La Fig. 3 muestra dichas imágenes y los puntos 3D que se utilizarán. Finalmente, con objeto de mostrar la utilidad de la calibración, se utilizarán los modelos de las cámaras obtenidos, como entrada para calcular puntos 3D de otras imágenes adquiridas también con esas cámaras, mediante el desarrollo de los programas correspondientes.

- *Extracción automática de ayudas visuales en imágenes de pistas de aterrizaje.*

Un sistema que realiza extracción automática de objetos relevantes en imágenes de pistas de aterrizaje tiene numerosas aplicaciones. Puede ser útil en aplicaciones de importancia práctica, como el mantenimiento automático de la iluminación de las pistas de vuelo o para asistir al piloto en aviones no equipados con ILS (Sistemas de Aterrizaje Instrumental, en inglés *Instrumental Landing Systems*). Para simplificar el problema, sólo se consideran imágenes nocturnas de pistas de vuelo, de manera que aparecen iluminadas artificialmente para destacar los elementos de interés (ver Figura 4).

Se pide a los alumnos que construyan un sistema que haga una extracción automática de ciertos objetos luminosos relevantes en imágenes de pistas de aterrizaje, agrupando los objetos en líneas, como se aprecia en la Fig. 4. La organización de este proyecto tiene dos etapas principales: 1) segmentación de las ayudas visuales luminosas (por ejemplo usando un procedimiento de umbralización), y 2) asociación en líneas de elementos de luz encontrados (por ejemplo utilizando la

transformada de Hough) según un modelo propuesto de pista de aterrizaje.

## 5. EXPERIENCIA DOCENTE EN LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS

La Universidad Rey Juan Carlos es la sexta y más reciente universidad pública de la Comunidad de Madrid. Las titulaciones de Ingeniería Informática puestas en marcha desde su nacimiento han sido las Técnicas de Sistemas y Gestión (a partir del curso 1997/98), el segundo ciclo de la Ingeniería Superior (curso 2000/01) y el primer ciclo de la misma (a partir del presente curso 2002/03).

En el poco tiempo de implantación de las asignaturas de "Visión Computacional" (desde el curso académico 1999/00) y "Visión Artificial" (desde el curso 2001/02) se ha constatado la motivación de los estudiantes al elegir ambas asignaturas, teniendo en cuenta las menores posibilidades laborales de la Visión por Computador aunque se trata de un área en expansión (frente a otras áreas donde puede haber una mayor demanda de informáticos, como la Ingeniería de Software). Tanto es así que los proyectos de fin de carrera ofertados, en relación con nuestras asignaturas, se han tenido que multiplicar para equilibrar la demanda de los alumnos. Se da el caso de que los alumnos matriculados por el momento en el segundo ciclo de la Ingeniería Superior en Informática provienen de las titulaciones de Informática Técnica de Sistemas y Gestión de la propia universidad y un número menor, de otras universidades mediante convalidación de planes de estudio. Teniendo en cuenta la reciente implantación del primer ciclo de la Ingeniería Superior en Informática (abierto tan sólo su primer curso en este periodo docente 2002/03) podemos prever un aumento sustancial en los próximos años en la afluencia de alumnos a la asignatura de "Visión Artificial" de segundo ciclo.

Por otro lado, los alumnos que han cursado ambas (o alguna de las) asignaturas, han valorado positivamente en las encuestas docentes el enfoque coordinado y progresivo propuesto. En general, han manifestado que “el enfoque elegido para enseñar cada una de las dos asignaturas les ha ayudado a comprender los contenidos de teoría explicados” y que “la propuesta de prácticas y de proyectos de programación les ha resultado adecuada e interesante”. También, aquellos alumnos de segundo ciclo (aproximadamente el 40 %) que cursaron “Visión Artificial” (segundo ciclo) pero que no “Visión Computacional” (primer ciclo), por el carácter optativo de ambas asignaturas, han valorado muy positivamente el tiempo dedicado en “Visión Artificial” a realizar una rápida introducción a lo explicado en la asignatura precedente. Esta introducción está centrada fundamentalmente en los aspectos generales de la Visión por Computador y en el Análisis de Imágenes Digitales.

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un enfoque coordinado y gradual aplicable a dos asignaturas optativas de Visión Artificial, impartidas respectivamente en una titulación técnica (primer ciclo) y en otra superior (segundo ciclo) de Informática. El enfoque tiene una marcada orientación algorítmica para la asignatura de primer ciclo y un enfoque más aplicado a la investigación y al desarrollo de proyectos reales, para la de segundo ciclo. En ambos casos, las prácticas propuestas juegan un papel muy importante en cada uno de los cursos, habiéndose mostrado algunos ejemplos de éstas.

En un primer ciclo los alumnos deben entender que los requisitos de eficiencia (en tiempo de respuesta y memoria) de las aplicaciones son muy importantes y restrictivos en los algoritmos, y concretamente en los de Visión. Por ello, tienen que ser conscientes de lo importante que es el uso de algoritmos eficientes en sistemas de tratamiento de imágenes. El conocimiento de las Técnicas de Diseño de Algoritmos y las Estructuras de Datos previamente estudiadas, les pueden ayudar a plantear las soluciones a los problemas de Visión Artificial propuestos y, en algunos casos, también ofrecen las soluciones óptimas para dichos problemas. Nuestra propuesta consiste en establecer, cuando sea posible, la conexión de “Visión Computacional” con asignaturas cursadas como “Metodología y Tecnología de la Programación” o “Estructura de Datos y de la Información”.

Sin embargo, en un último curso del segundo ciclo, nuestro mayor interés radica en despertar la convicción de la Visión Artificial como una alternativa laboral o investigadora reales, ofreciendo un planteamiento más sugerente y sin perder la rigurosidad de los temas que se abordan. Es por ello que los entornos de programación utilizados sean mucho más prácticos, reduciendo así los tiempos de desarrollo de las prácticas y centrando la atención en otros aspectos de los problemas planteados (por ejemplo, en la medida de la “calidad” de las

soluciones conseguidas y en la eficiencia de las mismas). Las propuestas de proyectos para grupos de alumnos, están pensadas como simplificaciones de aplicaciones industriales reales, lo que motivó enormemente a los alumnos de la titulación informática. Esto también les ha permitido analizar e implementar de forma sistemática y estructurada soluciones realistas. Esperamos mejorar estos cursos cuando se vuelvan a impartir en años sucesivos. Información adicional sobre estas asignaturas aparece en: <http://www.escet.urjc.es/~visionc>.

## REFERENCIAS

- [1] G.A. Baxes, *Digital Image Processing. Principles and Applications*, J. Wiley, 1994.
- [2] G. Brassard y P. Bratley, *Fundamentos de Algoritmia*, Prentice-Hall, 1997.
- [3] T.H. Cormen, C. E. Leiserson y R. L. Rivest, *Introduction to Algorithms*, The MIT Press, 1990.
- [4] R.O. Duda, P.E. Hart y D.G. Stork, *Pattern Classification*, 2ª Ed, John Wiley & Sons, 2001.
- [5] A. de la Escalera, *Visión por Computador*, Prentice-Hall, 2001.
- [6] R.C. González y R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1992.
- [7] R. Jain, R. Kasturi y B.G. Schunk, *Machine Vision*, McGraw Hill, 1995.
- [8] I. Kabir, *High Performance Computer Imaging*, Manning, 1997.
- [9] D. Maravall, *Reconocimiento de Formas y Visión Artificial*, Ed. Ra-Ma, 1993.
- [10] The MathWorks Inc., Matlab v. 6.1, 2001.
- [11] Matrox Electronic Systems Ltd, Matrox Imaging Library Reference Manual, Ver 6.1, 1999.
- [12] The Mathworks Inc, Image Processing Toolbox: User's Guide, Version 3, 2001.
- [13] G. Pajares y J.M. de la Cruz, *Visión por Computador*, Ed. Ra-Ma, 2001.
- [14] A. Sánchez, J. Vélez, A.B. Moreno y J.L. Esteban, “Introducing Algorithm Design Techniques in Undergraduate Digital Image Processing Courses”, *Intl. J. of Pattern Recogn. and Art. Intell.*, v. 15. Nº 5, págs. 789-804, 2001.
- [15] S. Sarkar y D. Goldgof, “Integrating Image Computation in Undergraduate Level Data-Structure Education”, *Intl. J. Pattern Recogn. and Art. Intell.*, v. 12, Nº 8, págs. 1071-1080, 1998.
- [16] J.F. Vélez, A.B. Moreno, A. Sánchez y J.L. Esteban, *Visión por Computador*, Ed. Dykinson, 2003.