

# Introducción a la de Computación Gráfica

Claudio Delrieux  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras  
Universidad Nacional del Sur  
Bahía Blanca  
claudio@acm.org

Juliana Gambini  
Departamento de Computación  
Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad de Buenos Aires  
jgambini@dc.uba.ar



---

## Prefacio

El objetivo de este texto es servir de apoyo al curso introductorio de Computación Gráfica a dictarse en el Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, en el primer cuatrimestre de 2003. El curso busca proveer un fundamento conciso pero completo en el tema, tanto en la teoría como en los aspectos de implementación de sistemas gráficos. Hemos buscado adaptar los temas a un auditorio lo más amplio posible. Cualquier graduado o alumno avanzado de Ingeniería, Ciencias de la Computación o disciplinas afines debería poder abordar este texto sin inconvenientes. En particular, se requiere una base adecuada en programación en algún lenguaje estructurado (hemos elegido Pascal) y conocimientos elementales de Geometría Analítica. Los ejercicios sugeridos al final de cada Capítulo tienen como objetivo orientar en la secuencia de construcción y uso de los distintos componentes de un sistema gráfico. La resolución de cada ejercicio, además, sirve de apoyo a la comprensión de los temas teóricos.

En el Capítulo 1 se presenta una breve síntesis de las aplicaciones de la Computación Gráfica y su desarrollo histórico. En el segundo Capítulo se describen los elementos básicos del *hardware* gráfico y su funcionamiento, y las técnicas de discretización de primitivas gráficas (segmentos de recta, circunferencias e interior de polígonos), adaptadas a las condiciones de funcionamiento en dicho hardware. En el Capítulo 3 se presentan los elementos constitutivos de la denominada *tubería* de procesos gráficos en dos dimensiones: estructuras de datos para representación de primitivas, transformaciones afines representadas en coordenadas homogéneas y procedimientos de *windowing* y *clipping*. También se introducen brevemente los lineamientos generales para la implementación de bibliotecas gráficas.

El Capítulo cuarto está enfocado hacia el problema de la aproximación e interpolación de curvas, en particular las curvas definidas por medio de puntos de control. En la primera parte del mismo se detallan las características y requisitos que son necesarios en Computación Gráfica para aproximar curvas por medio de descripciones interactivas. La segunda parte es una breve introducción a los métodos clásicos de la teoría de interpolación y aproximación polinomial, y su implementación computacional. Como los mismos no satisfacen adecuadamente los requisitos mencionados, la tercera parte de este capítulo presenta el desarrollo histórico de los métodos de aproximación desarrollados en Computación Gráfica, comenzando por el *algoritmo de de Casteljau* basado en interpolaciones afines sucesivas, introduciendo luego la presentación de Bézier basada en la familia de bases polinomiales de Bernstein. En la cuarta parte se muestra cómo las ideas de Bézier-de Casteljau fueron incorporadas a la aproximación matemática por *splines*, dando origen a los B-Splines (o splines con base), los cuales son actualmente los más utilizados en CAD y Computación Gráfica. La última sección presenta brevemente

---

algunos temas avanzados, como por ejemplo la relación entre curvas de Bézier y Hermite o B-Splines, la formulación de curvas racionales como representación proyectiva, las curvas NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), y curvas con parámetros de forma como los  $\beta$ -Splines.

En el Capítulo 5 se presentan los elementos de la teoría del color, para su uso en Computación Gráfica, desde los aspectos físicos y fisiológicos, el uso de espacios cromáticos y las conversiones asociadas, la representación de color en el *hardware*, y el uso del color para representar información. En el sexto Capítulo se introduce la Computación Gráfica 3D, para lo cual se repasan los conceptos vistos en el Capítulo 3, más el agregado de transformaciones de proyección y su representación como transformación afín en un espacio homogéneo, y algunas soluciones al problema de la cara oculta.

En el Capítulo 7 se plantea uno de los problemas más dificultosos e importantes en la Computación Gráfica con realismo, que es el de los modelos de iluminación y sombreado (*shading*). Se introducen los modelos de iluminación local más básicos y su implementación con sombreado basado en el algoritmo *scan-line*. Se discuten sus limitaciones y se presenta la necesidad de resolver el problema del *rendering* de modelos de iluminación no locales, lo cual da origen a técnicas de rendering completamente diferentes del *scan-line*, como son *ray-tracing* y radiosidad, realizándose una revisión comparativa de estos métodos para ilustrar sus ventajas y dificultades características. También introducimos algunas técnicas avanzadas de modelamiento relacionadas con los modelos de iluminación, como la ecuación del *rendering*, y las técnicas de mapeo de texturas y atributos.

El octavo Capítulo está dedicado a los modelos de representación de superficies a partir de puntos de control, tanto en su formulación basada en producto tensorial de curvas, como por medio de dominios bivariados. Por último en el capítulo 9 se hace una breve descripción de temas avanzados en Computación Gráfica como por ejemplo animación, visualización científica, fractales y modelos no determinísticos, y modelos de refracción. Todos los capítulos tienen una sección con la bibliografía recomendada, y ejercicios progresivos para adquirir la necesaria experiencia en cada uno de los temas.

---

## Agradecimientos

Este texto es el resultado del esfuerzo y la colaboración de muchas personas que colaboraron con imágenes, ideas, comentarios y apoyo. Gracias a toda la gente que trabaja con nosotros, que nos aportan ideas tan valiosas. Entre ellos agradecemos especialmente a Andrés Repetto, Gustavo Ramoscelli, Miguel Danzi, Andrea Silvetti, Gustavo Patow, Mario Carro, Jorge Anchuvidart y Silvia Castro.

Agradecemos también a las autoridades del Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA que accedieron a que se dicte la materia, con el esfuerzo que ello implica. Muchas de las correcciones y mejoras de este libro se deben a las preguntas e inquietudes de los alumnos, tanto de la UNS como de la UBA. Gracias a todos ellos porque con su talento nos obligan a superarnos diariamente.

Los autores  
Buenos Aires  
Abril de 2003



# Índice General

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>  | <b>11</b> |
| 1.1      | Motivación . . . . .                                       | 12        |
| 1.2      | Aplicaciones de la Computación Gráfica . . . . .           | 12        |
| 1.3      | Desarrollo Histórico de la Computación Gráfica . . . . .   | 13        |
| <b>2</b> | <b>Algoritmos y Conceptos Básicos</b>                      | <b>17</b> |
| 2.1      | Dispositivos Gráficos . . . . .                            | 18        |
| 2.1.1    | Dispositivos de vectores . . . . .                         | 18        |
| 2.1.2    | Dispositivos de raster . . . . .                           | 19        |
| 2.1.3    | Hardware gráfico para monitores . . . . .                  | 20        |
| 2.2      | Técnicas de Discretización . . . . .                       | 26        |
| 2.2.1    | El sistema de coordenadas físico . . . . .                 | 26        |
| 2.2.2    | Primitivas gráficas . . . . .                              | 28        |
| 2.2.3    | Especificaciones de una discretización . . . . .           | 28        |
| 2.2.4    | Métodos de discretización . . . . .                        | 29        |
| 2.3      | Discretización de Segmentos de Rectas . . . . .            | 29        |
| 2.3.1    | Segmentos de recta DDA . . . . .                           | 30        |
| 2.3.2    | Segmentos de rectas por Bresenham . . . . .                | 32        |
| 2.4      | Discretización de Circunferencias . . . . .                | 36        |
| 2.4.1    | Discretización de circunferencias por DDA . . . . .        | 38        |
| 2.4.2    | Discretización de Bresenham para circunferencias . . . . . | 40        |
| 2.5      | Discretización de Polígonos . . . . .                      | 41        |
| 2.6      | Ejercicios . . . . .                                       | 46        |
| 2.7      | Bibliografía recomendada . . . . .                         | 47        |
| <b>3</b> | <b>Computación Gráfica en Dos Dimensiones</b>              | <b>49</b> |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.1      | Estructuras de Datos y Primitivas . . . . .                          | 50        |
| 3.2      | Transformaciones y Coordenadas Homogeneas . . . . .                  | 52        |
| 3.2.1    | Transformaciones afines . . . . .                                    | 53        |
| 3.2.2    | Coordenadas homogéneas . . . . .                                     | 54        |
| 3.2.3    | Transformaciones revisitadas . . . . .                               | 57        |
| 3.3      | Representación Estructurada . . . . .                                | 58        |
| 3.4      | Windowing y Clipping . . . . .                                       | 59        |
| 3.4.1    | Windowing . . . . .  | 62        |
| 3.4.2    | Clipping . . . . .   | 64        |
| 3.4.3    | La “tubería” de procesos gráficos . . . . .                          | 66        |
| 3.5      | Implementación de Bibliotecas Gráficas . . . . .                     | 67        |
| 3.6      | Ejercicios . . . . .   | 71        |
| 3.7      | Bibliografía recomendada . . . . .                                   | 72        |
| <b>4</b> | <b>Aproximación e Interpolación de Curvas</b>                        | <b>73</b> |
| 4.1      | Motivaciones . . . . .   | 74        |
| 4.1.1    | Especificaciones y requisitos . . . . .                              | 76        |
| 4.1.2    | La representación paramétrica . . . . .                              | 79        |
| 4.2      | Interpolación de Curvas . . . . .                                    | 80        |
| 4.2.1    | Interpolación de Curvas de Lagrange . . . . .                        | 80        |
| 4.2.2    | Interpolación de Curvas de Hermite . . . . .                         | 83        |
| 4.3      | Aproximación de Curvas I: de Casteljau, Bernstein y Bézier . . . . . | 88        |
| 4.3.1    | Construcción de parábolas . . . . .                                  | 89        |
| 4.3.2    | El algoritmo de de Casteljau . . . . .                               | 91        |
| 4.3.3    | La base de Bernstein . . . . .                                       | 95        |
| 4.4      | Aproximación de Curvas II: B-Splines . . . . .                       | 98        |
| 4.4.1    | Parámetro local . . . . .  | 99        |
| 4.4.2    | La base de Splines . . . . .   | 101       |
| 4.4.3    | B-Splines no uniformes . . . . .                                     | 108       |
| 4.4.4    | B-Splines cúbicos uniformes . . . . .                                | 111       |
| 4.4.5    | Evaluación de B-Splines cúbicos . . . . .                            | 118       |
| 4.5      | Aproximación de Curvas III: Modelos Avanzados . . . . .              | 119       |
| 4.5.1    | Curvas de Hermite y B-Splines como curvas de Bézier . . . . .        | 120       |
| 4.5.2    | Curvas de Bézier racionales . . . . .                                | 124       |
| 4.5.3    | B-Splines cúbicos racionales no uniformes (NURBS) . . . . .          | 128       |
| 4.5.4    | $\beta$ -Splines . . . . .   | 131       |
| 4.6      | Ejercicios . . . . .   | 139       |
| 4.7      | Bibliografía recomendada . . . . .                                   | 140       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>5</b> | <b>El Color en Computación Gráfica</b>                             | <b>141</b> |
| 5.1      | Introducción . . . . .   | 142        |
| 5.2      | Aspectos Físicos del Color . . . . .                               | 142        |
| 5.3      | Aspectos Fisiológicos del Color . . . . .                          | 143        |
| 5.4      | El Diagrama CIEXY de Cromaticidad . . . . .                        | 147        |
| 5.5      | Espacios Cromáticos . . . . .                                      | 153        |
| 5.6      | Representación de Color en Computación Gráfica . . . . .           | 156        |
| 5.7      | Paletas Estáticas y Dinámicas . . . . .                            | 158        |
| 5.8      | Ejercicios . . . . .   | 163        |
| 5.9      | Bibliografía recomendada . . . . .                                 | 164        |
| <b>6</b> | <b>Computación Gráfica en Tres Dimensiones</b>                     | <b>165</b> |
| 6.1      | Objetivos de la Computación Gráfica Tridimensional . . . . .       | 166        |
| 6.2      | Transformaciones y Coordenadas Homogeneas . . . . .                | 167        |
| 6.3      | Proyecciones y Perspectiva . . . . .                               | 170        |
| 6.4      | Primitivas y Estructuras Gráficas . . . . .                        | 175        |
| 6.5      | Clipping y Transformación de Viewing . . . . .                     | 179        |
| 6.6      | Cara Oculta . . . . .  | 184        |
| 6.6.1    | Eliminación de líneas ocultas en superficies funcionales . . . . . | 185        |
| 6.6.2    | Clasificación de los métodos generales . . . . .                   | 187        |
| 6.6.3    | El algoritmo SPIII . . . . .                                       | 191        |
| 6.7      | Ejercicios . . . . .   | 195        |
| 6.8      | Bibliografía recomendada . . . . .                                 | 196        |
| <b>7</b> | <b>Modelos de Iluminación y Sombreado</b>                          | <b>197</b> |
| 7.1      | El Realismo en Computación Gráfica . . . . .                       | 198        |
| 7.2      | Modelos de Iluminación . . . . .                                   | 200        |
| 7.3      | Sombreado de Polígonos . . . . .                                   | 209        |
| 7.4      | Modelos de Iluminación Avanzados . . . . .                         | 215        |
| 7.5      | Ray Tracing . . . . .  | 218        |
| 7.6      | Radiosidad . . . . .   | 224        |
| 7.7      | Comparación de los métodos de rendering . . . . .                  | 225        |
| 7.8      | Mapas de atributos . . . . .                                       | 226        |
| 7.9      | Ejercicios . . . . .   | 229        |
| 7.10     | Bibliografía recomendada . . . . .                                 | 230        |
| <b>8</b> | <b>Aproximación de Superficies con Puntos de Control</b>           | <b>231</b> |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 8.1      | Introducción . . . . .  | 232        |
| 8.2      | Aproximación de Superficies I: Producto Tensorial de Curvas . . . . . | 233        |
| 8.2.1    | Superficies de Bézier . . . . .                                       | 234        |
| 8.2.2    | Superficies B-Spline bicúbicas . . . . .                              | 238        |
| 8.3      | Aproximación de Superficies II: Dominios Triangulares . . . . .       | 242        |
| 8.3.1    | Algoritmo de de Casteljau bivariado . . . . .                         | 242        |
| 8.3.2    | Polinomios de Bernstein multivariados . . . . .                       | 244        |
| 8.4      | Ejercicios . . . . .  | 248        |
| 8.5      | Bibliografía recomendada . . . . .                                    | 249        |
| <b>9</b> | <b>Temas Avanzados</b>  | <b>251</b> |
| 9.1      | Modelos de refracción . . . . .                                       | 252        |
| 9.2      | Animación . . . . .   | 254        |
| 9.3      | Visualización Científica . . . . .                                    | 255        |
| 9.4      | Modelos no Determinísticos y Fractales . . . . .                      | 260        |
| <b>A</b> | <b>Notación</b>   | <b>265</b> |
| <b>B</b> | <b>Elementos Matemáticos de la Computación Gráfica</b>                | <b>267</b> |
| B.1      | Álgebra de Matrices . . . . .   | 267        |
| B.2      | Álgebra de vectores . . . . .   | 269        |
| B.3      | Transformaciones Lineales y Afines . . . . .                          | 270        |

---

# 1

## Introducción

---



## 1.1 Motivación

La Computación Gráfica ha sido una de las ramas de las Ciencias de la Computación de mayor impacto social y acercamiento al público en general. La graficación está casi siempre asociada con la interactividad, por lo que actualmente casi todo sistema o programa interactivo tiene una interfase gráfica. Esto es así no solo en aplicaciones específicas de graficación matemática y estadística, sino también como medio de producir metáforas visuales para otros sistemas informáticos, como ocurre actualmente en los lenguajes de programación visual, las interfases gráficas con sistemas de ventanas y la metáfora del *desktop*, y en los sistemas de diseño asistido. En la actualidad, para cualquier persona, el acceso a Internet sin posibilidades gráficas es considerado una antigüedad. Aún las personas que no utilizan computadoras en su vida diaria encuentran gráficos computacionales en casi todos los aspectos de la cultura.

También se han popularizado los sistemas que traducen modelos abstractos a imágenes visualizables, como sucede con las simulaciones ingenieriles que representan gráficamente los resultados provenientes de modelos matemáticos para auxiliar su comprensión, o con los datos obtenidos por sensores (satélites, tomógrafos o telémetros en general) que se representan visualmente en los boletines meteorológicos o en las pantallas de los médicos.

Todos estos sistemas, utilizados para fines tan diversos, tienen un fundamento subyacente que consiste en una serie de técnicas derivadas de la aplicación computacional de la Geometría Analítica. En este texto presentamos los fundamentos teóricos y los detalles de implementación de los temas que constituyen el núcleo de la Computación Gráfica en tres dimensiones. El estudio de estos temas es indispensable para comprender la idiosincracia de la disciplina, y de todos los sistemas que, como mencionamos, se basan de una u otra forma en la graficación.

## 1.2 Aplicaciones de la Computación Gráfica

Los gráficos proveen uno de los medios más naturales y potentes de comunicarse. El procesamiento cerebral del aparato visual está altamente desarrollado, y por lo tanto es capaz de reconstruir, procesar, interpretar, recordar y cotejar una enorme cantidad de información en un tiempo apenas perceptible. Por su parte, la evolución tecnológica y la rápida difusión de las computadoras determina que en la actualidad la Computación Gráfica es el medio de producción de imágenes más importante en la actualidad, superando a la fotografía, diseño y artes gráficas en general, y compitiendo con el cine

---

### 1.3. Desarrollo Histórico de la Computación Gráfica

y la televisión. Tiene la ventaja adicional de poder reproducir imágenes “virtuales”, que no necesariamente existen o se pueden ver en la realidad.

Entre las numerosas aplicaciones, podemos dar una breve descripción representativa, la cual es sin duda cada día menos completa:

**Interfases** Actualmente la mayoría de los sistemas operativos, utilitarios, procesadores de texto, etc. tienen una interfase gráfica basada en la metáfora visual del escritorio, con íconos, menús descolgables, barras deslizantes y muchas otras facilidades. De esa manera, el uso del teclado se vuelve necesario solamente para el ingreso de texto.

**Industria del entretenimiento** Aquí podemos contar tanto la producción de videojuegos, películas y cortos de dibujos animados, posproducción y efectos especiales de películas, publicidad, y también el desarrollo de programas utilitarios destinados a la creación de productos en estos rubros.

**Aplicaciones comerciales** Son cada vez más comunes los sistemas para elaboración de presentaciones comerciales, incluyendo cartillas gráficas, diagramación automática, y publicación electrónica en general. Con el advenimiento de Internet y HTML, el desarrollo del comercio y las oficinas virtuales ha sido dramático, y el uso de gráficos es el medio indispensable para agregar distinción y atractivo a los sitios en la WWW.

**Diseño asistido** El CAD en general, desde el dibujo de planos hasta el desarrollo de chips VLSI pasando por cientos de otras aplicaciones, también tiene un gran auge en la actualidad. En todos los casos la representación gráfica de la información es la clave del funcionamiento.

**Aplicaciones Científicas** Aquí podemos contar desde los sistemas de simulación (cinemática, por elemento finito, etc.) hasta la visualización de fenómenos abstractos y su representación gráfica por medio de metáforas visuales adecuadas.

**Cartografía y GIS** Los gráficos por computadora son actualmente utilizados como soporte para los sistemas de información geográfica (GIS) y todas las aplicaciones relacionadas (turismo, geología, minería, clima, urbanismo, etc.).

### 1.3 Desarrollo Histórico de la Computación Gráfica

Hasta hace aproximadamente 20 años, la Computación Gráfica era un campo pequeño y especializado, dado el costo de los equipos necesarios para la implementación de sis-

temas gráficos. Para el público en general, el tema consistía en desarrollar aplicaciones en sistemas *mainframe* sobre paquetes gráficos *built in*, los cuales producían una salida visual para programas científicos o comerciales en los que se necesitaban elaborar gráficos estadísticos como histogramas, diagramas o trazado de funciones. El trabajo de investigación en Computación Gráfica, como es entendido en la actualidad, parecía entonces una tarea fútil orientada a objetivos pretensiosos y de escasa utilidad. Desde entonces, la Computación Gráfica experimentó dos grandes cambios de paradigma en sus objetivos, pasando de los gráficos estadísticos a la síntesis realista de imágenes tridimensionales (a mediados de los 70) y luego a la representación gráfica de datos u objetos abstractos, en lo que hoy se conoce como *Visualización Científica* (a mediados de los 80). Actualmente es posible afirmar que el campo está atravesando un nuevo cambio paradigmático, producido esencialmente por el desarrollo de la Realidad Virtual, junto con la tecnología de sensores y actuadores cinemáticos, y por supuesto Internet con acceso a alta velocidad. Conectarse desde el hogar a una simulación gráfica del *Pathfinder* y recorrer un Marte virtual es una posibilidad casi rutinaria, aún para el no experto.

Podemos afirmar que la Computación Gráfica quedó definida en el trabajo doctoral de Ivan Sutherland en el MIT en 1963 [80]. Su desarrollo del sistema interactivo de graficación Sketchpad fue el fundamento sobre el cual se apoyaron la mayor parte de las ideas iniciadoras de la Computación Gráfica 2D y 3D (por ejemplo, los Capítulos 3 y 6 de este texto). Por su parte, a mediados de la década del '60 comenzaron a desarrollarse en Francia los métodos de diseño asistido de curvas y superficies. En unos pocos años comenzó a existir una disciplina científica, la cual se plasma con la creación de Sociedades Profesionales como el ACM SIGGRAPH en 1969. La década del 70 fue esencialmente de cambios tecnológicos. El descenso del costo de la memoria volátil produjo el reemplazo de los costosos equipos basados en display de vectores, por los dispositivos de la tecnología de *raster* que actualmente se utiliza. Básicamente, cada “*pixel*”, *picture cell* o celda de pantalla, tiene un respaldo en un conjunto de memoria dedicada. Ello motivó el desarrollo de los algoritmos de digitalización de primitivas gráficas como los que se reseñan en el Capítulo 2.

Asociado al cambio tecnológico en los monitores, surgieron los nuevos dispositivos de entrada (mouse, tablas digitalizadoras) y también de impresión en blanco y negro o color de alta calidad y precios razonables. Por lo tanto, los métodos de diseño de curvas y superficies comenzaron a tener una salida visual que antes era imposible con los displays de vectores. La mayoría de los métodos fundamentales para diseño de curvas y superficies, presentados en los Capítulos 4 y 8, fueron desarrollados y perfeccionados durante esta década. Otra de las posibilidades originada con el cambio tecnológico fue la representación de colores. Esto motivó el desarrollo de modelos y espacios cromáticos adecuados para la relación costo-performance de los monitores (ver Capítulo 5). Con la posibilidad del color, el primer cambio de paradigma, la búsqueda de la síntesis

de imágenes con realismo, llegó a su máxima expresión con el desarrollo de modelos empíricos de iluminación y sombreado (ver Capítulo 7). Estos modelos permiten la representación de escenas en las cuales se simulan los fenómenos óptico-físicos con un costo computacional bastante bajo para los resultados obtenidos. También en los 70 comienzan a establecerse estándares, dado que las aplicaciones gráficas se difundieron en medio de una diversidad de cambios y evolución, y una gran cantidad de proveedores, fabricantes y diseñadores.

Sin duda la década de cambios más vertiginosos fue la de 1980. El surgimiento de las máquinas PC, aunque con capacidades gráficas limitadas, permitió la popularización de sistemas y aplicaciones que crearon un mercado exigente y competitivo (por ejemplo con el Autocad). También comenzaron a diseñarse herramientas gráficas de interfase hombre máquina, como por ejemplo el sistema operativo de la Macintosh II, los lenguajes de programación visual y el hipertexto. El rol que no alcanzaron a cumplir los Comités de estandarización (por ejemplo, el GSK fue aprobado recién en 1985, cuando hacía varios años que ya era obsoleto) fue cubierto por las compañías comerciales que al crear una aplicación novedosa se transformaban en estándares de facto en el mercado (por ejemplo el Postscript, el OpenGL y X Windows).

También esta década marcó el segundo cambio de paradigma, porque la evolución de los modelos gráficos, junto con la capacidad de representación de los monitores y la integración de los sistemas gráficos a otro tipo de aplicaciones (simulaciones en ingeniería, sensores remotos, datos de satélites, etc.) permitieron desarrollar herramientas para la representación gráfica de conjuntos enormemente complejos de datos. Estas ideas, que con el tiempo fueron el fundamento de la *Visualización Científica*, apelan a la enorme capacidad de comprensión visual humana (ver Sección 9.3). De esa manera es posible representar, por ejemplo, millones de datos meteorológicos en un único “gráfico” que permite comprender a golpe de vista las características esenciales de una determinada situación climática.

La popularización de la Computación gráfica significó, además, el surgimiento y desarrollo de aplicaciones en las áreas más diversas. Durante los ‘80 comenzaron a utilizarse herramientas gráficas para el diseño en Ingeniería en todas sus actividades, desde aviones y barcos hasta circuitos integrados. En Arquitectura e Ingeniería Civil se utilizan sistemas para la simulación, el diseño y la elaboración y análisis de modelos. En Medicina podemos mencionar desde el diagnóstico por imágenes hasta la simulación y planeamiento de operaciones quirúrgicas o el desarrollo de implantes. En animación y videojuegos se dio un desarrollo espectacular en la calidad e imaginación con los que surgieron universos de fantasía. Cada uno recordará películas famosas de Hollywood videoclips, publicidades, videojuegos para Sega, etc.

En la actualidad, el desarrollo tecnológico permite integrar multimedios con acceso directo a redes, adquirir datos a través de guantes y sensores y actuadores cinemáticos, y procesar en tiempo real la simulación de un observador sumergido en una realidad virtual. Las posibilidades de los *browsers* para Internet están resultando cada vez más obsoletas, por lo que no es aventurado pensar que la integración de estas tecnologías significará un nuevo cambio de paradigma en un futuro cercano.

Todo este vasto campo de aplicación de la Computación Gráfica es imposible de cubrir en un libro introductorio. Sin embargo, para cualquiera que desee especializarse en algún tema específico, la base común es aproximadamente la presentada aquí. Esperamos cumplir con las expectativas del lector al acercarle los fundamentos de la Computación Gráfica de una manera clara y precisa, con el deseo de brindarle la mayor motivación y entusiasmo para seguir recorriendo este camino.