

La cuadratura del celuloide

Una visión científica del cine y viceversa

José Luis López Fernández

Universidad de Granada

Junto con la música, el cine es posiblemente el acontecimiento cultural que más identifica a una generación con las precedentes y las venideras, un fenómeno de masas –puede que el medio de comunicación más importante de todos los tiempos: *quien controle la industria cinematográfica controlará el medio más potente de influencia sobre el público*, apuntaba Edison desde sus albores– capaz de aglutinar en torno a él, en la serenidad de una cámara oscura y ajena, a estamentos sociales variopintos de edad, formación e intereses diversos. El cine es ante todo, por tópico que pueda parecer, una factoría de sueños (entre los que uno ha sido siempre sin duda el dinero: producción, distribución, exhibición, taquillaje, etc.) en que tanto creadores como espectadores amueblan un área común para la convivencia. En palabras del cineasta Jacques Tourneur: *Cuando el público se halla en la oscuridad de la sala y reconoce su propia inseguridad en los personajes de la película, podemos mostrar situaciones increíbles con una garantía absoluta de que los espectadores participarán.*

El concepto estético de la acción se remonta, según el periodista e historiador alemán C. W. Ceram, a las pinturas rupestres, probablemente las primeras imágenes en movimiento que fueron dibujadas: *[Las viejas películas] en que unos negros bailan, unos bañistas se salpican y vuelan y desaparecen fantásticamente unos muebles, valen tanto como unas pinturas rupestres. Son las pinturas rupestres del cine [...] afirmaba el escritor Fernando Vela. Y el catedrático de comunicación audiovisual Román Gubern concluye la introducción a su Historia del cine [10] argumentando que esta caza de sombras, que se inicia en las lejanas tinieblas de Altamira, concluye en París, en el ocaso del siglo XIX, gracias al arrollador progreso científico y técnico de la centuria. Una vez más el cerebro del hombre ha sido capaz de materializar sus sueños.* Desde que los hermanos Lumière vislumbraron, en ese París de fin del XIX, la idea de la imagen en movimiento hasta nuestros días se ha experimentado una revolución científica y tecnológica deslumbrante, más aún que la que deslumbró a Charles Chaplin en su indiscutida obra maestra *Tiempos modernos* (*Modern times*, 1936). La irrupción del ordenador personal en nuestras vidas más de medio siglo más tarde ha marcado un antes y un después en el quehacer cotidiano e incluso en las pautas sociales. Nada es como antes en lo que a comunicación y lenguaje se refiere: baste simplemente con asomarse al asombroso mundo de lo que hoy representa el gran imperio de la transferencia de información y la imagen en movimiento, léase Internet, los foros de opinión en red o los canales de diálogo conocidos como *chats*; asómate a *Messenger*, *Skype*, *Facebook* y a tanto software gratuito que permite ponernos en contacto de mil formas distintas con la gente que habita el otro lado de las autopistas de la información; o al mundo virtual en tres dimensiones de *Second Life*; basta con caminar de puntillas por el viciado mundo de la prestación SMS (*Short Message Service*) o videográfica de la telefonía móvil o incluso por los vericuetos de la domótica, el correo electrónico y la videoconferencia para constatar las conquistas que el progreso va dejando a su paso. Esta cirugía, a veces sin anestesia, a que se han visto sometidas la imagen y la palabra no ha sido ajena al cine, como puede apreciarse sin ir más lejos en la apertura a la digitalización –lo que ha repercutido en una calidad creciente de la imagen y el sonido– o en la revolución a que asiste continuamente el diseño de los efectos especiales. Esta nueva estética de la imagen está incluso comenzando a marcar la pauta de una forma nueva, entre semidocumental e hiperrealista, de hacer cine. El crítico cinematográfico Jordi Costa lo describió del siguiente modo en un artículo titulado *El cine en los tiempos*

de la infección de imágenes:¹ [...] en las pantallas de ordenador (y, cada vez más, en las de móvil) se aceleran los capítulos de una microhistoria de la nueva imagen poscinematográfica que ya ha visto nacer, crecer y envejecer géneros y subgéneros [...] Mientras que Peter Weibel, experto en los nuevos medios de comunicación y director del Center for Art and Media de Karlsruhe, afirmaba recientemente:² Cuando llegó la fotografía los pintores perdieron el monopolio de la imagen; con la llegada de Internet, la televisión y el cine han perdido el de la imagen en movimiento: Internet es una nueva Arca de Noé, una plataforma y un modelo. Sin embargo, en la historia de la Biblia se salvan sólo los elegidos, mientras que con la tecnología se salvan todos. Es así como la ciencia, la industria, la tecnología y, sobre todo, la magia conforman el alma de las artes y del cine (la séptima de ellas según el rito bautismal de Riccioto Canudo, aunadora de las precedentes) y así es como el escritor cubano Guillermo Cabrera Infante nos lo dio a entender en el ensayo *El hombre que nació con una pantalla de plata en la boca* que abre la recopilación *Cine o sardina* [3], un excitante viaje a través de la cinefilia del autor: Para mí el cine es una lección de moral a 24 cuadros por segundo, que es lo que hace la ilusión de movimiento. Debida, como se sabe, a un defecto del ojo: la persistencia de la imagen en la retina. Como en la magia de salón, donde la mano es más rápida que el ojo, para el cine el ojo es más lento que la imagen. La pantalla además tiene una desproporcionada proporción: 1.33:1. Nunca desde que la manzana le cayó a Newton en la cabeza una ecuación ha dado tanto que hablar [...]³ Veinticuatro imágenes fijas por segundo y un mecanismo ocular defectuoso son en efecto los ingredientes que hacen que la percepción sea inmediata, continua, sin intermitencias: los ingredientes de la bendita persistencia retiniana, ese paso de imágenes secuenciadas a una velocidad de entre seis y ocho por segundo que transforman lo discreto en un flujo continuo por inesperado arte de birlibirloque, justificando más que nunca el hermanamiento de ciencia, tecnología y fisiología.

No obstante, hubo también quien decidió controlar el ritmo de sus films rodando a menos de veinticuatro imágenes por segundo, como apunta el director, productor, escritor y teórico londinense Peter Wollen, profesor emérito de la Universidad de California:⁴ La contribución de Griffith fue establecer un estilo cinematográfico que acentuaba el interés de las secuencias de persecución mediante el control de su tempo. En la segunda década del cine, como señala Barry Salt en *Film Style and Technology* (1983), Griffith era ya criticado por la “prisa y la confusión” que caracterizaba sus películas. Salt cree que esto se debía, en parte al menos, al hábito que tenía Griffith de rodar sus películas a menos de 24 imágenes por segundo, utilizando en su lugar 14 imágenes por segundo o incluso menos, de forma que la acción aparecía mucho más rápida de lo normal cuando se proyectaba. Es difícil, por supuesto, cuantificar la velocidad de la película, aparte de señalar que la norma tradicional en la actualidad es de 24 imágenes por segundo en la proyección: la sensación de velocidad depende de una serie de características dispares. El rodaje a menos imágenes por segundo, la cámara lenta, la pixelación, los saltos de imagen, el movimiento rápido de la cámara, el ritmo rápido de edición, el movimiento rápido dentro del fotograma, la pronunciación rápida del diálogo, el desarrollo rápido de la narración: todo esto puede contribuir a la impresión de velocidad.

La invención del cinematógrafo fue el resultado lógico de la evolución de

¹En el suplemento *Babelia* del diario *El País*, 10 de noviembre de 2007.

²En el suplemento *Babelia* del diario *El País*, 10 de noviembre de 2007.

³1.33:1 fue el formato aprobado en 1930 por la *Hollywood Academy of Motion Picture Arts and Sciences* para la producción y exhibición de películas. A partir de 1950 comenzaron a surgir nuevos formatos panorámicos como Cinemascope (2.35:1), Vistavisión o Panavisión, que mejoraban la definición de las imágenes.

⁴*La velocidad y el cine*, artículo publicado en *New Left Review* 16, 2002.

múltiples mecanismos ópticos que desde los primeros años 20 del pasado siglo fueron perfeccionándose progresivamente hasta conseguir la ilusión del movimiento. De hecho, etimológicamente la palabra cine procede del griego y significa movimiento. El teórico soviético Viktor Sklovski empleó un suculento símil matemático para sugerir la conexión existente entre el movimiento cinematográfico y el real [15]: *En su esencia, el movimiento cinematográfico se halla frente al movimiento real en la misma relación en que un poliedro, con un número grande pero no infinito de lados, se halla frente a la circunferencia en él inscrita. Nuestro conocimiento del movimiento en general es lo que corrige el cinematográfico. No lo percibimos con la visión, sino con el reconocimiento.*

Desde el taumátropo del Doctor Paris, dispositivo en el que confluyen las ideas alumbradas por el matemático Peter Mark Roget, hasta el kinetoscopio de Edison, inminente antecesor de la cámara cinematográfica tal como se la conoce hoy día, pasando por una amplia gama de dispositivos cada vez más sofisticados –léase el fenakistiscopio, el fantascopio, el estroboscopio, la linterna mágica (cuya construcción es atribuida al matemático y astrónomo Christian Huygens) o el tachyscopio–, muchos fueron los talentos y esfuerzos humanos puestos al servicio de tan noble causa que acabaría por transformar la ideología y las costumbres de una sociedad decadente. En [5], Ceram señala que *no es posible citar cronológicamente todos los nombres que, en los diez años decisivos de 1885 a 1895, adquirieron el derecho al título de coinventores porque son demasiados, porque toda cronología es incierta y porque en ese tiempo coinciden y se entrecruzan inventos efectivos, ideas ingeniosas de segundo orden, construcciones a medias, imitaciones y plagios de primera mano.*

De Emile Reynaud podría decirse que fue el primer científico del cine. Nunca fue al colegio pues su educación corrió exclusivamente a cargo de sus padres, fabricante de relojes él y profesora de escuela y pintora *amateur* ella. No obstante, Reynaud adquirió un vasto arsenal de conocimientos referentes a diversas disciplinas tanto científicas como humanísticas que lo llevaron a conseguir un puesto de profesor de Mecánica y Física en la escuela técnica *Ecolles Industrielles de Puy*. Reynaud fue el inventor del praxinoscopio en 1877, un ingenioso aunque rudimentario mecanismo destinado a generar imágenes en movimiento, si bien sólo podía exhibir cíclicamente la evolución de aproximadamente una decena de dibujos plasmados sobre una cinta rotativa. Él mismo perfeccionó su invento varios años después, lo cual lo hizo merecedor del calificativo de *padre del cine de animación*. El nuevo aparato aventajaba al anterior en que ahora podían proyectarse de forma continuada sobre una pantalla cientos de imágenes dibujadas sobre fondo negro y dispuestas en varias bobinas, mientras que los escenarios y los fondos se proyectaban por medio de una linterna fija independiente consiguiendo así el efecto de sobreimpresión. Del mismo modo, el discurso visual estaba inteligentemente sincronizado con pasajes melódicos que él mismo componía.

Paralelamente, el inglés Eadweard Muybridge se convirtió en el gran impulsor de la fotografía y en uno de los más importantes estudiosos del movimiento de la época, siendo de hecho pionero en el registro y la proyección del movimiento de seres vivos. Sin embargo, para llegar hasta aquí hubieron de ser muchos los esfuerzos que se aunaron en las investigaciones sobre esas mágicas emulsiones de nitrato de plata, desde el primigenio daguerrotipo hasta las cámaras cada vez más sofisticadas pasando por varios tipos diferentes. Uno de los protagonistas de esta revolución de la imagen capturada en el papel fue el físico, matemático, filólogo y dibujante Henry Fox Talbot, progenitor del calotipo en 1841, instrumento éste que ya permitía la obtención de varios positivos a partir de un único negativo. Los estudios dinámicos de Muybridge, principalmente la descomposición del movimiento rápido a raíz de la elevación de la velocidad de obturación de los dispositivos fotográficos –lo que vino a llamarse cronofotografía–, influyeron de forma esencial en el desarrollo de las técnicas que culminarían con la fabricación del cinematógrafo y siguen siendo hoy día fuente de inspiración para científicos y profesionales del cine de

animación. Junto a Muybridge, el fisiólogo francés Etienne Jules Marey destacó también en el análisis fotográfico de la locomoción humana y animal y fue uno de los grandes defensores de la incipiente cinematografía como instrumento para la educación y la divulgación de la cultura científica.

Con el industrial norteamericano Thomas Edison, inventor entre más de mil patentes de la bombilla incandescente y el fonógrafo, el concepto de cine comienza a hacerse realidad. En colaboración con su ayudante William K. L. Dickson ideó el kinetoscopio, un visor que consistía en una caja pequeña de madera a través de la cual podían contemplarse durante unos 20 segundos imágenes dispuestas a lo largo de varios metros de película en un bucle continuo. El kinetoscopio se exhibió en París y en Londres en 1894 y a finales de dicho año ya se habían abierto salones de proyección en toda Europa y América del Norte. El kinetoscopio evolucionó rápidamente hacia el kinetógrafo, primera cámara en incorporar un motor eléctrico y en utilizar la película perforada de celuloide de 35 mm. de George Eastman para garantizar la equidistancia de las imágenes. Una vez superadas las dificultades prácticas para llevar a cabo la construcción de una cámara y un proyector de imágenes animadas, los hermanos Louis y Auguste Lumière hicieron gala de su apellido francés y dieron a luz el cinematógrafo el 23 de febrero de 1895, dispositivo que incluía ya el garfio con que cuentan las cámaras actuales para garantizar el avance intermitente de la película. Antes de que acabara el año, el 28 de diciembre de 1895, los Lumière organizaron la primera exhibición pública de cine previo pago en el Salon Indien del Gran Café de París, donde 35 personas asistieron por un franco al pase de 10 cortos [14]. Es por ello que muchas fuentes consideran esta fecha como la del nacimiento del cine, la gloriosa fecha en que la ciencia se hizo cine y habitó entre nosotros. Pocos meses más tarde el cinematógrafo llegó a nuestro país, concretamente el 15 de mayo de 1896, fecha en que tuvo lugar la primera exhibición pública en los bajos del Hotel Rusia de Madrid. Fueron tales el esfuerzo y el progreso tecnológico que condujeron a lo largo de los años a la llegada del cinematógrafo que, cuando George Méliès –por entonces director del teatro de ilusionismo Robert Houdin de París– intentó comprarle la patente a los Lumière se cuenta que Antoine Lumière, el padre de los inventores, le respondió así de desafortunadamente: *Amigo mío, deme usted las gracias. El aparato no está a la venta, afortunadamente para usted, pues le llevaría a la ruina. Podrá ser explotado durante algún tiempo como curiosidad científica, pero fuera de esto, no tiene ningún porvenir comercial.* El tiempo acabó por condenar las palabras del progenitor de los Lumière y por convertir a Méliès en el abanderado de la concepción del cine como un gran espectáculo. Antes de eso los Lumière habían realizado ya las primeras películas de la historia, fundamentalmente testimonios documentales de escenas cotidianas de entre las que destacaron por su repercusión *La salida de los obreros de la fábrica Lumière (La sortie des ouvriers des usines Lumière à Lyon, 1895)*, probablemente un autohomenaje a su éxito como industriales; *La llegada del tren a la estación de la Ciotat (L'arrivée d'un train en gare de la Ciotat, 1895)*, filmada desde el andén en ángulo oblicuo a la dirección que traía el tren, que finalmente rebasa la posición de la cámara. Parece que esta imagen aterrorizó a los espectadores del momento, que llegaron a imaginar que la locomotora los arrollaba; y *El regador regado (L'arroseur arrosé, 1895)*, la primera película con una mínima trama argumental y ampliamente reconocida hoy como la primera comedia de la historia del cine. Tras presenciar las primeras proyecciones de los Lumière, el escritor ruso León Tolstoi declaró que el cine era *un espectáculo inteligente, instructivo y altamente didáctico*, opinión con la que hoy difícilmente se puede disentir (a pesar del denodado esfuerzo del gran poeta Antonio Machado: *el cine...ese invento del demonio*). Desde una perspectiva netamente científica, las primeras aplicaciones de los avances técnicos fueron dirigidas hacia la botánica, la biología y la fisiología con el uso del microscopio a través de la microcinematografía, los rayos X en biología y medicina por medio de la cineradiografía o las animaciones en matemáticas, que permitían visualizar cálculos y comportamientos dinámicos de algunas ecuaciones, aplicaciones que aún hoy

siguen proporcionando un alto rendimiento en cada una de estas disciplinas y progresan técnicamente al ritmo de la informática gráfica y de las nuevas tecnologías. Por citar un ejemplo más concreto, en 1984 Yokiro Kawaguchi consiguió reproducir la forma y el ritmo de crecimiento de las conchas de los moluscos a partir de técnicas infográficas tridimensionales, empleando para ello software propio basado en procesos fractales. Así describía Román Gubern [10] la revelación y el impulso que para el progreso de la ciencia supuso la cinematografía científica: *Este progreso es muy evidente en el amplio campo de la cinematografía científica, que puede valerse de las radiaciones luminosas invisibles (ultravioletas o infrarrojas) para registrar fenómenos biológicos o químico-físicos que se verían perturbados por la presencia de radiaciones visibles, o emplear el movimiento acelerado para estudiar procesos muy lentos (crecimiento de plantas, formación de cristales) y el ralenti para analizar los muy veloces (explosiones, trayectorias balísticas, aleteo de insectos) o recurrir al microscopio o al telescopio (o al teleobjetivo de larga distancia focal), que han hecho posible el nacimiento de la microcinematografía y de la macrocinematografía. Estos recursos técnicos permiten un mejor conocimiento de la naturaleza y tienen una valiosísima aplicación tanto en el campo de la investigación como en el de la enseñanza. Ejemplos bien diversos nos los ofrecen el documental cosmológico *El mundo del silencio* (*Le monde du silence*, 1956), exploración subacuática del comandante Jacques-Ives Cousteau, y *Corps profound* (1963), de Igor Barrière y Etienne Lalou, que han captado imágenes de los órganos y vísceras del cuerpo humano vivo, en su normal funcionamiento biológico, valiéndose de un eficaz endoscopio.*

En definitiva, el vasto imperio cinematográfico que hoy conocemos nace y progresa a raíz de la conjunción de múltiples y variopintos factores relacionados con la ciencia, los avances tecnológicos, el espectáculo, el entretenimiento, la comunicación, el arte, el negocio y la industria. Como escribiese en los años 60 el crítico y teórico del cine Luigi Chiarini [4]: *el cine es la mezcla más monstruosa de inteligencia y de estupidez, de cultura y de ignorancia, de honradez y de robo, de ingenuidad y de astucia, que la sociedad ha conseguido reunir jamás.* Y, más técnicamente, el ingeniero eléctrico y acústico Abraham Moles argüía que *el cine es el arte y la ciencia de crear una imagen en movimiento, de introducir el tiempo en el espacio, de animar una imagen.* Incluso como vehículo de divulgación científica el cine ha hecho una labor encomiable, habida cuenta de que en otros tiempos se proyectaban a menudo en las salas comerciales cortometrajes de esta índole como complemento a la película principal. Podrían citarse a modo de ejemplo los films *Spirals* (1926) y *Radio dynamics* (1942) del ingeniero Oskar Fischinger –fotógrafo también de algunas de las primeras películas del emergente cine alemán como *La mujer en la Luna* (*Frau im Mond*, Fritz Lang, 1929)– y *Line describing a cone* (1973) de Anthony McCall, sin olvidar los experimentos de abstracción geométrica animada llevados a cabo por Norman McLaren como *Líneas verticales* (*Lines vertical*, 1960), *Líneas horizontales* (*Lines horizontal*, 1962), *Mosaico* (*Mosaic*, 1965) o *Esferas* (*Spheres*, 1969), esta última en codirección con René Jodin. El cine experimental de McLaren ensaya, más que con la velocidad en pista, con fotogramas dibujados directamente sobre el celuloide y sonido generado directamente mediante estrías dibujadas sobre la banda sonora. Mención especial merecen los cortometrajes de animación *Donald en el país de las matemáticas* (*Donald in mathmagic land*, Hamilton Luske, 1959) y *La recta y el punto: un romance matemático* (*The dot and the line: a romance in lower mathematics*, Chuck Jones, 1965), este último basado en la obra literaria de Norton Juster y ganador del Oscar al mejor cortometraje de animación. El primero de ellos adentra al célebre palmípedo por bosques de números y lo hace cruzar ríos por vados de polígonos mientras éste musita desconsoladamente que las matemáticas son cosa de locos. Sin embargo, la indulgente voz en *off* del espíritu de la aventura viene a rescatarlo de su atasco mental y le muestra la razón áurea, el rectángulo de oro de los griegos, los diseños en espiral y los pentágonos en la naturaleza: *en toda la infinita variedad de formas de la naturaleza hay una lógica matemática* –afirma, le

enseña también que sólo en la mente se puede concebir lo infinito y, como colofón al viaje iniciático de Donald por tan misterioso y fascinante país, que las matemáticas constituyen *la llave que abrirá las puertas del futuro*. El segundo presenta a una línea recta que se enamora perdidamente de un punto, aunque dicho amor no es inicialmente correspondido pues el punto considera que la línea es aburrida, rígida, poco versátil y de dudosa creatividad, razón por la que prefiere la compañía de un dicharachero garabato. Esta competición por los favores del punto permite a la recta descubrir su propio talento, explotar su potencial y apreciar que puede formar curvas y ángulos, generar laberintos, polígonos y telarañas: en definitiva, advierte que es capaz de divertir al punto, que acaba por sucumbir a los hasta entonces esquivos encantos de la línea. A esta línea reconvertida a pizpireta y a la admiración que el punto profesa por ella parece cantar Rafael Alberti cuando proclama:⁵

A ti, contorno de la gracia humana,
recta, curva, bailable geometría,
delirante en la luz, caligrafía
que diluye la niebla más liviana.
A ti, sumisa cuanto más tirana
misteriosa de flor y astronomía
imprescindible al sueño y la poesía
urgente al curso que tu ley dimana.
A ti, bella expresión de lo distinto
complejidad, araña, laberinto
donde se mueve presa la figura.
El infinito azul es tu palacio.
Te canta el punto ardiendo en el espacio.
A ti, andamio y sostén de la Pintura.

Uno de los grandes precursores del documental científico fue indudablemente Jean Painlevé, quien realizó más de 200 cortometrajes vanguardistas de corte científico especializados en la vida marina. El reputado realizador Jean Vigo diría de él:⁶ *Sobre la base de un sólido conocimiento científico, Jean Painlevé baja los humos a nuestro apelmazado antropomorfismo y presenta films que combinan la excelencia técnica (la iluminación, los ángulos de cámara, la edición) con la poesía visual, haciendo justicia al misterio o al milagro*. Parte del material rodado por Painlevé fue usado posteriormente por el polifacético Man Ray en el cortometraje *La estrella de mar* (*L'étoile de mer*, 1928). Painlevé, hijo del matemático y político Paul Painlevé, dijo haber abandonado sus estudios en la Escuela Politécnica de París por no entender las matemáticas. Más tarde comentaría que él habría preferido que las matemáticas fuesen abordadas *como un lenguaje y no como un misterio*. Misterio o no, hay que estudiar matemáticas y la razón la expone Christopher Walken en *Ángeles y demonios* (*The prophecy*, Gregory Widen, 1995) cuando al despedirse de un grupo de niños les conmina a que *estudien matemáticas [...] son la llave al universo*. Así las entiende también el ya citado Peter Weibel, director de la Bienal de Arte Contemporáneo de Sevilla de 2008, quien al ser preguntado por el papel que habría de desempeñar la tecnología en el enfoque de dicha exposición se refirió a ⁷ *la matemática como la clave para entender el mundo. Los árabes inventaron los algoritmos y Al Andalus fue un tiempo de grandes avances en álgebra, hidráulica, ingeniería, astronomía... La tecnología es un lenguaje universal que puede ser utilizado como contribución a la civilización, elimina el monopolio de la creatividad y democratiza el ejercicio de las artes [...]*

⁵A *la línea*, soneto perteneciente a la obra de 1948 *A la pintura: poema del color y la línea*.

⁶Según traducción del autor

⁷En el suplemento *Babelia* del diario *El País*, 10 de noviembre de 2007.

La aventura marina en el cine, después de los seres anónimos filmados por Painlevé, ha aportado nombres de entrañables animales (algunos) que perdurarán en la memoria de muchas generaciones, como es el caso del delfín Flipper, el pez Nemo, la orca Willy o las sirenas Annette Kellermann y Esther Williams. Pero sin duda el más conocido, herencia de la mejor tradición literaria, es el de la gran ballena blanca Moby Dick nacida de la pródiga imaginación de Herman Melville, que fue novela antes de ser la *movie* (Dick) dirigida en 1956 por John Huston. Precisamente de la novela está extraído el siguiente fragmento, en que se pone de relieve que no hay sitio anómalo para la inspiración y la reflexión matemática: *Es también un sitio para profundas meditaciones matemáticas. Fue en la marmita izquierda del Pequod,⁸ con la esteatita circulando diligentemente a mi alrededor, donde me encontré de manera indirecta con el hecho notable de que, en geometría, todos los cuerpos que se deslizan por la cicloide, como mi esteatita por ejemplo, descenderán desde cualquier punto en el mismo y preciso tiempo.*

La cicloide es una curva que se genera de la siguiente forma: toma una circunferencia –piensa, por ejemplo, en el perímetro de la llanta de una rueda o el de una bola de billar– y elije un punto cualquiera situado sobre la misma. Bastará entonces con seguir el rastro a dicho punto cuando el automóvil (o la partida) se ponga en marcha y la rueda (o la bola) gire, sin resbalar, sobre una carretera o una mesa lisa. La curva descrita por el movimiento del punto elegido es una cicloide. Pues bien, es esta curva (invertida) la que resuelve un problema clásico de la matemática: el problema de la *braquistócrona*, consistente en diseñar el “tobogán” más rápido por el que cualquier objeto pueda descender. Lo que el intrépido capitán del *Pequod* observa en la marmita, cuya concavidad parece adoptar la forma de una cicloide invertida, es que la esteatita, al deslizarse por la misma, sorprendentemente tarda siempre el mismo tiempo en realizar su recorrido, es decir, advierte la propiedad de isocronía de la cicloide [1]: *sobre un arco de una cicloide invertida, un objeto abandonado a su propio peso y en ausencia de rozamiento se deslizará desde cualquier punto al punto más bajo exactamente en el mismo tiempo independientemente del punto de partida del movimiento.*



Cicloide y cicloide invertida. Los dos objetos dibujados sobre la cicloide invertida llegarán a la vez al punto más bajo del *tobogán*

De las matemáticas entendidas como un lenguaje (misterioso) por Painlevé podemos pasar al lenguaje de naturaleza matemática que Jean Dufлот atribuye al cineasta italiano Pier Paolo Pasolini: *Pese a no ser un hombre de ciencia, usted parece tener conciencia de la naturaleza “matemática” del lenguaje. A ello debe, creo yo, su meticuloso rigor en la elección de los “valores”, de los “signos” [...]*

En la actualidad el tratamiento de la imagen es bien diferente al de hace unos pocos lustros. Con la irrupción de las nuevas tecnologías y de la era digital, la imagen por ordenador ha copado el protagonismo de las nuevas tendencias en la técnica cinematográfica: videoclips, videojuegos, spots publicitarios, animaciones, etc. En la actualidad el denostado bosque de acebos, la Meca de la industria cinematográfica estadounidense, esa factoría de ilusiones regida por el capitalismo salvaje de los estudios y los productores llamada Hollywood, es capaz de reinventarse sistemáticamente y

⁸Nombre del barco.

adecuarse así a las exigencias del progreso. En uno de los párrafos literarios más famosos acerca de la industria de Hollywood, correspondiente a la obra inconclusa de Francis Scott Fitzgerald *El último magnate* (*The last tycoon*, 1941) puede leerse (casi escucharse de la voz de Cecilia Brady) lo siguiente: *Hollywood se puede dar por sentado, como yo, u observarlo con ese desprecio que reservamos para las cosas que no entendemos. También puede ser entendido, pero sólo a medias, y a ráfagas. No hay media docena de hombres que hayan logrado mantener en sus cabezas la ecuación completa del cine.* La metáfora matemática empleada, la *ecuación completa del cine*, alude a la complejidad de una supuesta fórmula matemática que controla el devenir de los éxitos y fracasos en Hollywood, en la que un leve cambio en una de las variables podría dar al traste con todo el sistema socioeconómico [17]: *Así que, cuando hablo sobre “la ecuación completa” me refiero no sólo a la historia de las películas americanas, sino a la historia de América en la época de las películas. Hablo de un medio que es criticado en la sección de cultura, y cuyas cuentas se llevan en las páginas de economía, pero que puede aparecer fácilmente en primera página si hay una celebridad implicada. Entrenado o no, ahora el presidente es una imagen en una pantalla; es el hombre de la televisión. Pero la ecuación también se extiende a los niños que han visto 20000 horas de imágenes en movimiento a los 18 años (si son comedidos en ese hábito), más horas de las que han pasado leyendo. Me refiero a un tipo de matemáticas en las cuales casi todo depende de ver y ser visto.*

El último magnate narra las peripecias del que fue jefe de producción de la Metro Goldwyn Mayer en los años 30 y niño prodigio del *bussiness* cinematográfico norteamericano Irving Thalberg, seguidor de los pasos de los grandes precursores de la industria del cine Charles Pathé y León Gaumont. Este último, ingeniero y propietario de la sociedad óptica *Comptoir Général de la Photographie*, comenzó a fabricar cámaras de cine y a interesarse por la fotografía en color y la animación de imágenes, hasta que en 1908 organizó el primer departamento de producción. Thalberg fue sin duda uno de los “menos de seis” que comprendieron la ecuación completa junto con el magnate de la Universal Lew Wasserman [17]: *Fue en 1939 cuando Jules Stein, el fundador de MCA [Music Corporation of America], envió a Lew Wasserman desde Chicago a Los Angeles para ver qué podía hacer [...] Wasserman apenas bebía y durante un tiempo se convirtió en la persona más poderosa y temida de Hollywood. Ciertamente merece estar entre los elegidos que han comprendido “la ecuación completa”, excepto que no tenía ningún atisbo de idea sobre el propósito o la belleza de las matemáticas. Nadie haría tanto por separar el espectáculo del negocio.* La historia de Thalberg fue trasladada al cine por Elia Kazan en 1976 con el mismo título que la novela de Scott Fitzgerald, correspondiéndole el guión al recientemente fallecido Premio Nobel de Literatura 2005 Harold Pinter y el protagonismo a un emergente y prometedor Robert de Niro. Al extracto anterior de dicha novela hace referencia el título de uno de los libros del reputado crítico de cine norteamericano David Thomson: *La verdadera historia de Hollywood [The whole equation]*. El siguiente fragmento de [17] concierne al optimismo y la versatilidad de ánimo y carácter que configuraban la polémica personalidad del gran Charles Chaplin, sobre quien Ángel Fernández Santos escribiría que *su humor es un algebraico sistema de representación de la crueldad en sus formas más despiadadas* y de quien George Bernard Shaw primero y luego Albert Einstein dijeron que sólo serían recordados por haber sido sus contemporáneos: *En el plató y en la vida, Charlie creía que si las cosas se estancaban, o se ponían “mal”, podía desechar una idea y empezar con otra, arrancar de nuevo. Era como la “x” que puede funcionar a ambos lados de una ecuación, bailando, tropezando, patinando de un lado al otro. Persiguiéndose a sí mismo con atención [...] Charlie Chaplin no tenía preparación, ni quizás intelecto. Pero le impulsaba un brillante modernismo muy adelantado al entendimiento freudiano –mitad narcisismo, mitad pura y fría indiferencia– que le hacía tan relevante como Einstein. Y al igual que éste es aceptado hoy como el epítome de las matemáticas imposibles y del intelecto exagerado, puede que Chaplin aún sea la primera imagen o nombre que la gente pondría en la*

ecuación: cine = ...

El primer uso práctico de la imagen por ordenador se llevó a cabo con fines militares: un sistema visual de radar defensivo desarrollado por Jay Forrester en el *Massachusetts Institute of Technology*. Persiguiendo objetivos militares es también como la famosa actriz austriaca Hedy Lamarr –la primera en exhibir un *topless* acreditado en una pantalla de cine en el film *Éxtasis* (Gustav Machaty, 1933)– y el pianista George Antheil se convirtieron en pioneros de la moderna tecnología de las comunicaciones. Ello se debe a una patente que desarrollaron durante la Segunda Guerra Mundial para garantizar el control remoto seguro por radio de un torpedo. La pareja ideó el llamado *salto de frecuencias*, técnica consistente en que tanto el transmisor –situado en la nave desde la que es lanzado el proyectil– como el receptor –situado en el torpedo– pueden saltar sincronizadamente de una frecuencia a otra de modo que el enemigo nunca sepa a qué frecuencia atender para interceptarlo. Con la tecnología puesta al servicio del belicismo está asimismo estrechamente relacionado el secreto de la organización de espías *39 escalones*, que sirve para dar título a la brillante *Thirty nine steps* dirigida en 1935 por el mago del suspense, el amigo de las rubias, el narrador del Alma atormentada por la duda: Alfred Hitchcock. Cuando Mister Memory (Wylie Watson), un prodigio de la naturaleza por su capacidad de retentiva, haciendo gala de una conciencia profesional ineluctable desvela moribundo las claves del enigma de la organización –según revela Hitchcock a Truffaut: “Mister Memory *sabe* qué son los Treinta y Nueve Escalones, se le hace una pregunta y *debe* responder”–, proporciona la siguiente información a los interesados: *Los motores instalados en los aviones que forman nuestras escuadrillas de bombardeo tienen un grave defecto: a una velocidad superior a 300 km/h se calientan de forma excesiva, lo que llega a producir la fundición de las piezas interiores a 500°C*. Sin embargo, mención aparte de la ilimitada imaginación de los responsables del doblaje, lo que “realmente” confiesa Mister Memory es algo mucho más técnico, un discurso impregnado de detalles anejos al ámbito matemático de la ingeniería aeronáutica:⁹ *The first feature of the new engine is its greatly increased ratio of compression represented by R minus one over R to the power of γ , where R represents the ratio of compression and γ , seen in end-elevation, the axis of the two lines of cylinder, angle of sixty five degrees*.

En este amplio contexto tecnológico que conduce a la era moderna de la cinematografía es imprescindible mencionar a John Whitney, quien diseñó una máquina de animación a partir de elementos procedentes de sistemas antiguos de detección antiaérea que empleó inicialmente para la realización de efectos y de títulos de crédito. En 1952 escribió, dirigió y produjo films ingenieriles sobre proyectos de misiles guiados para la compañía Douglas Aircraft y a él –y al portentoso diseño de Saul Bass– se deben los efectos caleidoscópicos de los créditos iniciales de la magistral *De entre los muertos* (*Vertigo*, Alfred Hitchcock, 1958), película que dicho sea de paso alimenta un cierto gusto compulsivo por las formas espirales, no sólo en las visiones hipnóticas de la protagonista –adorable Kim Novak– sino incluso en algunos planos obsesivos que detallan la confección de su moño:

Repetidas sortijas del misterio,
inapresable avena logarítmica
decantada en la rosa de los vientos,
porque sois, espirales,
el timón de la vida, os invocamos,
para prender nuestra viruta leve
al fiel tirabuzón del universo.

⁹Una traducción aproximada, aunque lo que Mr. Memory recita no parece tener demasiado rigor científico, podría ser la siguiente:

La primera característica del nuevo motor es que ha sido ampliamente incrementada su ratio de compresión R , incremento descrito por $(\frac{R-1}{R})^\gamma$ donde γ representa el eje de las dos líneas de cilindros, ángulo de 65°.

De este modo concluye el poeta neosurrealista Miguel Velasco un poema dedicado a las formas espirales. Pareciese que el moño de la Novak y su poderoso influjo sobre la atormentada vida de James Stewart hubieran inspirado tales versos. Las espirales y otras curvas logarítmicas fueron, junto *A la divina proporción* o razón áurea¹⁰ aclamada por Rafael Alberti como¹¹

A ti, maravillosa disciplina,
media, extrema razón de la hermosura
que claramente acata la clausura
viva en la malla de tu ley divina.
A ti, cárcel feliz de la retina,
áurea sección, celeste cuadratura,
misteriosa fontana de medida
que el universo armónico origina.
A ti, mar de los sueños angulares,
flor de las cinco formas regulares,
dodecaedro azul, arco sonoro.
Luces por alas un compás ardiente.
Tu canto es una esfera transparente.
A ti, divina proporción de oro.

motivo de obsesión para el Salvador de la pintura surrealista y el onirismo alucinógeno, la luz mágica de Cadaqués que brillantemente alumbraba –su voz sí que es luz– la Torroja: Dalí. Sobre otra mágica luz, la *lumière* del cine, Dalí se expresaba así en un artículo de 1927 dedicado a su amigo Luis Buñuel aparecido en *La gaceta literaria: La luz del cine es una luz al mismo tiempo muy espiritual y muy física. El cine captura los seres y los objetos más extraordinarios, aún más invisibles y etéreos que las apariciones espiritistas. Toda imagen cinematográfica es la captura de una espiritualidad indiscutible. Pero la geometría del artista catalán, más allá de la impregnación de cubos, hipercubos y estructuras poliédricas, tenía nombre propio: el cuerno de rinoceronte, que para él era una curva perfectamente logarítmica. Inspiradas por este apéndice calcáreo surgieron interesantes obras como *Figura rinocerónica de Ilisos de Fidias* (1954), *La ascensión de Santa Cecilia* (1955) o *Cuernos azules. Diseño para un pañuelo* (1955). En *Diario de un genio*, Dalí relata su pasión por estos cuernos así como el nacimiento del cuadro *Pintura paranoico-crítica de “La encajera de Vermeer”* (1955), un ejercicio de estilo y comprensión:*

Desde hace siglos la humanidad se afana por captar la forma y reducirla a elementales volúmenes geométricos. Leonardo tendía a fabricar huevos que, según Euclides, debían ser la forma más perfecta. Ingres prefería las esferas y Cézanne, los cubos y los cilindros. Pero únicamente Dalí, gracias a los vericuetos de su hipocresía elevada al paroxismo que le había llevado a dejarse obsesionar exclusivamente

¹⁰Se conoce como razón áurea al número irracional $\frac{1 + \sqrt{5}}{2}$. Como el lector que haya visto con atención

el film *Después de medianoche (Dopo mezzanotte)*, Davide Ferrario, (2004)– ya conoce la sucesión de Fibonacci, apuntaré únicamente que la razón áurea se obtiene como valor límite de la sucesión formada por los cocientes entre términos sucesivos de la sucesión de Fibonacci, esto es:

$$x_1 = \frac{1}{1} = 1, x_2 = \frac{2}{1} = 2, x_3 = \frac{3}{2} = 1.5, x_4 = \frac{5}{3} = 1.66, x_5 = \frac{8}{5} = 1.6, \dots$$

¹¹Soneto perteneciente a la obra de 1948 *A la pintura: poema del color y la línea*.

por los rinocerontes, acaba de encontrar la verdad. Todas las superficies un poco curvas del cuerpo humano poseen el mismo lugar geométrico común, que es el que se encuentra en este cono, con el extremo redondeado y curvado hacia el cielo o hacia la tierra y angélicamente inspirador de un deslizamiento hacia la perfección absoluta, ¡el cuerno del rinoceronte!

[...] Solicité permiso al Museo del Louvre para sacar una copia del cuadro *La encajera* de Vermeer [...] Con gran sorpresa de mis amigos y del director del museo yo dibujaba sobre mi tela cuernos de rinoceronte [...] hasta realizar esa copia, yo apenas comprendía nada de *La encajera*, y estuve todo un verano dándole vueltas a esta cuestión, hasta comprender que había trazado instintivamente curvas rigurosas y logarítmicas [...] He descubierto que el entrelazado de espirales que forman el girasol contiene, a todas luces, el perfil perfecto de un cuerno de rinoceronte [...] jamás ha existido en la naturaleza ejemplo más perfecto de espirales logarítmicas que el perfil del cuerno del rinoceronte [...]

Alrededor de 40 años antes el escritor y poeta francés Guillaume Apollinaire ya había defendido arduamente la necesidad de una estética geométrica de la pintura:¹² *Se ha reprochado vivamente a los nuevos artistas pintores sus preocupaciones geométricas. Sin embargo, las figuras geométricas constituyen la esencia del dibujo. La geometría del dibujo, ciencia que tiene por objeto la extensión, sus medidas y sus relaciones, ha sido siempre la regla misma de la pintura [...] Los nuevos pintores, como los antiguos, no se han propuesto ser geómetras. Pero se puede decir que la geometría es a las artes plásticas lo que la gramática es al arte de escribir [...]*

Las matemáticas en la obra de Dalí surgen a raíz del apasionamiento que despierta en él el texto *De divina proportione* del matemático renacentista fray Luca Pacioli,¹³ en el que se describen los cánones que rigen las proporciones del cuerpo humano. Obsesionado por el estudio de tales proporciones, el artista se hizo valer de la colaboración del matemático rumano Matila Ghyka para llevar a cabo unos cálculos que culminaron con la confección en 1948 de la obra *Leda atómica*. Pocos años más tarde, sobre el famoso lienzo de 1951 *Cristo de San Juan de la Cruz* contaría el artista que organizó la figura triangular de Cristo crucificado bajo la sugestión de la imagen, acaecida en sueños, de una esfera contenida dentro de un triángulo. Cuando Dalí recuerda su etapa en la Residencia de Estudiantes de Madrid ya parecía apuntar cierta predilección por el rigor propio del pensamiento matemático [7]: *Paradójicamente, aunque yo estaba entonces en Madrid sólo para hacer pintura cubista, esperaba de mis profesores la ciencia exacta del dibujo, el color y la perspectiva*. En el ocaso de su carrera artística se mostró profundamente inquieto por la autoridad que la ciencia había demostrado ejercer en la exploración de los misterios de la naturaleza, en particular por la teoría de catástrofes de René Thom –cuya simbología inspiró *La cola de la golondrina*–, la fisión atómica –a la que debe la idea de pintar figuras descompuestas en multitud de unidades elementales, como sucede en *Madonna de Port Lligat*, *Galatea de las esferas*, *Dalí desnudo en contemplación ante cinco cuerpos regulares* o *La Madona de Rafael a máxima velocidad*–, el ADN –referido en *La batalla de Tetuán*–, la mecánica cuántica o la ecología.

Dalí colaboró con su amigo Federico García Lorca en la obra teatral *Mariana Pineda* para la que diseñó trajes y escenografía. En el terreno cinematográfico¹⁴ destacaron sus

¹²*Los pintores cubistas*, ensayo crítico de 1913.

¹³Uno de los padres de la contabilidad y gran divulgador de la matemática euclidiana.

¹⁴La relación de Dalí con el cine está descrita con detalle en [16].

colaboraciones con Luis Buñuel en *Un perro andaluz* (*Un chien andalou*, 1929) y *La edad de oro* (*L'âge d'or*, 1930), con Vincente Minnelli en *El padre de la novia* (*Father of the bride*, 1950) y con Alfred Hitchcock en *Recuerda* (*Spellbound*, 1945), films para los que construyó imágenes de potente carga visual, ensoñaciones y decorados paranoicos característicos de su universo estético personal. Para *El padre de la novia* diseñó una pesadilla en que los elementos se alían contra el protagonista desde el mismo momento en que llega (tarde) a la boda de su hija. Sobre *Recuerda* el propio Hitchcock recuerda [18]: *Quería la colaboración de Dalí debido al aspecto agudo de su arquitectura –Chirico es muy parecido–, las largas sombras, el infinito de las distancias, las líneas que convergen en la perspectiva...los rostros sin forma...Naturalmente, Dalí inventó cosas bastante extrañas que fueron imposibles de realizar: ¡una estatua se resquebraja y unas hormigas escapan de las grietas y se arrastran por la estatua, y luego vemos a Ingrid Bergman cubierta de hormigas!* Precisamente fue *La edad de oro* el primer film, simultáneamente al *Asesinato* (*Murder*, 1930) de Hitchcock, en que fue empleada la voz en *off* como monólogo interior de un personaje. El germen de *Un perro andaluz* fue un sueño que Buñuel contó a Dalí en el que aparecía la célebre imagen con que se abre la película, ese ojo en primer plano rasgado por una cuchilla de afeitar; Dalí relató entonces a Buñuel una pesadilla en que se le aparecía una mano llena de hormigas y a partir de estos dos elementos tomó forma la escenografía del film. Para *La edad de oro* la colaboración entre ambos genios fue sin embargo bastante más sinuosa, de ahí que el pintor declarase sobre el producto final que no fue más que *una caricatura de mis ideas*. Sus dos últimos films fueron *La prodigiosa aventura de la encajera y el rinoceronte* (1961), realizado en colaboración con Robert Descharnes; y la pieza para la televisión alemana *Impresiones de la alta Mongolia -Homenaje a Raymond Roussel* (1975), realizada en colaboración con José Montes-Baquer. Como guionista el artista catalán escribió *Babaouo* en 1932 y más adelante, durante una estancia en Hollywood, *Giraffes on horseback salad* junto con Harpo Marx. Lamentablemente ninguno de los dos proyectos llegó a convertirse en película. Asimismo Dalí se mostró acérrimo admirador, como muchos otros intelectuales y artistas de su generación, de la actriz Mae West –a quien pintó en el lienzo *Rostro de Mae West como apartamento surrealista* (1934-35)–, de Shirley Temple –a quien inmortalizó en *Shirley Temple, el monstruo sagrado más joven del cine de su tiempo* (1938)–, de Adolphe Menjou –en quien se inspira el Gaston Modot de *La edad de oro*–, de los Hermanos Marx –a quienes dedica varios homenajes pictóricos como *Portrait de Harpo Marx* (1937) o *Le piano surréaliste* (1937)– y de los grandes actores cómicos del cine mudo, fundamentalmente de Harry Langdon y del gran *Pamplinas*, el hombre con la cara de palo: *Buster Keaton, ¡he aquí la poesía pura de Paul Valéry!* (quien, para no faltar a esta cita, también estudiase matemáticas). Como Keaton, Dalí se fue despacio, sin ceremonias pero de gala... Siempre de Gala.

Volviendo a la tecnología del cine moderno, en 1960 John Whitney fundó Motion Graphics Inc., compañía dedicada a diseñar y construir secuencias para películas y para realizaciones televisivas aún con ordenadores analógicos. De esa época data el que para algunas fuentes es el primer film diseñado íntegramente por ordenador, realizado por Edward E. Zajac en 1963 en los laboratorios de la *Bell Telephone Company* de Nueva Jersey, en que se simula el movimiento orbital de un satélite artificial. Sin embargo, dos años antes John Whitney ya había filmado un cortometraje experimental realizado con un ordenador analógico: *Catalogue*, del que se dice inspiró a Douglas Trumbull los efectos visuales del corredor estelar en *2001: una odisea del espacio* (*2001: a space odyssey*, Stanley Kubrick, 1968). Whitney opinaba lo siguiente en relación a sus primeras experiencias con el diseño de imágenes computerizadas: *Es irónico, por decirlo de alguna manera, que la mayoría de los artistas que experimentan con el ordenador deban vérselas con la necesidad de que todas sus concepciones gráficas sean traducidas a funciones numéricas. Tras una época en que he tratado de resistirme a esta tarea más bien tediosa, ahora doy la bienvenida a la base matemática del grafismo por ordenador, precisamente*

por las ventajas estructurales que en ella he descubierto...Esta aceptación me ha abierto la puerta a un nuevo diseño visual en movimiento, cuya verdadera esencia es la periodicidad digital...Este es un mundo muy similar al que ha conocido el compositor desde hace al menos mil años, dedicado a componer sus obras en base a la periodicidad del audio. Al programador de IBM Jack Citron se debe la escritura del programa original GRAF (Graphic Additions To Fortran) a partir de una ecuación en coordenadas polares con unos 60 parámetros, que Whitney usó para sus proyectos desde 1966. Citron consideraba imprescindible el conocimiento matemático para un buen desarrollo de la potencialidad artística [20]¹⁵ : *En el futuro se necesitará más base matemático-lógica que la que tienen hoy los artistas, pero no se necesitarán 10 años de aprendizaje de física nuclear. Lo que debería hacerse es desarrollar un currículo científico para el artista. No conozco a nadie que haya barajado esta opción seriamente, pero debería hacerse.*

Junto a las ya citadas merece también ser destacada *Lapis* (1966), otra de las primeras piezas cinematográficas animadas por ordenador dirigida por el hermano menor de John, James Whitney, que consiste en una sucesión de efectos caleidoscópicos producidos por círculos que oscilan hipnóticamente hacia adentro o hacia afuera de la imagen siguiendo una gama de colores, todo ello aderezado con una sugerente música de fondo de sitar para favorecer la meditación, como esconde el título. En opinión del prestigioso teórico norteamericano de arte electrónico Gene Youngblood [20]: *Su “Lapis” es probablemente el más bello y uno de los más famosos films realizados con un ordenador. Al igual que el trabajo de su gran amigo Jordan Belson, representa cine expandido en su más amplio sentido: un intento de aproximar las formas de la mente [...] A este respecto Whitney es un “científico del alma” como los antiguos alquimistas en cuyo trabajo ha encontrado mucha inspiración.* La imaginería subjetiva y abstracta de Jordan Belson alcanzó una de sus más altas cotas con *Allures* (1961), film de 16 mm. que él mismo describe como *matemáticamente preciso* en el que trata el tema de la cosmogénesis –término acuñado por Teilhard de Chardin para expresar que el universo no es estático, sino un proceso continuo de transformación hacia nuevos niveles de existencia y organización–. Youngblood lo visualizó del siguiente modo [20]:¹⁶ *Casi de forma imperceptible, un bloque de puntos azules estalla desde abajo en campos de fuerza magnéticos que se acaban convirtiendo en una compleja red de formas geométricas superpuestas hasta que el fotograma se llena de energía dinámica y movimiento matemático [...] Todo es fuertemente reminiscente de 2001, de no ser porque se hizo 7 años antes.*

Otro documento clave del cine experimental de la década de los 60 es *Wavelength* (Michael Snow, 1967), film rodado en una sola toma en que el único elemento dinámico de la realización lo constituye el movimiento del *zoom*; y *Cybernetik 5.3* (1965-69) que, dirigido por John Stehura, atrapa durante varios minutos al espectador en una sucesión de transformaciones matemáticamente lógicas hasta que las formas explotan súbitamente o bien se comportan de modo impredecible. Estehura explicó así la influencia matemática que su obra transpira a Gene Youngblood para *Expanded cinema* [20]:¹⁷

Yo programé “Cybernetik” en Fortran y especifiqué alrededor de 20 campos de manera que las imágenes se metamorfosearan en otros órdenes de diseño. Al escribir el programa definí un “campo” como un punto en el espacio que influye en cierto modo sobre cualquier objeto que entra en su área de influencia. Por ejemplo, el sol es un campo. Esa era la idea básica. Los hice muy específicos. Lo que quería decir es que la imagen, cuando se aproxima lo suficiente a este punto matemático,

¹⁵Según traducción del autor.

¹⁶según traducción del autor.

¹⁷según traducción del autor.

bien aumentará su brillo o su opacidad, bien sufrirá alteraciones como agrandamiento, descomposición en puntos o menguará hasta desaparecer. De modo que esa es la razón de la aleatoriedad. Cuando las imágenes entran en los campos metamorfośicos su orden matemático, aunque esté especificado, se vuelve demasiado complejo y parece aleatorio [...] Al escribir programas en lenguajes de computación tales como Fortran, he trabajado con aproximadamente 5 modelos parametrizados con los que se pueden especificar diseños numéricamente [...] El tercer esquema es un modelo matemático del brazo tal como se usaría para dibujar figuras. Se definen los ángulos, se especifican los arcos y las curvas y se trabaja con esos parámetros. El cuarto esquema con que trabajé está basado en el principio de deflexión. En este caso el modelo matemático responde al patrón de un espacio en que una pelota es lanzada a alta velocidad y va rebotando de pared en pared. Para ello hay que dibujar las trayectorias, los ángulos de deflexión, las distancias recorridas, la forma del entorno en que el proyectil se mueve... Todo esto se simula matemáticamente [...]

Y *City-scape* (1968), del arquitecto Peter Kamnitzer –quien fuese director del Departamento de Urbanismo de la Universidad de California–, film en que *el ordenador dibujaba la ciudad estrictamente a partir de código matemático del mismo modo en que las formas geométricas de Whitney son generadas a partir de ecuaciones polares* [20].¹⁸ Esto quiere decir que el *input* que el ordenador necesitaba no eran más que ecuaciones matemáticas que transformaban un esquema numérico para un entorno tridimensional en una imagen plana en perspectiva que finalmente reproducía una ciudad imaginaria. La solución a tiempo real de estas ecuaciones generaba auténtica perspectiva, color y brillo controlados y profundidad de campo infinita. Continúa Youngblood exponiendo de este modo los méritos científicos, artísticos y tecnológicos de Kamnitzer y su obra: *Con 3 simples mecanismos de control Kamnitzer, sentado ante la pantalla de 21 pulgadas, fue capaz de: (1) frenar y arrancar el movimiento del “vehículo” que circula por la ciudad; (2) controlar la dirección del movimiento sobre y bajo puentes, a través de túneles, doblando esquinas, etc.; y (3) controlar la dirección visual de forma que, mientras el vehículo puede dirigirse hacia el norte, el “conductor” puede mirar hacia el noreste, el sur o en cualquier dirección sin que se vea afectado su movimiento.* Así como finalmente otras varias producciones abstractas que se inspiraron en las investigaciones científicas que se llevaban a cabo en prestigiosos laboratorios tecnológicos: Boeing, IBM, Bell, NASA, etc. A este respecto, el profesor de la Universidad Pompeu Fabra Xavier Berenguer hace la siguiente reflexión sobre lo que él denomina “imageniería científica”:

[...] se dedica a visualizar naturalezas como el mundo celular, el universo desde satélites y telescopios, la espiral del DNA...; es decir, naturalezas reales como la vida misma, pero que parecen imágenes completamente inventadas. Está también la infografía basada en modelos matemáticos de fenómenos de la naturaleza, como la complejidad, el caos, las formas fractales; aun inspirada directamente en la apariencia real de la naturaleza y sin pretensión artística a priori, esta infografía da lugar a imágenes fantásticas y a menudo muy bellas [...]

Para avanzar, la infografía precisa conocimientos antes que máquinas y antes que programas. Necesita representaciones matemáticas de las cosas, de ahí que la infografía, como método para

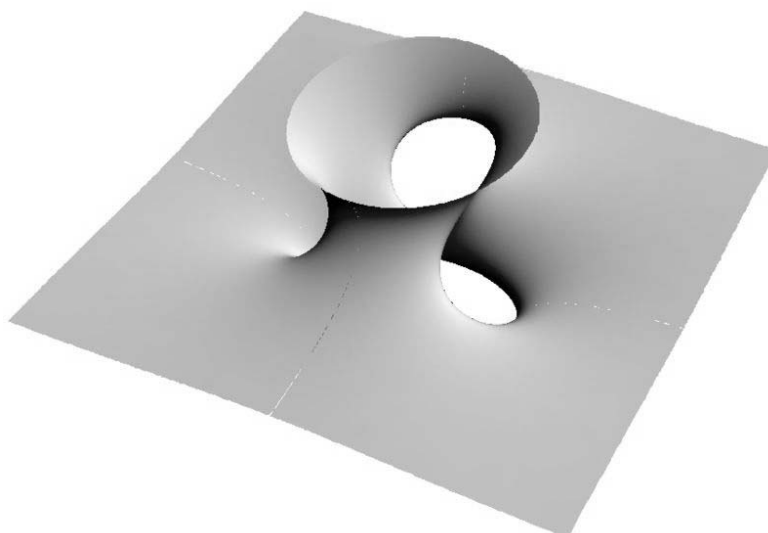
¹⁸según traducción del autor.

fabricar imágenes, entronque con la tradición más profunda de la ciencia.

Sus ecuaciones diferenciales y sus programas reproducen el movimiento de esos cuerpos teniendo en cuenta todos los parámetros físicos que actúan en la realidad, como los momentos de inercia de las masas, la distribución de las fuerzas, la estructura de materiales... El ordenador hace tangible esta dependencia, desata los límites que hasta ahora existían en la creación de imágenes y, en consecuencia, facilita la consolidación de esa cultura de imágenes, una cultura entre cuyos agentes hay científicos, educadores, industriales, artistas y, por encima de ellos, poderosos [...] Visualizar ideas nuevas, esto es probablemente para lo que mejor sirva el nuevo lenguaje icónico en su aplicación en la industria, la educación, la ciencia, el arte o el poder.

En efecto, el milagro de la percepción ininterrumpida del movimiento de la imagen cinematográfica junto con los continuos avances tecnológicos han abierto grandes posibilidades no sólo en el terreno de la comunicación sino también en el científico, entre otros. El presente y el futuro de la ciencia en imágenes queda espléndidamente reflejado por las palabras de B. H. McCormick, T. A. DeFanti y M. D. Brown [12]: *Los científicos necesitan una alternativa a los números. El uso de las imágenes es hoy día una realidad técnica y, mañana, será un imperativo para el conocimiento. La capacidad de los científicos para visualizar cálculos y simulaciones complejos es absolutamente esencial para asegurar la integridad de los análisis, para provocar la mirada en profundidad y para comunicar el resultado de esta mirada a otros...* En este sentido y rebasando incluso la ficción artística, el progreso desmedido en lo que a tecnología de los computadores se refiere ha contribuido a hacer posibles importantes aportaciones científicas. El catedrático de matemáticas Michele Emmer acaba por confirmarlo [8]:

En los últimos años, gracias a la explosión de la revolución informática, las cada vez más sofisticadas técnicas de grafismo electrónico, se han podido visualizar fenómenos matemáticos que hubiera sido difícil suponer que existieran [...] Dos matemáticos



Superficie mínima de Costa

¹⁹Tradicionalmente la forma de una superficie mínima es aquella que puede adoptar una película fina de jabón sobre un alambre debido a la cohesión interna de sus moléculas, que hace que tienda siempre a organizarse según configuraciones con el menor área posible.

americanos, David Hoffman y William Meeks III, utilizando las ecuaciones encontradas por el matemático brasileño Costa, han conseguido demostrar la existencia de una clase de superficies mínimas de tipo topológico bastante elevado, superficies mínimas con huecos, no obtenibles por tanto con las láminas con jabón.¹⁹ El método usado por los dos matemáticos consistió en estudiar visualmente, en el video de un procesador, las superficies construidas a partir de las ecuaciones de Costa para intentar entender cuál era su estructura; a partir del estudio de las imágenes Hoffman y Meeks han logrado captar algunas simetrías de las figuras que veían y gracias a esta observación también han podido demostrar analíticamente la existencia de las soluciones. En un trabajo reciente, los dos matemáticos americanos consideran que ahora el grafismo electrónico es el nuevo jabón a utilizar para estudiar las superficies mínimas. Y no sólo eso, sino que el uso de las imágenes en el estudio de algunos sectores de la investigación matemática continuará extendiéndose.

Desde una perspectiva recíproca, el progreso de la ciencia ha influido notablemente en la tecnología de los ordenadores y la industria cinematográfica se ha visto envuelta en una carrera sin precedentes hacia la digitalización. Guillermo Cabrera Infante hizo una lectura teológico-relativista del concepto [3]: *De 2001 acá, la tecnología ha avanzado hasta parecerse al cine, forma visible de la magia, para dejar atrás todos los misterios que vendrán. Pase lo que pase en el espacio exterior, cada día es más obvio que estamos solos en el universo y más que una causa somos el efecto de una casualidad –o un juego de azar. O canicas de Einstein: pensantes bolitas de barro. Y esa casualidad de la que puede que procedamos adopta tintes matemáticos en el discurso cinematográfico de Woody Allen [9]: En Poderosa Afrodita, sin tensión alguna, con un fluido desarrollo de la acción –sin embargo pausado–, sin más pirotecnia que la exquisita brillantez verbal, Woody Allen nos pasea por el destino, demostrando casi matemáticamente su condición de fruto de la casualidad y los errores –o aciertos– de cada cual, aunque nos empeñemos en buscarle otras compañías al hado. Pero lo hace en broma ¿no?*

En febrero de 1998 se celebró en Filadelfia un symposium dedicado a la exploración de nuevas fronteras de la geometría en el mundo que nos rodea y en las aulas, con ocasión de la celebración del 150 aniversario de la *American Association for the Advancement of Science*. Uno de los ponentes fue Tony DeRose –investigador de *Pixar Animation Studios*– quien impartió una suculenta conferencia titulada *How geometry is changing Hollywood*. En palabras suyas:²⁰ *¿ Se ha preguntado alguna vez cómo se hizo el efecto del terminator de metal líquido en Terminator 2? ¿ O cómo se hizo Toy story? La respuesta es que se utilizaron técnicas geométricas sofisticadas, en conjunción con una dirección artística talentosa y tecnología de computadores. Esta charla proporciona una visión accesible sobre lo que hay detrás de la realización de una película digital, prestando especial atención al papel fundamental que desempeña la geometría.*

Toy story fue el primer largometraje de animación por ordenador realizado por Pixar en colaboración con *Walt Disney Studios* en 1995, dirigido por el entonces responsable creativo de Pixar, John Lasseter: *Otra tendencia que se ha evidenciado cada vez más a lo largo de la década es el aumento del uso de imágenes digitales. Toy story (1995) fue el primer largometraje creado íntegramente por ordenador. La informática permite hoy simular suntuosos decorados históricos, como el Coliseo en Gladiator de*

²⁰Según traducción del autor.

²¹Filósofo austriaco del siglo XX, fundamentalmente preocupado por el análisis lógico, lingüístico y conceptual de las cosas, cuyo interés por las matemáticas puras lo llevó a Cambridge al lado de Bertrand Russell.

Ridley Scott o un transatlántico de lujo agitándose en pleno océano en *Titanic* de James Cameron. El primer ejemplo de este avance se vio en *La guerra de las galaxias: Episodio I, La amenaza fantasma* (1999), con sus impresionantes trucajes. Aunque resulta difícil predecir qué progresos surgirán en este campo, es probable que repercutan sobre todo en el cine de acción [...] según corrobora Jürgen Müller en [13]. Es también aquí donde Olaf Möller escribe lo siguiente: *Aunque la historia no fuera la obra maestra que es, esta película tendría su lugar en la historia del cine, ya que fue la primera que se hizo exclusivamente con animación por ordenador. Todo, desde la brizna de hierba más pequeña hasta el ejército de plástico, se creó en un ordenador, desde los primeros esbozos hasta el objeto terminado en 3 dimensiones. Avances técnicos como éste implican la posibilidad de simular algunas tareas clásicas del cine como la fotografía, aunque el ojo de la cámara y, especialmente, sus ideas, siguen siendo vitales. Toy story tuvo su primer contacto con el mundo exterior cuando el trabajo terminado se pasó del disco duro a una película de 35 mm. Cuando apareció la segunda parte cuatro años más tarde, existían métodos alternativos de distribución: Toy story 2 fue la primera película del mundo que se exhibió en algunos cines en sistema digital. Y, según la crítica aparecida en el magazine cinematográfico inglés *Sight and sound: Parafraseando a Wittgenstein*,²¹ para todos los personajes de *Toy story* la tecnología es el límite de su mundo.*

La segunda colaboración Pixar-Disney dio como resultado *Bichos (A bug's life)*, John Lasseter, 1998), película en que se introdujeron un tipo concreto de técnicas matemáticas de modelización y compresión de imagen, basadas en el uso de las llamadas transformaciones *wavelet*, para generar un potente método de animación por ordenador. Las transformadas *wavelet* son la base, por ejemplo, del formato digital JPEG de compresión de imágenes (en proporción 1:200) de alta calidad aprobado en 1999 por la Organización Nacional de Estándares. Unos años antes, en 1992, el FBI comprimió su enorme base de datos de huellas digitales usando también un método de *wavelets* desarrollado por Tom Hopper, de la división de servicios de información criminal del FBI, y por Jonathan Bradley y Chris Brislawn del Laboratorio Nacional de Los Alamos. Otro film prototípico de lo que para el cine supone la investigación computacional es *Parque jurásico (Jurassic park)*, Steven Spielberg, 1993), basada en la novela homónima de Michael Crichton quien utilizando una doctrina de moda, nos recomienda aplicarnos en la ciencia del caos si queremos saber dónde parará antes o después el caos de la ciencia según Fernando Savater. Steffen Lückehe lo expresó así en [13]: *Los dinosaurios simulados parecen tan convincentes porque son el resultado de una combinación de muchas técnicas diferentes de alta tecnología. Los animadores de maquetas trabajaron mano a mano con los animadores por ordenador, expertos en composición sobre pantalla azul y adiestrados de animales [...] Otro reto fue producir un efecto acústico que acompañara el efecto óptico de las pisadas de los dinosaurios produciendo ondas anulares en un vaso de agua. Los ingenieros de sonido resolvieron este problema colocando el vaso sobre una guitarra y tocando las cuerdas. Efectos como éstos causaron sensación en las salas de cine.*²²

Pues bien, detrás de toda esta alharaca de efectos visuales y sonoros de todo tipo lo que prevalece es la herramienta matemática. Joe Stam, licenciado en Ciencias de la Computación y Matemáticas Puras por la Universidad de Ginebra y doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad de Toronto, habla así sobre el papel que las matemáticas desempeñan en su actividad profesional:²³ *El diseño gráfico computacional me permite emplear técnicas matemáticas aplicadas a la programación, lo que se traduce en la creación de imágenes generadas por ordenador. Considero que se trata de una*

²²Una de las prácticas habituales para diseñar efectos digitales consiste en filmar por separado la acción del personaje u objeto central de la escena, generalmente sobre fondo azul, y por otro lado el fondo real sobre el que, tras eliminar el azul, se incrustará finalmente la toma anterior.

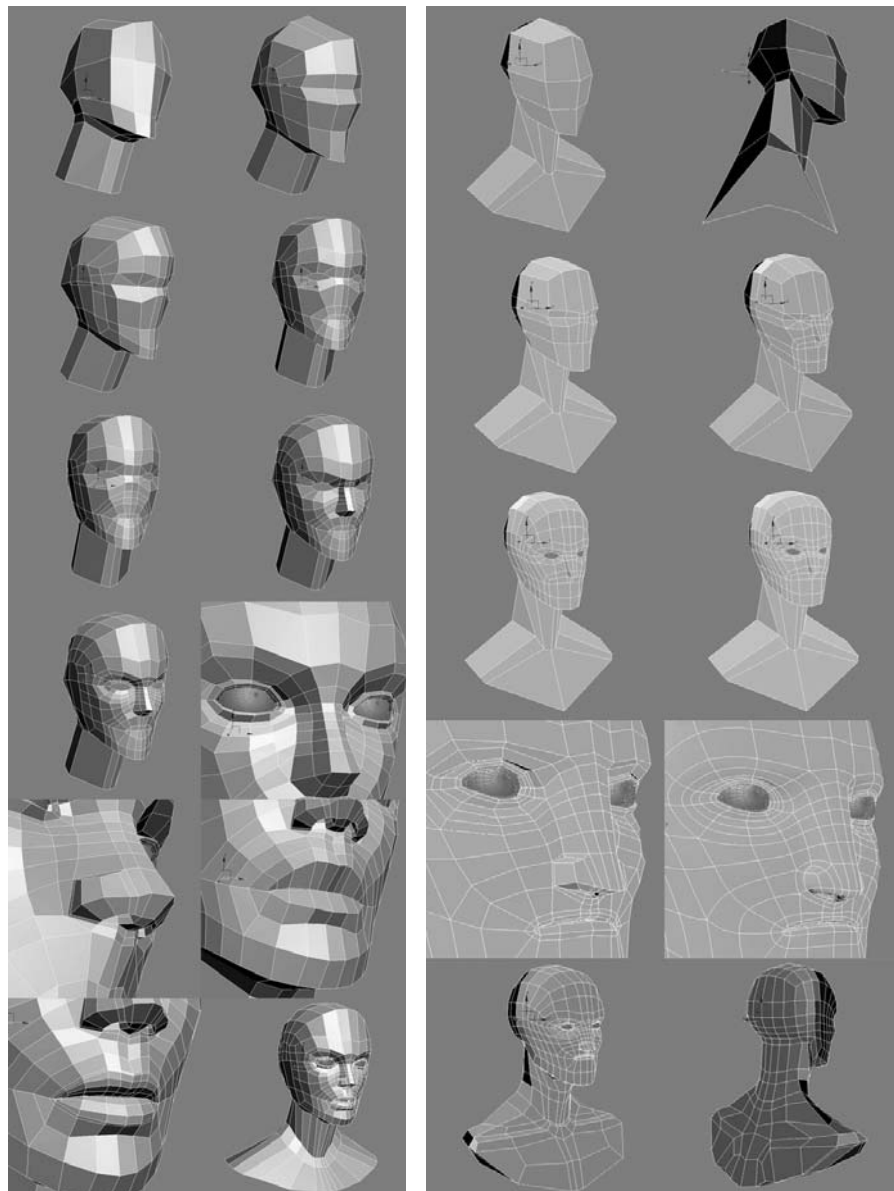
²³Según traducción del autor.

buena mezcla de las cosas que me gusta hacer, por lo que disfruto del empleo perfecto. Puedo hacer matemáticas, desarrollar códigos y generar imágenes casi increíbles. Joe Stam ha colaborado en películas como *La guerra de los mundos* (*War of the worlds*, Steven Spielberg, 2005), *Charlie y la fábrica de chocolate* (*Charlie and the chocolate factory*, Tim Burton, 2005), *Yo, robot* (*I, robot*, Alex Proyas, 2004), *Los increíbles* (*The incredibles*, Brad Bird, 2004), *El señor de los anillos: el retorno del rey* (*The lord of the rings: the return of the king*, Peter Jackson, 2003), *Peter Pan* (P. J. Hogan, 2003) o ese milagro cinematográfico más que film que se tituló *Buscando a Nemo* (*Finding Nemo*, Andrew Stanton y Lee Unkrich, 2003).

No debe sorprendernos tras lo dicho que la empresa que más matemáticos emplea actualmente en el mundo sea *Pixar Animations*, fundada por el científico de la computación Edwin Catmull y el matemático y economista Alvy Ray Smith, quien hace poco proclamó en una conferencia la necesidad que la industria cinematográfica tiene de artistas preparados para lidiar con las nuevas tecnologías y abordar los grandes retos del futuro en comunicación audiovisual, artistas capaces en definitiva de *mostrar el significado artístico de la calculabilidad*. En 1986 Pixar se independizó de la mano del fundador de Apple, Steve Jobs, enfocando su actividad hacia el desarrollo del software necesario para la filmación de películas exclusivamente por ordenador. No es por tanto de extrañar que en Pixar los empleados no sólo manipulen dibujos, guiones y gráficos animados sino que además publiquen artículos de investigación, explicando por ejemplo cómo las ecuaciones diferenciales pueden llegar a garantizar una descripción correcta, basada en principios físicos y ópticos complejos, de los fenómenos interactivos que acaecen entre la luz y los objetos y a su vez proponiendo algoritmos eficientes para su resolución. Tal es el caso de la llamada ecuación de *rendering*, que postula la intensidad lumínica de un punto cualquiera, llamémoslo P, como suma de las emisiones radiativas desde cualquier punto del espacio hacia otro punto cualquiera Q, más la luz reflejada por Q hacia P. Además, Pixar dispone de 10000 CPUs (*Central Process Units*) en su *Render Farm* para resolver numéricamente estas y otras ecuaciones relacionadas con el proceso de *rendering*. Según la terminología propia del diseño asistido por ordenador, recibe el nombre de *rendering* el proceso de generación de imágenes que se lleva a cabo a partir de píxeles (unidades elementales de luz y color de una imagen) cuando se dispone de una descripción de alto nivel del objeto tridimensional a representar. Este proceso constituye uno de los más costosos computacionalmente de entre todos los que participan en la producción de una película de animación, si se tiene en cuenta que todos los factores relacionados con la luminosidad o el sombreado son primordiales en la elaboración del producto final. Sin ir más lejos, para diseñar un solo fotograma de *Buscando a Nemo* (es decir, lo que en pantalla vemos durante la vigésimo cuarta parte de un segundo) hubo que recurrir a la actividad de 2000 procesadores durante 10 horas. No resulta extraño así que Donald Greenberg, catedrático de diseño gráfico computacional en la Universidad de Cornell, manifestara en una ocasión:²⁴ *en términos de rendering, reflexión subsuperficial y matemáticas de superficies curvas, Pixar ha contratado a algunos de los mejores profesionales.*

El concepto de reflexión subsuperficial hace alusión al hecho de que la reflexión de la luz en contacto con una amplia variedad de materiales depende no sólo de los fenómenos de interacción de la misma con la superficie del medio, sino también de otras interacciones que suceden en estratos interiores del material. En efecto, la luz atraviesa la superficie y se adentra en el material, donde parte de ella se dispersa y otra parte es absorbida por las moléculas del mismo. La luz dispersada es finalmente devuelta al exterior en forma de reflejo. El modelo matemático más utilizado para describir la reflexión subsuperficial es el de Kubelka-Munk, que data de 1931. Este modelo asume

²⁴Según traducción del autor.



Modelado geométrico de caras por medio de la técnica de subdivisión de superficies (estudios realizados por James Rod)

que el medio dispersa y absorbe luz homogéneamente en todas las direcciones y que el color e intensidad de la porción de luz reflejada vienen dados como función del grosor y de la concentración de colorante del material.

Actualmente destaca también en este sentido la labor realizada por la compañía *Mathematical Technologies Inc.*, fundada en 1981 y especializada en la incorporación de teorías matemáticas y nuevas tecnologías de programación al reformato y la eliminación de defectos en las películas. Sus investigadores han desarrollado algoritmos eficientes para generar datos que permiten rellenar las áreas dañadas de las imágenes, restableciendo así su calidad original. Hoy se puede decir que estos métodos correctores han sido integrados con enorme éxito en los procesos de posproducción de la industria de Hollywood. En cuanto a la matemática de superficies curvas a que se refería Greenberg en la declaración anterior, una de las técnicas que con mayor éxito los animadores aplican para diseñar contornos es la de subdivisión de superficies, la cual permite suavizar las mismas mediante la introducción de mallas poliédricas que se van refinando sucesivamente (para

pasar de una malla a la siguiente los vértices son desplazados conforme a un conjunto de reglas que producen vértices nuevos) para que los perfiles así generados se parezcan, cada vez más, a la imagen original que se desea aproximar. Una de las grandes ventajas matemáticas del algoritmo radica en que la superficie última obtenida mediante este proceso es topológicamente equivalente a la primera malla considerada –la aproximación más grosera–, es decir, ambas son *idénticas* desde una perspectiva matemática salvo deformaciones elásticas o, dicho de otro modo, no hay que romper o agujerear una para obtener la otra.

Un mundo, como puede vislumbrarse, plagado de grandes dosis de ciencia y de técnica, de innovación y de investigación, de cálculo y de aprovechamiento de los recursos que ofrecen las nuevas tecnologías... Tal como en una ocasión profetizara la actriz (inventora y *streapper*) Hedy Lamarr, o *Lamarrvellous* según el rito bautismal del departamento de publicidad de la Metro Goldwyn Mayer: *Las películas encuentran su sitio en un cierto periodo de tiempo, mientras que la tecnología es para siempre*. A pesar de que todos sepamos que hay tecnologías efímeras y películas atemporales, eternas...
To be continued

Bibliografía

- [1] Boyer, C. B., *Historia de la matemática*, Alianza Universidad, 1992.
- [2] Berenguer, X., *Las imágenes sintéticas*, en *La infografía*, M. Aguilera y H. Vivar eds., Fundesco, 1990.
- [3] Cabrera Infante, G., *Cine o sardina*, Alfaguara, 1997.
- [4] Chiarini, L., *El cine, quinto poder*, Taurus, 1963.
- [5] Ceram, C. W., *Arqueología del cine*, 1965.
- [6] Dufлот, J., *Conversaciones con Pier Paolo Pasolini*, Anagrama, 1971.
- [7] Dalí, S., *La vida secreta de Salvador Dalí*, Vision Press, Londres, 1948.
- [8] Emmer, M., *La perfección visible: matemática y arte*, en *The visual mind II*, MIT Press, 2005.
- [9] Freixas, R. y Bassa, J., *El universo de Woody Allen*, Ed. Notorious, 2008.
- [10] Gubern, R., *Historia del cine*, Lumen, 2005.
- [11] Moles, A., *La comunicación y los mass media*, Ed. Mensajero, 1974.
- [12] McCormick, B. H., DeFanti, T. A. y Brown, M. D., *Visualization in scientific computing*, Computer Graphics 21, 1987.
- [13] Müller, J., *Cine de los 90*, Jürgen Müller ed., Taschen, 2002.
- [14] Sánchez Vidal, A., *Historia del cine*, Historia 16, Información e Historia S. L., 1997.
- [15] Sklovski, V., *Cine y lenguaje*, Anagrama, 1971.
- [16] Tejada, C., *Arte en fotogramas -Cine realizado por artistas*, Cátedra, 2008.
- [17] Thomson, D., *La verdadera historia de Hollywood [The whole equation]*, T & B editores, 2008.
- [18] Truffaut, F., *El cine según Hitchcock*, Alianza Editorial, 1974.
- [19] Whitney, J., *A computer art for the video picture wall*, en *Experimental animation*, Da Capo Press, 1976.
- [20] Youngblood, G., *Expanded cinema*, E. P. Dutton & Co. Inc., Nueva York, 1970 (descatalogado), disponible en versión electrónica en <http://www.vasulka.org>