

03063

3  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

U.A.C.P. y P.  
I.I.M.A.S.

"SÍNTESIS Y MODELADO DE  
EXPRESIONES FACIALES  
BASADO EN UN MODELO  
MUSCULAR"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN

P R E S E N T A :  
MARÍA DE LOURDES GUERRERO ZARCO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MÉXICO, D.F.

JUNIO DE 1999

1

275804



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Contenido

## **1 Introducción.**

## **2 Antecedentes.**

2.1 Experimentos de Duchenne.

2.2 Investigaciones de Charles Darwin.

2.3 Sistema de Codificación de Acción Facial.

2.4 Áreas de aplicación.

## **3 Anatomía de la cara y la cabeza.**

3.1 Esqueleto facial.

3.2 Músculos principales de la cara.

3.2.1 Músculos de la boca.

3.2.2 Músculos de los ojos.

3.2.3 Músculos de la nariz.

3.2.4 Músculos de la mandíbula.

## **4 Análisis de las expresiones faciales.**

4.1 Músculos de las expresiones faciales.

4.2 Expresiones universales.

## **5 Modelado facial.**

5.1 Fuentes de datos para la superficie facial.

5.2 Topología poligonal.

- 5.3 Modelos de yeso.
- 5.4 Colección de datos y los modelos plásticos.
- 5.5 Modelado basado en superficies implícitas.

## **6 Animación facial.**

- 6.1 Técnicas para la animación facial.
- 6.2 Expresiones faciales.
- 6.3 Sistemas para la codificación de expresiones.
- 6.4 Modelos parametrizados directos.
- 6.5 Animación facial basada en músculos.

## **7 Animación facial con base en el movimiento de los músculos.**

- 7.1 Descripción de conjuntos paramétricos faciales.
- 7.2 Factores que determinan el modelado de los músculos faciales.
- 7.3 El mecanismo de los músculos.
- 7.4 El proceso de los modelos musculares.
  - 7.4.1 Vectores musculares.
  - 7.4.2 Músculo lineal.
  - 7.4.3 Músculo esfínter.
  - 7.4.4 Músculo hoja.
- 7.5 Rotación de la mandíbula.

## **8 Descripción del modelo computacional para los músculos faciales.**

- 8.1 Archivos de los datos.
- 8.2 Modelado de expresiones faciales basado en el modelo muscular.
  - 8.2.1 Tristeza.
  - 8.2.2 Enojo.
  - 8.2.3 Alegría.
  - 8.2.4 Miedo.
  - 8.2.5 Disgusto.

8.2.6 Sorpresa.

**9 Conclusiones.**

**Bibliografía.**

**APÉNDICE**

**Estructura Facial.**

# Capítulo 1

## Introducción.

El poder comunicativo de la cara la hace un foco de atención durante la interacción social, así las expresiones faciales y los cambios relacionados con los patrones faciales nos informan del estado emocional de las personas alrededor de nosotros y ayudan a regular tanto la interacción social, como la conversación hablada. Esta naturaleza expresiva de las caras está categorizada en las expresiones universales de *tristeza, enojo, alegría, miedo, disgusto y sorpresa*; asimismo, para entender totalmente la sutileza e informatividad de la cara, considerando la complejidad de los movimientos involucrados, se deben de estudiar tanto la percepción de la cara como el procesamiento de la información relacionada.

Por esta razón la percepción de la cara y el procesamiento de la misma se han convertido en los tópicos principales de investigación por científicos cognoscitivos, sociólogos y más recientemente por investigadores en graficación y visión por computadora.

Muy claramente, la automatización del procesamiento de las caras humanas por una computadora será un paso significativo hacia el desarrollo de interfaces hombre-máquina más amigables, por lo tanto debemos de considerar las formas en las cuales un sistema que cuente con la habilidad

para entender gestos faciales (análisis), y el significado de automatizar esta interpretación y/o producción (síntesis) debe realzar la interacción hombre-máquina. Es este análisis y síntesis, relacionado con la parte gráfica, que conforman las premisas de esta tesis.

Esta tesis presenta la síntesis y modelado de expresiones faciales basado en un modelo muscular sustentado en la anatomía de los músculos de la cara, donde se representa la acción de los músculos usando parámetros los cuales permiten que la topología se adecúe. Las acciones musculares están basadas en el *Sistema de Codificación de Acción Facial (Facial Action Coding System-FACS)*, el cual establece unidades de acción para un músculo o un pequeño grupo de músculos.

El modelo muscular fue diseñado por Waters [Wat87] para ser "natural" tanto como es posible en la representación por medio de dos tipos de músculos; los músculos lineales/paralelos, que se tuercen; y los músculos esfínter, los cuales se contraen. En el primer tipo se encuentran las mejillas y en el segundo tipo se encuentran tanto la boca como los ojos.

En este modelo cada acción muscular es independiente y el desplazamiento de los nodos está determinado por una sucesión de acciones musculares, así la estructura nodal de la cara determina que cada vértice tiene un grado de libertad finito.

En esta tesis, en primer término se presentan algunas de las aplicaciones del reconocimiento de expresiones y síntesis faciales basadas en computadora, así como una revisión de la literatura más relevante y antecedentes (Cap.1, Cap.2 y Cap. 3). Esta revisión cruza los dominios de la psicología y las ciencias cognitivas, la graficación y visión por computadora, así como la interacción hombre-máquina. El Cap.4 está exclusivamente dedicado al análisis de las expresiones desde el punto de vista anatómico. Los Cap.5 y 6 describen los detalles cuantitativos y cualitativos del modelado y animación facial. Posteriormente se presenta el análisis de los datos adquiridos usando la descripción de vectores musculares (Cap.7) y detalles de los resultados. En

el Cap.8 se hace una descripción a detalle del modelo muscular para la animación facial humana. Finalmente se presentan limitaciones y sugerencias para futuros trabajos así como las conclusiones de la tesis.

## Capítulo 2

# Antecedentes.

De todos los comportamientos no verbales como son: movimientos del cuerpo, posturas, mirada, voz, etc., la cara es probablemente la “ventana” más accesible a los mecanismos con los cuales gobernamos nuestras emociones y la vida social. No cabe duda que los desarrollos tecnológicos actuales nos proporcionan los medios para desarrollar sistemas automatizados capaces de monitorear las expresiones faciales y animar modelos faciales sintéticos.

En investigaciones basadas en el estudio del cerebro las expresiones faciales pueden identificarse con los procesos mentales que están ocurriendo, y el uso de computadoras se ha convertido en una herramienta útil para tales estudios, tomando en cuenta que este proceso une el entendimiento de la emoción y las expresiones faciales asociadas.

Las expresiones faciales también tienen aplicaciones en investigaciones médicas, como ya se ha mencionado anteriormente, y en casos de análisis del estado psicológico del paciente. Asimismo, el modelado facial detallado se puede utilizar para visualizar las caras en aplicaciones biomédicas, ya que varios investigadores han usado modelos biomecánicos en tres dimensiones para pre/post simulaciones quirúrgicas y planeación de trayectorias quirúrgicas.

Una de las primeras investigaciones publicadas acerca de las expresiones faciales fue hecha John Bulwer en 1640, donde sugería que no se podía solamente leer los labios sin interferir en el estado emocional de las acciones de los músculos. Subsecuentemente, más tarde en el siglo XIX Charles Bell, Duchenne de Boulogne y Charles Darwin hicieron investigaciones más rigurosas acerca de las expresiones faciales.

## 2.1 Experimentos de Duchenne.

La investigación más importante en expresiones faciales de su tiempo fue hecha por Duchenne [Duc62], dicha investigación se basó en experimentos electrofísicos los cuales contribuyeron a dar a conocer un nuevo medio para *fotografiar*. Él analizó la articulación facial estimulando los músculos faciales con electrodos mojados que liberarán directamente corriente “galvánica” (acción que ejercen las corrientes eléctricas continuas en los órganos vivos) sobre puntos de motor claves en la superficie de la cara, y así observó que las contracciones aisladas de los músculos se pueden establecer por medio de la posición cuidadosa de los electrodos. Duchenne podía manipular y grabar la actividad facial de los músculos y así clasificarlos en pequeños grupos de los que se pudieran considerar como expresivos. Con el apoyo de esta herramienta, Duchenne documentó y clasificó los músculos que para él eran expresivos e inexpressivos, publicando sus resultados en “De la physionomie humaine ou analyse electro-physiologique de l’expression des passions applicable à la pratique des arts plastiques” [Duc62]. Hubo discrepancias en la clasificación entre los estudiosos del ramo e investigaciones más recientes, pero esencialmente él fue quien definió el campo de estudio. Una muestra de dicha clasificación se proporciona en la siguiente tabla ejemplo (TABLA 2.1);

**TABLA 2.1**

**Músculos asociados a la expresión.**

| <b>Nombre común</b>                                 | <b>Nombre usado por Duchenne</b> |
|---|----------------------------------|
| <i>músculo frontalis</i>                            | <i>músculo de la atención</i>    |
| <i>parte superior del músculo orbicularis oculi</i> | <i>músculo de la reflexión</i>   |
| <i>músculo corrugator supercilli</i>                | <i>músculo del dolor</i>         |
| <i>músculo procerus</i>                             | <i>músculo de la agresión</i>    |

## **2.2 Investigaciones de Charles Darwin.**

Charles Darwin publicó dos libros "The Origin of Species" y "The Expression of the Emotions in Man and Animals" [Dar72], los cuales no recibieron un reconocimiento de inmediato, y cuya principal aportación es un enfoque moderno acerca de la investigación del comportamiento biológico de los humanos y los animales. Asimismo, fue el primero en demostrar la existencia de la universalidad de las expresiones y su continuidad en hombres y animales. En los siguientes 100 años o más, los científicos han clasificado y refinado muchas de las teorías postuladas por Darwin.

## **2.3 Sistema de Codificación de Acción Facial.**

Para clasificar las expresiones primero se necesita determinar los movimientos faciales asociados a las mismas, así los psicólogos Ekman y Friesen desarrollaron un sistema para describir todos los movimientos distinguibles visualmente, llamado Sistema de Codificación de Acción Facial (Facial Action Coding System-FACS) [EF78], el cual describe el conjunto de todas las posibles *unidades de acción* básicas generadas por la cara humana. Como ejemplos de unidades de acción se pueden mencionar el levantamiento

de la parte interna de las cejas, el levantamiento de la parte externa de las cejas y el apretar el párpado. Cada unidad de acción es una acción mínima que no puede ser dividida en acciones mucho más pequeñas y de acuerdo con Ekman "FACS permite la descripción de todo el comportamiento facial que podemos observar y todas las acciones faciales que podemos intentar como seres humanos".

El principal objetivo de FACS fue el desarrollo de un sistema el cual pudiera describir realmente todos los posibles movimientos faciales distinguibles visualmente, haciendo énfasis en lo relativo a lo visual, y movimientos entendibles. El Sistema de Codificación de Acción Facial solamente abarca lo que se refiere a la claridad visible de la cara, ignorando cualquier cambio invisible, es decir FACS solamente comprende la descripción del movimiento facial y no hace inferencias acerca del significado del movimiento.

El uso de FACS en la animación facial se intentó originalmente como una forma de registrar o describir movimientos faciales y en un gran número de sistemas de animación, FACS se usa como una forma de controlar el movimiento facial especificando las acciones musculares necesarias para llevar a cabo los cambios de las expresiones deseadas.

FACS es producto del análisis de bases anatómicas de los movimientos faciales, de aquí que todo movimiento facial sea el resultado de alguna acción muscular. Este sistema fue desarrollado para determinar cómo cada músculo de la cara actúa para cambiar la apariencia visible e incluye todas las acciones musculares que pueden ser controladas independientemente. El primer paso para este desarrollo fue el de determinar aquellos músculos que pueden excitarse voluntariamente e independiente de los demás, así determinar cómo cada uno de estos músculos cambia la apariencia facial; el siguiente paso fue el de establecer, si todas las acciones musculares por separado podrían ser distinguidas con exactitud tomando en cuenta solamente la apariencia. Hay instancias donde es muy difícil hacer la diferencia entre un conjunto de músculos basados solamente la apariencia, en

estos casos se definió solamente una unidad de acción la cual debe de ser el resultado de dos o tres músculos diferentes. De lo anterior se concluye que no existe una correspondencia completa uno-a-uno entre las unidades de acción y los músculos, asimismo, más de una unidad de acción pueda ser asociada con un músculo. En el caso del músculo frontalis el cual se usa para levantar las cejas, dos unidades de acción diferentes se asocian a este músculo correspondiendo una a la parte interna de la ceja y otra a la parte externa de la ceja. La Tabla 2.2 muestra el nombre, número y base anatómica para cada unidad de acción. La Tabla 2.3 presenta 11 unidades de acción adicionales, en donde varias de ellas no involucran músculos faciales.

FACS también incluye descriptores los cuales pueden ser útiles para medir la posición de la cabeza y los ojos. Asimismo, FACS está limitado en aquellos músculos que pueden ser controlados voluntariamente y por lo tanto cualquier músculo facial que no esté bajo el control voluntario no se contempla dentro del enfoque de FACS.

Otra de las características de FACS es que pretende estar completo para distinguir acciones de las cejas, frente y párpados, mas sin embargo no incluye todas las acciones distinguibles visibles realmente de la parte baja de la cara. Por otra parte, el movimiento de la mandíbula y la flexibilidad de los labios se pueden llevar a cabo por un número infinito de acciones, lo cual es particularmente verdadero para acciones relacionadas con el habla.

FACS establece un total de 46 unidades de acción y teóricamente es posible realizar muchas combinaciones de ellas. También cabe señalar que un movimiento facial puede involucrar solamente una unidad de acción y no todas las unidades de acción se pueden combinar dado que algunas acciones son opuestas y se puede dar el caso que una acción pueda cancelar la presencia de otra.

### ***Ejemplo de Unidades de Acción (AU).***

**AU 10 - Levantar el labio superior.-** Los músculos de esta acción se mueven rigurosamente del centro hacia las mejillas en dirección de las hendiduras labio-nasales y el centro del labio es levantado hacia arriba. Las partes exteriores del labio superior también se levantan pero no tan alto como la parte del centro. Esta acción produce una curva angular en la forma del labio superior, también se levantan las mejillas y puede causar movimientos repetidos en las hendiduras infraorbitales debajo de los ojos.

**AU 15 - Deprimir las esquinas de los labios.-** Los músculos que manejan esta unidad de acción tiene movimiento desde los puntos cercanos a las esquinas de los labios hacia la parte baja de la barba. Esta acción deprime las esquinas de los labios hacia abajo, así es como se realizan cambios en la forma de los labios un cierto ángulo y en algunas ocasiones se pueden estirar horizontalmente.

**AU 17 - Levantamiento de la barba.-** El músculo para esta acción corre desde la parte baja de la barba hacia el labio inferior. En esta acción la piel de la barba es empujada hacia arriba, empujando también hacia arriba el labio inferior y como el centro del labio superior es empujado hacia arriba la forma de la boca cambia a una forma fruncida.

TABLA 2.2

Unidades de Acción Facial.

| AU | Nombre en FACS                          | Base muscular   |
|----|---|---|
| 1  | Levantarse la parte interna de la ceja  | Frontalis, Pars Medialis  |
| 2  | Levantarse la parte externa de la ceja  | Frontalis, Pars Lateralis   |
| 4  | Levantarse la ceja                      | Depresor Glabellae, Depresor Supercilli, Corrugator                                   |
| 5  | Levantarse el párpado superior          | Levator Palpebrae Superioris  |
| 6  | Levantarse la mejilla                   | Orbicularis Oculi, Pars Orbitalis   |
| 7  | Apretarse los párpados                  | Orbicularis Oculi, Pars Palpebralis   |
| 8  | Juntarse los labios                     | Orbicularis Oris  |
| 9  | Fruncirse la nariz                      | Levator Labii Superioris, Alaeque Nasi  |
| 10 | Levantarse el labio superior            | Levator Labii Superioris, caput Infraorbitalis  |
| 11 | Intensificarse los arrugas nasolabiales | Zygomatic Minor   |
| 12 | Torcerse la esquinas de los labios      | Zygomatic Major   |
| 13 | Hincharse las mejillas (soplar)         | Caninus   |
| 14 | Formarse hoyuelos                       | Buccinator  |
| 15 | Deprimirse las esquinas de los labios   | Triangularis  |
| 16 | Deprimirse el labio inferior            | Depressor Labii   |
| 17 | Levantarse la barba                     | Mentalis  |
| 18 | Fruncirse los labios                    | Incisivii Labii Superioris, Incisivii Labii Inferioris                                |
| 20 | Estirarse los labios                    | Risorius  |
| 22 | Silbar (Hacer boca de pico)             | Orbicularis Oris  |
| 23 | Fruncirse los labios                    | Orbicularis Oris  |
| 24 | Presionarse los labios                  | Orbicularis Oris  |
| 25 | Separarse los labios                    | Depressor Labii, o relajación del Mentalis u Orbicularis Oris                         |
| 26 | Bajarse la mandíbula                    | Masseter; relajamiento del Temporal y del Pterygoid Interno                           |
| 27 | Estirarse la boca                       | Pterygoid; Digastric  |
| 28 | Chuparse el labio                       | Orbicularis Oris  |
| 38 | Dilatarse las fosas nasales             | Nasalis, Pars Alaris  |
| 39 | Comprimirse las fosas nasales           | Nasalis, Pars Transversa y Depressor Septi Nasi                                       |
| 41 | Párpados caídos                         | Relajación del Levator Palpebrae Superioris   |
| 42 | Separarse los párpados                  | Orbicularis Oculi   |
| 43 | Cerrarse los ojos                       | Relajación del Levator Palpebrae Superioris   |
| 44 | Torcerse la vista                       | Orbicularis Oculi, Pars Palpebralis   |
| 45 | Parpadear                               | Relajación del Levator Palpebrae y contracción de Orbicularis Oculi, Pars Palpebralis |
| 46 | Guiñarse el ojo                         | Orbicularis Oculi   |

**TABLA 2.3**

**Unidades de Acción Facial adicionales.**

| <b>AU</b> | <b>Nombre en FACS</b>             |
|-----------|-----------------------------------|
| 19        | Sacar la lengua                   |
| 21        | Encoger el cuello                 |
| 29        | Extender con fuerza la mandíbula  |
| 30        | Mover lateralmente la mandíbula   |
| 31        | Apretar la mandíbula              |
| 32        | Morder los labios                 |
| 33        | Soplar                            |
| 34        | Tener aire en las mejillas        |
| 35        | Absorber (efecto en las mejillas) |
| 36        | Agrandar la lengua (abultar)      |
| 37        | Limpiar los labios frotándolos    |

## **2.4 Áreas de aplicación.**

### **Interfaces.**

Perfeccionar las interfaces de usuario es una aplicación popular de la animación facial dado que es difícil encontrar un usuario quien este totalmente satisfecho con la interfaz que se usa. El problema con las interfaces hombre-máquina es lo tardado de la curva de aprendizaje, ya que toma un largo período de tiempo el aprender como se usa cada nuevo sistema. Muchas interfaces son completamente extrañas a los usuarios novatos y la presentación de interfaces familiares, tales como caras humanas, puede generar un medio ambiente más agradable y confortable para trabajar.

Gaspar [Gas88] en 1988 establece que las interfaces de usuario surgen como una serie de generaciones de forma similar a los lenguajes de cómputo. La primer generación usó switches y luces para comunicar la información; la segunda generación contempla los teclados y los caracteres de salida; la

tercer generación, introduce gráficas y apuntadores, siendo esta la fase actual de las interfaces. Actualmente se trabaja en la cuarta generación que incluye síntesis y reconocimiento de voz, donde el habla será la vía de interfaz, más que teclear caracteres o hacer clicks con el ratón; y para la quinta generación se propone que maneje actores sintéticos y caras que hablen, pensando en crear estos desarrollos para hacer a las computadoras más amigables. Cabe señalar que la cara humana tiene gran éxito como interfaz para transmisión de datos y se ha demostrado que solamente el 10% de la información la recibimos durante la conversación en forma de la palabra hablada, el otro 90% proviene de las gesticulaciones faciales y corporales.

Los sistemas de animación facial ayudarán a la creación de interfaces de usuario más amigables y los modelos faciales podrían realizar otras acciones más allá de simplemente hablar con el usuario, hasta podrían dar mensajes no hablados, por ejemplo si el usuario hace algo equivocado, la cara podría enojarse o cuando la terminal está desocupada, la cara puede dar la impresión de estar aburrida y comenzar a silbar.

Muchos investigadores están trabajando en la construcción de interfaces mucho más naturales de tal forma que se tenga hablando al usuario cara a cara con la computadora en una forma natural. Estos sistemas ya están disponibles, pero se encuentran en etapa de prueba reconociéndose dos principales fallas como lo es la calidad de la síntesis del habla que viene de la computadora y la habilidad para reconocer el habla.

## **Juegos.**

La industria del juego está dedicada a la ejecución en tiempo real de programas que aprovechan las características de los CPU's y de los procesadores gráficos, el cual es un contraste con las costosas máquinas gráficas típicamente usadas para la producción de la animación. Los ejemplos

de animación facial pueden encontrarse en muchos paquetes de software educacional.

Los trabajos en este campo están encaminados a proporcionar un alto rendimiento de los CPU's, así como mejorar las capacidades de las tarjetas gráficas y obtener potencial para más gráficas tri-dimensionales en tiempo real.

## **Medicina.**

Los principales usos de la animación facial en la medicina se tienen en las áreas de la cirugía y la psicología. Parke [Par82] en 1982 predijo que los modelos faciales parametrizados podrían ser de gran ayuda para prever los efectos de los procesos de la cirugía correctiva o dental sobre los pacientes. Este tipo de aplicación necesita modelos faciales muy exactos de la cara de los pacientes y una forma de indicar los cambios que se les harán.

Keith Waters [Wat87] en 1987 analizando una aplicación pre-operatoria opinó que la reconstrucción quirúrgica de caras utilizaba varias técnicas para la colección de datos en tres dimensiones (3D) como son: patrones de texturas faciales; lo más importante de CAT, escaners y lasers; y que los datos resultantes pueden variar enormemente de una cara a otra, y por lo tanto cualquier parametrización podría ser tediosa para implementar. Cabe señalar que la opinión de Waters solamente admite la dificultad del trabajo de modelado facial en aplicaciones a la medicina.

El uso de novedosos sistemas de animación facial desarrollados por psicólogos quienes investigan el movimiento facial y las expresiones faciales están basados en FACS (Facial Action Coding System), trabajo de los psicólogos Ekman y Friesen, que es como una guía para construir el modelo facial.

## Teleconferencias.

La habilidad para transmitir y recibir imágenes faciales es el corazón de las teleconferencias, así a pesar del rápido crecimiento de los anchos de bandas en las comunicaciones todavía existe la necesidad de algoritmos de compresión de imágenes, y un área de investigación activa es aquella que contempla esquemas de codificación en base a modelos y en particular, en algoritmos aplicados a imágenes faciales.

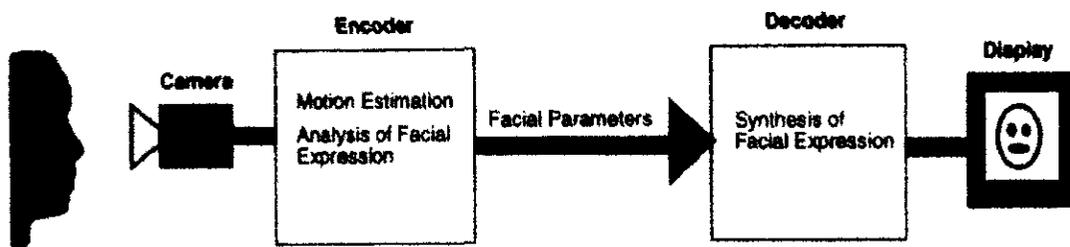


Figura 2.1 Proceso para video teleconferencias.

El proceso como se ilustra en la Figura 2.1, determina que cada cuadro (frame) de una cámara de video sea analizado por el codificador al final del enlace, con la suposición de que el objeto principal en el cuadro es una cara humana. Después, los algoritmos de visión computacional se usan para extraer las propiedades y parametrizarlas, tales como la forma y la orientación de la cabeza y la cara.

Estos nuevos parámetros son transmitidos al decodificador, que sintetiza un modelo tri-dimensional de la cabeza humana. Conforme la cabeza se mueve de frame a frame, se transmiten nuevos parámetros para ser recibidos y subsecuentemente sintetizados.

## **Agentes Sociales y Avatares.**

Un área que ha emergido rápidamente para la animación facial es contar con interfaces de usuario novedosas que cuenten con caracteres o agentes. El principio detrás de tales agentes, o avatares, es contar con la habilidad de interaccionar directamente con el usuario. Esta habilidad puede ser tan simple como un comportamiento reactivo a alguna acción simple, como por ejemplo buscar un archivo; o tan complejo como la caracterización de una asistente capaz de navegar la Internet bajo comandos de voz y que responda audible y visualmente con un resultado. Los trabajos actuales se basan en caracteres con un comportamiento más real que despliegan su estado de actividad a través de expresiones faciales.

En el futuro, se requiere que estos agentes entiendan un número limitado de peticiones hechas con la voz del usuario, hablen con el usuario, que funcionen en tiempo real y que respondan con un realismo extraordinario. Estas nuevas interfaces frecuentemente se llaman "interfaces de agentes sociales" y se diseñan en un esfuerzo por sustituir las interfaces de usuarios gráficas. Por ejemplo, un carácter puede aparecer para ayudar cuando se comienza con una nueva aplicación, pero si se titubea o se pregunta por la ayuda, el agente aparecerá para proporcionar una guía mucho más amplia. En muchas ocasiones estos caracteres se verán como colaboradores activos con su propia personalidad.

De forma inmediata parecería que el construir este tipo de interfaces es muy directo ya que se necesita construir un carácter, un conjunto de reglas de comportamiento y switches sobre los caracteres, pero desafortunadamente no es tan simple, ya que es bastante difícil entender y modelar el comportamiento humano-humano y más aún el comportamiento humano-computadora. El dotar a una computadora de una interfaz que tenga algunas características humanas es más familiar para trabajar y lo más significativo que se espera sea una interfaz que se comporte como un humano, más que

como una computadora. Teniendo esto en mente, una interfaz social útil como lo sería un humanoide generado por computadora con una cara, todavía está por verse, sin embargo muchos laboratorios de investigación tanto académicos como industriales están hoy en día desarrollando prototipos.

## Capítulo 3

# Anatomía de la cara y la cabeza.

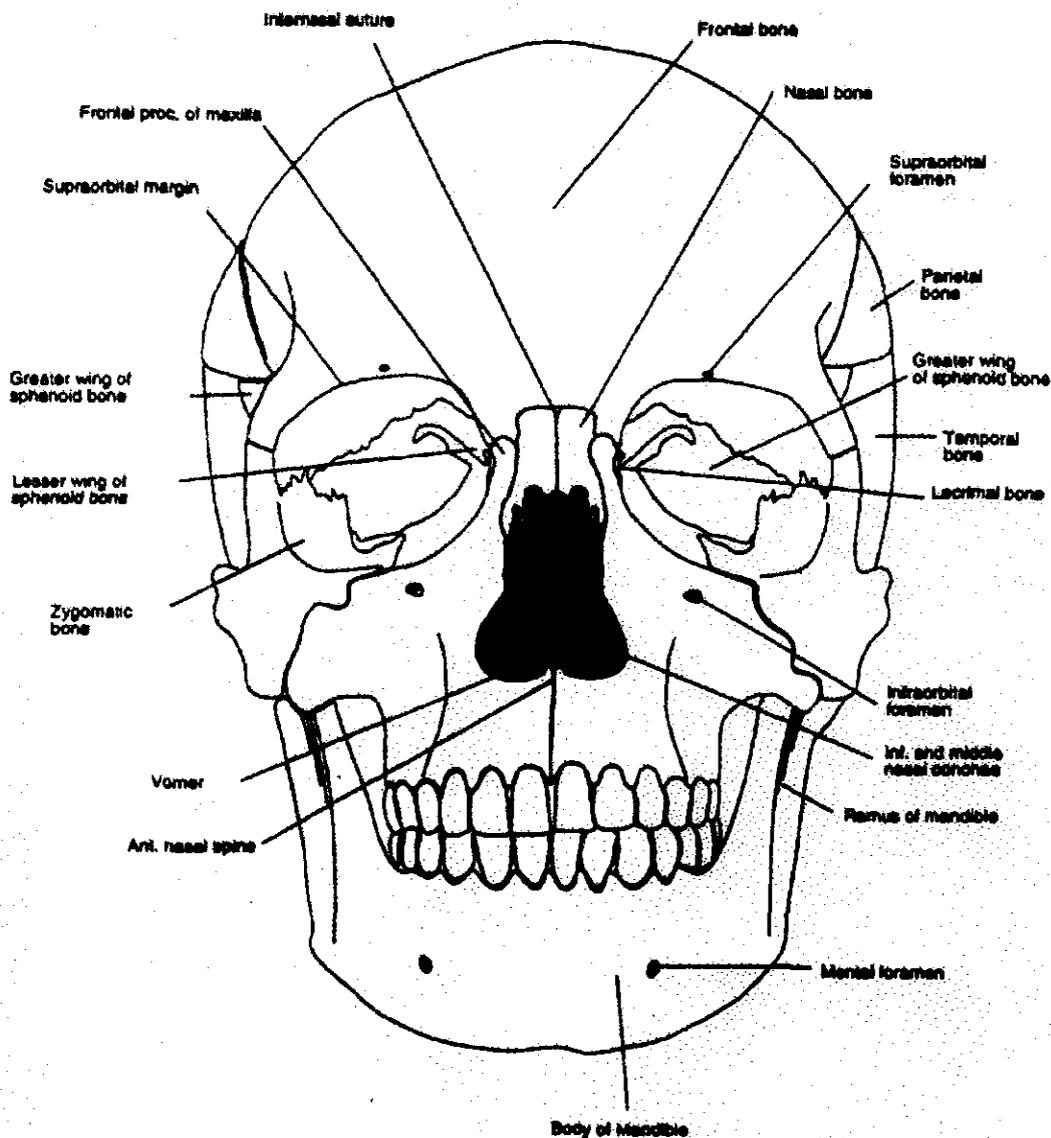
Para obtener una verdadera comprensión en la cual se involucre la creación de un modelo facial, se requiere un conocimiento básico de la anatomía humana. Los componentes de la cara son: huesos, piel y músculos, siendo el cráneo la parte ósea principal conformada por 14 huesos de los cuales la mandíbula es la única parte que tiene libertad de movimiento. El tamaño y forma de los huesos del cráneo varían de persona a persona, así dentro de lo particular, es el hueso que permanece constante a través del tiempo de vida de una persona, sin embargo, el músculo y los tejidos suaves pueden cambiar radicalmente siendo la estructura del cráneo quien determina la forma de la cara.

### 3.1 Esqueleto facial.

El cráneo es esencialmente una cubierta protectora para el cerebro y establece la definición personal de una cara. Los huesos del cráneo se dividen en dos partes principales: el cráneo propiamente y el esqueleto de la cara. El cráneo puede además subdividirse en base calvaria y base cranial, donde la base calvaria se encuentra en la parte superior de la cubierta del cerebro y la

base cranial en la parte inferior. Varios huesos conforman la base cranial y la base calvaria.

El esqueleto facial se encuentra por debajo y anterior a la base cranial integrado de la siguiente forma: en la parte superior por los huesos orbitales y nasales, en la parte intermedia por las cavidades nasales y el maxilar; y en la parte inferior por la región mandibular (Figuras 3.1 y 3.2).



**Figura 3.1 Vista frontal y lateral del esqueleto facial.**

Gran parte del esqueleto facial es de particular interés en el modelado en tres dimensiones ya que proporciona el marco en el cual la piel y los músculos se encuentran.

La piel está compuesta por dos capas, la dermis y la epidermis, cubriendo esta última a la primera. La epidermis es una capa de piel de células muertas que protege a la dermis de los elementos del medio ambiente, asimismo,

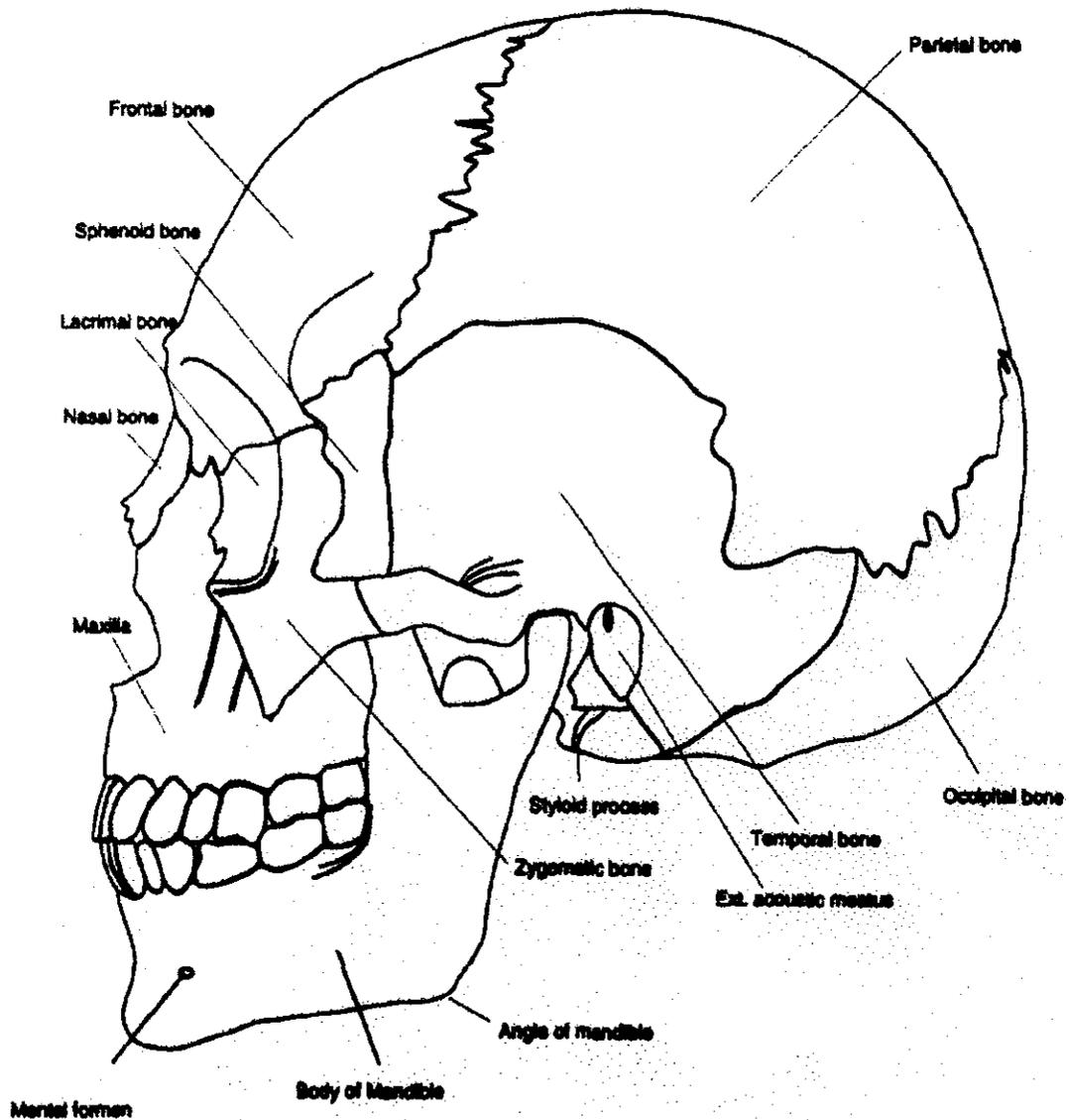


Figura 3.2 Vista lateral del esqueleto facial.

debajo de la piel se encuentra una capa de grasa subcutánea y debajo de esta grasa está la fascia, la cual es un tejido fibroso conectado al músculo y cartílago de la piel. La elasticidad de la piel se debe al colágeno (72%) y fibra elastina ( 4% ), lo cual hace que la piel sea fácilmente estirable. La piel se comporta similarmente a una hoja de caucho, es decir se deforma alrededor de la estructura implícita de la cara, teniendo como consecuencia la característica de estirarse o arrugarse. Estas arrugas se hacen más notables con la edad cuando la piel pierde elasticidad y tejido graso, también la piel es afectada por fuerzas gravitacionales como el estiramiento descendente y los factores de mayor influencia que afectan la posición de un punto sobre la piel en un tiempo dado son:

- Flexible firmeza de la piel.
- Proximidad de la piel a los músculos ligados.
- Profundidad de los tejidos implícitos y la cercanía de los huesos faciales.
- Elasticidad del tejido.
- Elasticidad de los músculos cercanos.

### **3.2 Músculos principales de la cara.**

El estudio de los músculos de la cara resulta de gran importancia porque juegan un papel privilegiado en la comunicación no verbal y como muestra de ello se puede mencionar que los principales son: músculos de la boca, músculos de los ojos, músculos de la nariz y los músculos de la mandíbula; mismos que a continuación se describen ampliamente.

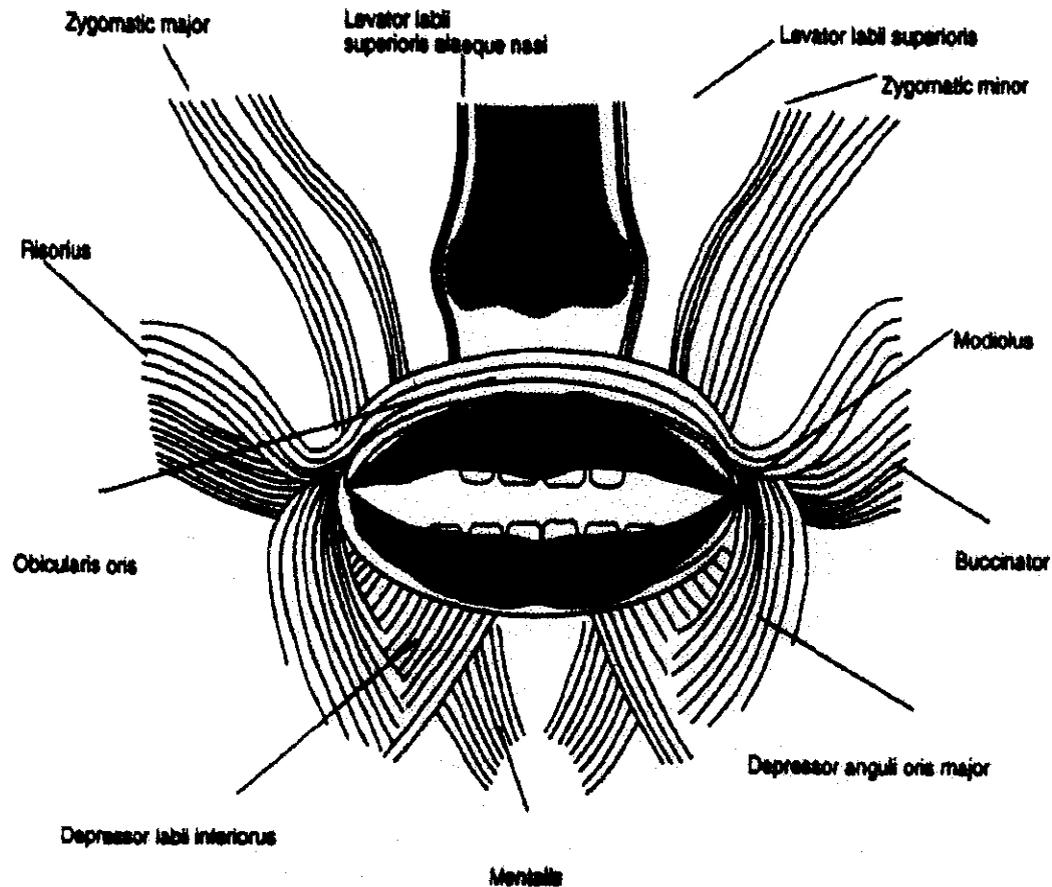


Figura 3.3 Músculos de la boca.

### 3.2.1 Músculos de la boca.

Los numerosos músculos de la boca (Figura 3.3), son músculos que también participan de manera primordial en la expresión facial y dichos músculos se denominan de la siguiente forma: orbicular de los labios, buccinador, elevador del labio superior ligado a la parte inferior de la nariz, elevador del labio superior, zgomático mayor y menor, elevador del ángulo de la boca, depresor del ángulo de la boca, depresor del labio inferior, risorio, y el mentón cuadrado. Un grupo de estos músculos realizan el proceso de abrir los labios, siendo estos conocidos como músculos radiales, los cuales se dividen en

músculos radiales del labio superior e inferior, y otro grupo se encarga del proceso de cerrarlos los cuales son el orbicular de los labios, el depresor del ángulo de la boca y el depresor del labio inferior (Figuras 3.4 y 3.5).

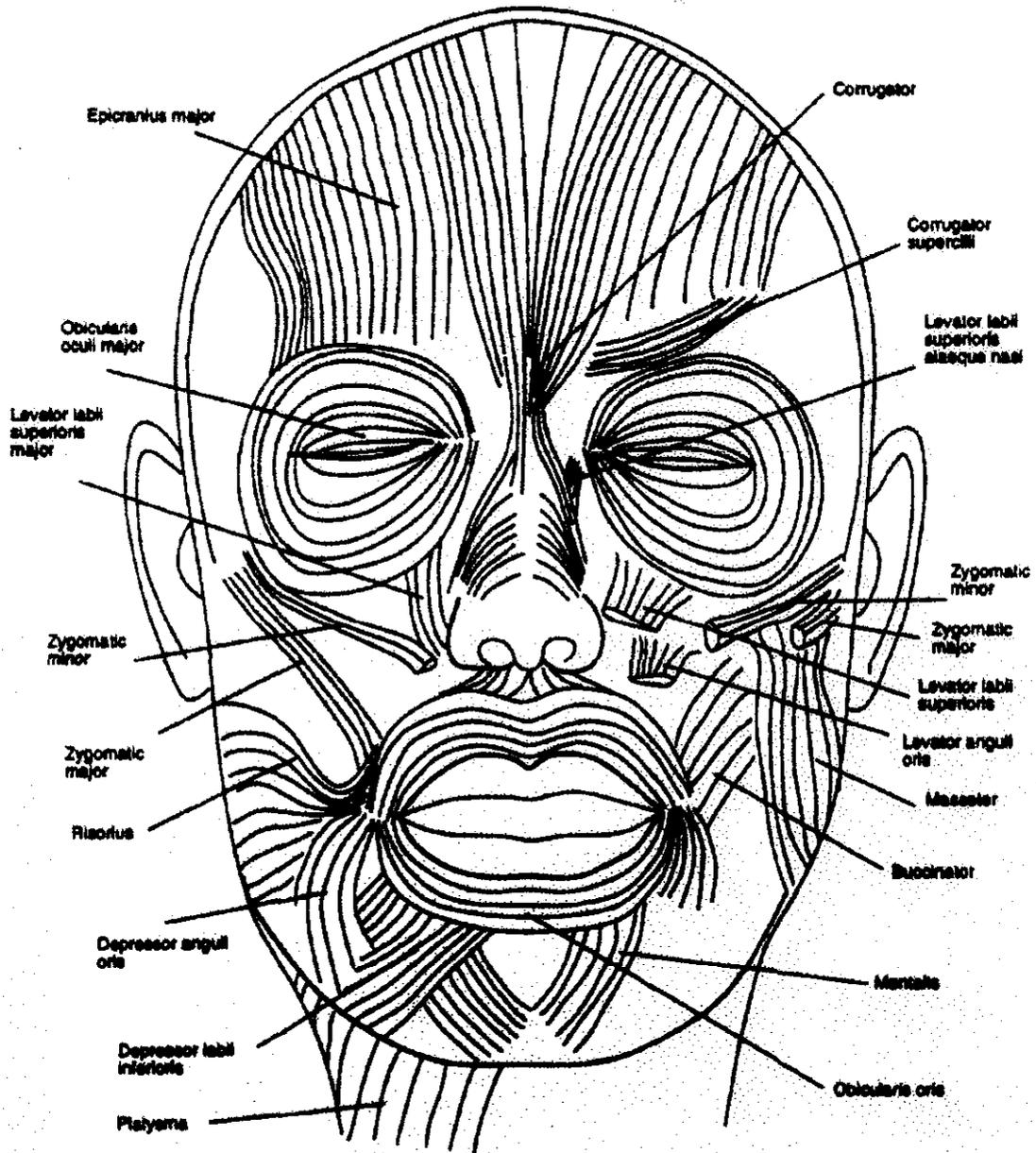


Figura 3.4 Vista frontal de los músculos de la cara.

A continuación se describen los músculos de la boca anteriormente mencionados.

### Orbicularis Oris.

Este músculo consiste de numerosas capas de fibras musculares alrededor del orificio de la boca (Figura 3.3), también consiste en parte de fibras derivadas de los otros músculos faciales que convergen en la boca.

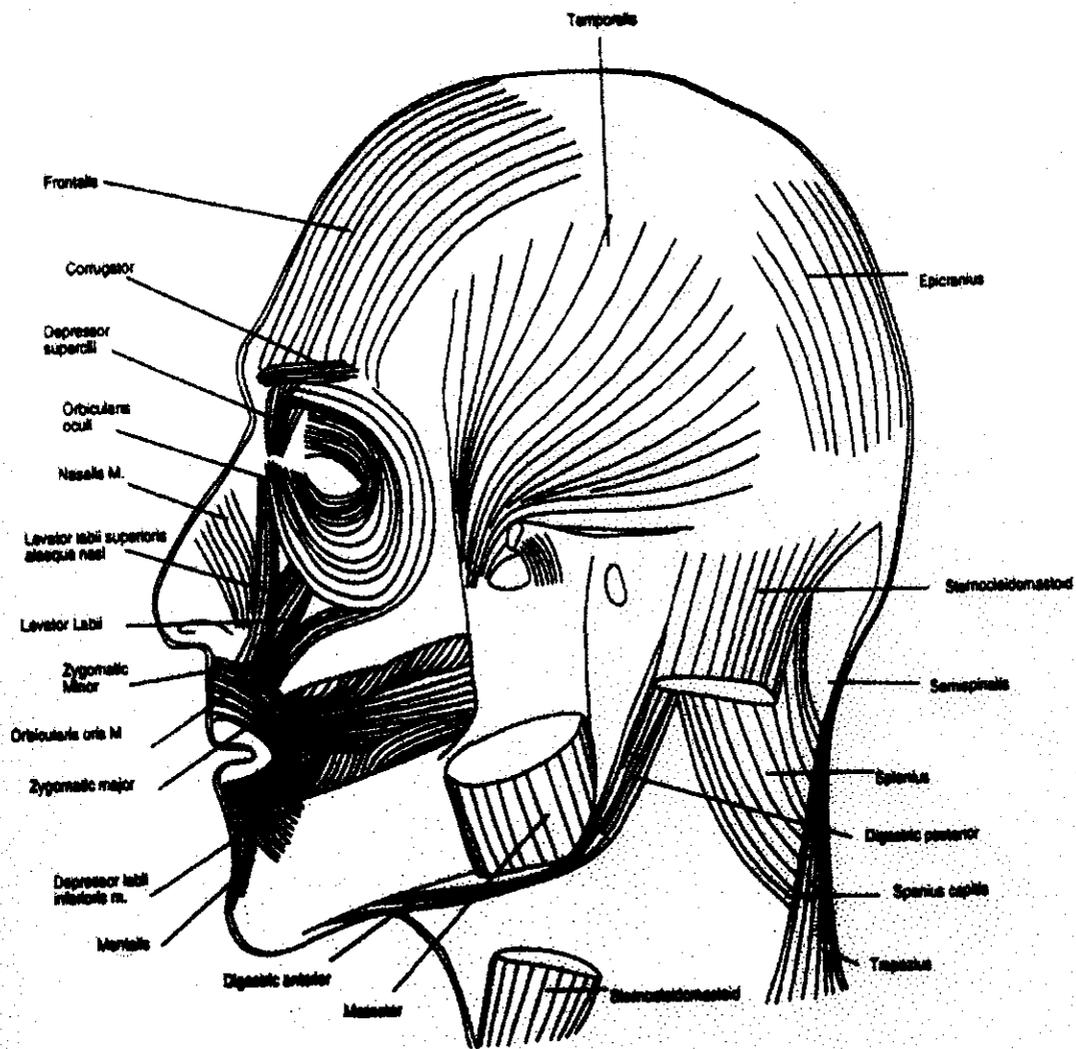


Figura 3.5 Vista lateral de los músculos de la cara.

El músculo buccinator es el que forma la capa profunda del orbicularis oris. Algunas de las fibras entrecruzadas en las esquinas de la boca pasan por encima de la parte superior e inferior del labio. El elevador del ángulo de la boca se cruza en las esquinas de los labios y se desplaza alrededor de la parte inferior del labio. De igual forma el depresor del ángulo de la boca cruza las esquinas de la boca y se desliza alrededor de la parte superior del labio. En relación a los otros músculos, el elevador del labio superior, el zigomático mayor, y el depresor del labio inferior se entremezclan con los músculos descritos en este párrafo.

**Acción.** Controla las partes finales de los labios y contribuye a la gran variedad de formas de los labios las cuales son usadas en el habla y la comunicación no verbal. Es importante también en el proceso de masticación donde hay comida entre los dientes, igualmente puede reducir la forma de los labios, fruncirlos, resaltarlos y ejercer fuerza en contra de los dientes.

### **Buccinator.**

El músculo buccinator es delgado, amplio y plano, siendo la parte principal de la mejilla. Provine del maxilar y la mandíbula y es opuesto al primer molar y al pterygomandibular. Sus fibras se extienden para mezclarse con las del orbicular de los labios. Las fibras que se encuentran en el centro se entrecruzan en la parte posterior lateral del ángulo de la boca, haciendo que las fibras inferiores se corran hacia el labio superior y las superiores hacia el labio inferior. El entrelazamiento de los músculos profundo del buccinator y algunos músculos superficiales del orbicular de los labios forman los modiolus.

**Acción.** El buccinator presiona las mejillas en contra de los dientes, de tal modo que mueve la acumulación de alimento en las mejillas.

### **Levator Labii Superioris Alaeque Nasi.**

Este músculo se origina en la parte frontal del maxilar y se inserta (incrusta) en la piel del ala de la nariz y en el orbicular de los labios, cerca del philtrum.

**Acción.** Este músculo levanta al labio superior, dependiendo de los surcos labio nasales y dilata levemente las ventanas de la nariz.

### **Levator Labii Superiors.**

Este músculo cuenta con una amplia liga a los huesos orbit, zgomático y maxilar. Se encuentra encajado (incrustado) en la parte superior del labio entre el elevador del ángulo de los labios y el elevador del labio superior ligado a la parte inferior de la nariz.

**Acción.** Este músculo levanta al labio superior, dependiendo de los surcos labio nasales como el elevador del labio superior ligado a la parte inferior de la nariz.

### **Zygomaticus Major.**

Tiene como origen la superficie del pómulo del zgomático y se inserta en la esquina de la boca.

**Acción.** Eleva el ángulo bucal y modiolus, cuando se produce la risa.

### **Zygomaticus Minor.**

Se origina en la parte más débil de las tres cabezas de los cuadrados del labio superior, y es el cuerpo del zgomoma en la parte frontal donde tiene su origen el zgomático mayor. Se incrusta en la piel del labio superior, lateral a la media línea.

**Acción.** Eleva el labio superior, exponiendo los dientes maxilares, y depende de los surcos labio nasales.

### **Levator Anguli Oris.**

Este músculo es levemente más profundo que los músculos que cubren al zgomático. Tiene inicio en la fosa canina y se inserta en la esquina de la boca, el zgomático, depresor y orbicular de los labios.

**Acción.** Eleva al modiolus y al ángulo bocal, dejando ver los dientes y dependiendo de los surcos labio nasales.

### **Depressor Anguli Oris y Depressor Labii Inferioris.**

Estos músculos se originan en la mandíbula y las fibras convergen a las esquinas de la boca.

**Acción.** Ambos músculos presionan hacia abajo y lateralmente las esquinas de los labios.

### **Risorius.**

Este músculo se encuentra localizado en las esquinas de la boca. Su origen viene de la fascia y justamente debajo del borde anterior del músculo masetero, también pasa por delante en una línea horizontal para insertarse bajo la piel y membranas del labio superior y cerca de las esquinas de la boca.

**Acción.** Este músculo tuerce lateralmente la boca un ángulo y frecuentemente mencionado como el "músculo de la sonrisa"

## **Mentalis.**

Este músculo se origina en un área circular arriba de la protuberancia del mentón, y pasa en dirección lateral hacia la piel. Algunas de las fibras del centro convergen y cruzan el músculo del mentón contralateral y se incrusta en la piel de la barba.

**Acción.** La acción de este músculo es elevar la piel de la barba ayudando a la protuberancia, cuando bebemos.

## **3.2.2 Músculos de los Ojos.**

### **Orbicularis Oculi.**

Este músculo envuelve al ojo en fibras concéntricas que actúan como un músculo esfínter al cerrar los ojos. Tiene origen en el ángulo interno del ojo y se va conformando hacia la parte frontal de los huesos maxilar y lacrimal.

**Acción.** Este músculo juega un papel muy importante en la protección de los ojos y es el encargado de cerrar fuertemente los párpados para evitar que el polvo y la luz muy brillante penetre en los ojos, así como prevenir el contacto de objetos que puedan dañar a los mismos.

### **Corrugator Supercilli.**

Este pequeño músculo piramidal se encuentra localizado a la mitad de cada ceja. Ligado al hueso en la parte media del arco superciliar, se mueve lateralmente hacia arriba, entrelazándose y mezclándose con el orbicularis oculi.

**Acción.** Este músculo ejerce tracción sobre la piel que se encuentra arriba de la mitad del superorbital. También es el encargado de delinear las cejas, produciendo con el orbicularis oculi, parpadeos verticales sobre la frente.

### **Levator Palpebrae Superioris.**

Este músculo se origina en la parte interna de la órbita ocular arriba del orificio óptico y avanza y se extiende a lo largo del párpado superior.

**Acción.** Este músculo cuando se contrae, levanta el párpado superior.

## **3.2.3 Músculos de la Nariz.**

### **Procerus.**

El músculo procerus se origina en el hueso nasal y pasa por arriba de las cejas y la frente.

**Acción.** Este músculo debilita (deprime) la mitad de la ceja, produciendo parpadeos transversales sobre el puente nasal. La acción de este músculo ayuda a reducir el brillo de la luz.

### **Nasalis.**

El músculo nasalis se origina en la parte superior alveolar sobre el incisor lateral y se balancea alrededor de la nariz para incrustarse en la superficie del puente, en la punta de la nariz y los cartílagos axilares.

**Acción.** La parte transversal de este músculo oprime la abertura nasal en la unión del vestíbulo y la cavidad nasal.

### **Depressor Septi.**

Este músculo está ligado al maxilar arriba del incisor central y se eleva hacia la parte móvil del septum nasal.

**Acción.** Este músculo apoya la parte axilar del nasalis extendiendo la abertura nasal.

### **Levator Labii Superioris Alaeque Nasi.**

Este músculo está ligado a la parte superior del frente del maxilar, se mueve hacia abajo lateralmente, dividiendo a la mitad la liga del cartílago maxilar más grande.

**Acción.** Este músculo levanta el párpado superior y hace más intensa la parte superior del surco del nasolabial; la liga dilata la ventana de la fosa nasal.

## **3.2.4 Músculos de la Mandíbula.**

### **Masetero.**

El músculo mayormente superficial de la masticación es el músculo masetero (Figura 3.6). Es una placa rectangular amplia y gruesa la cual se origina en el arco del zgomático y el zygoma, pasando por abajo y detrás para incrustarse en la superficie lateral de la ramificación mandibular en la región angular. Las fibras más superficiales de este músculo se originan en el borde inferior del zygoma. Las fibras situadas más profundamente aparecen a lo largo del arco zgomático.

**Acción.** La acción de este músculo pesado es elevar la parte inferior de la mandíbula.

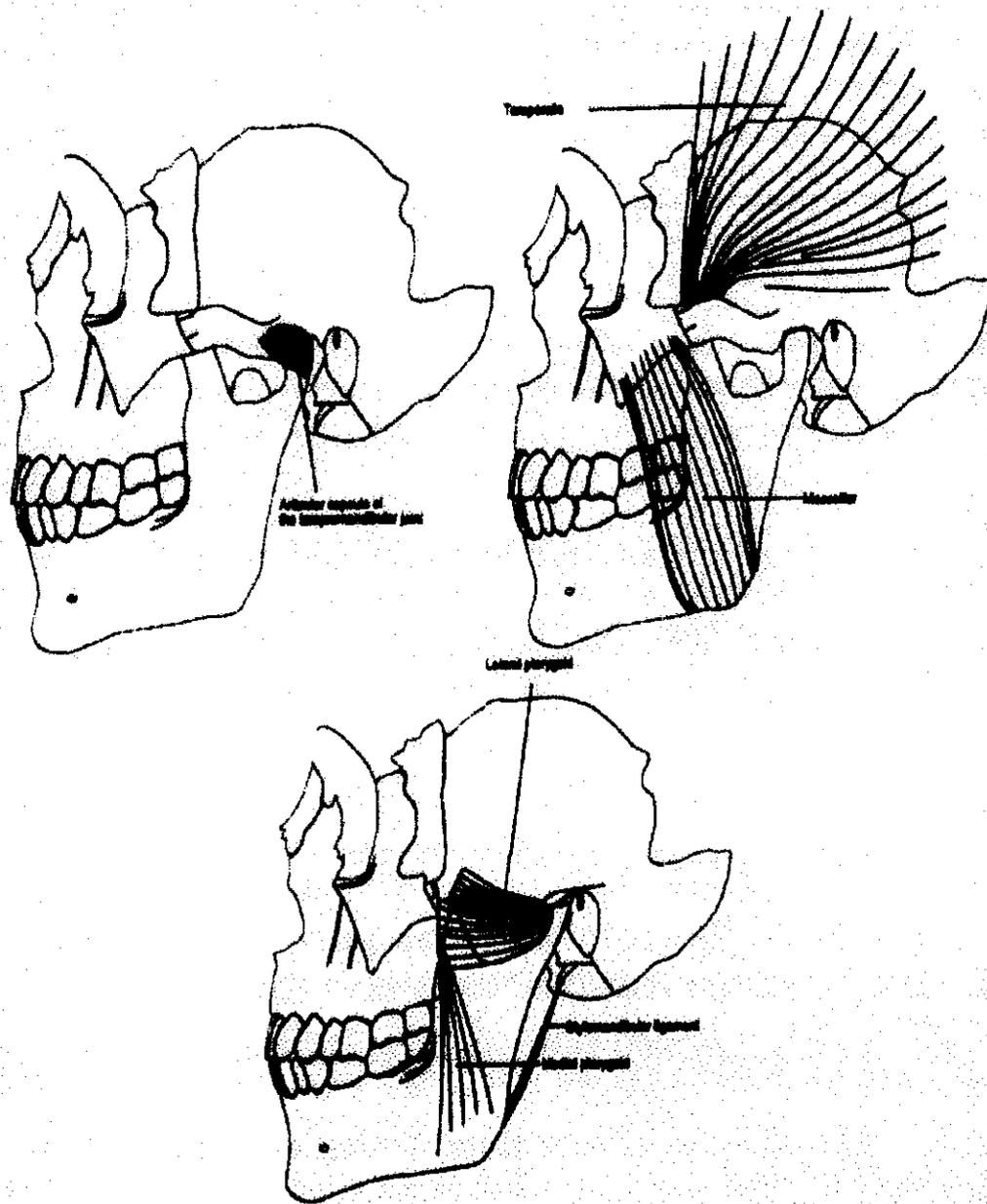


Figura 3.6 Músculo masetero.

**Medial Pterygoid.**

El músculo medial pterygoid interno es la parte profunda del músculo masetero, pero es débil (Figura 3.6). Se origina principalmente en la fosa pterygoid y la superficie media de la placa lateral del pterygoid. Algunas fibras aparecen desde el hueso del paladar y el maxilar.

**Acción.** Este músculo actúa como un elevador de la mandíbula y también para cerrar la boca, y de acuerdo a la dirección de las fibras musculares, mueve la mandíbula hacia adelante. Cuando los músculos intermedios y laterales del pterygoid se contraen hacia un solo lado, la barba se mueve hacia el lado opuesto. Estos movimientos son importantes en el proceso de la masticación.

### **Temporalis.**

El temporalis es un músculo amplio y tiene forma de abanico que se origina en la fosa temporal, ocupando una amplia área en la superficie lateral del cráneo (Figura 3.6). Las fibras del temporalis se mueven hacia el espacio entre el arco del zgomático y el cráneo.

En este músculo también se encuentran localizados dos tendones. El tendón exterior o superficial está ligado al borde de la ramificación maxilar. El tendón más profundo se encuentra incrustado en la región del tercer molar inferior.

**Acción.** Las fibras son un poco largas y por lo tanto el músculo temporalis es menos fuerte que el masetero, pero proporciona rápidos movimientos en la mandíbula. Las fibras también tienen un componente de repliegue para su acción, pero el músculo temporalis aún se sigue considerando principalmente como un elevador de la mandíbula.

## Capítulo 4

# Análisis de las expresiones faciales.

De todos los comportamientos no verbales- los movimientos del cuerpo, posturas, mirada fija, voz, etc.- la cara es probablemente la “puerta” más accesible dentro de los mecanismos que gobiernan nuestras vidas emocionales y sociales, de aquí la importancia del estudio y análisis de las expresiones faciales.

En investigaciones realizadas en el cerebro, las expresiones faciales pueden identificar los procesos mentales cuando estos están ocurriendo. El proceso de análisis de expresiones puede también contribuir al entendimiento de asociar una emoción a una determinada expresión facial. Asimismo, las expresiones faciales prometen exitosas aplicaciones en la investigación médica, especialmente en los casos de análisis del estado psicológico del paciente.

### 4.1 Músculos de las expresiones faciales.

Los músculos de la cara son los responsables de las expresiones faciales y muchos de ellos se conectan con el cuerpo por medio de ligas en sus extremos

unidos a los huesos, no obstante en el caso particular de los músculos de la cara se conectan en un extremo al hueso y en el otro a la fascia. Hay tres tipos de músculos faciales: lineal, de hoja y esfínter; combinándose de forma coordinada para producir la expresión facial. De todos los músculos faciales el lineal o también denominado paralelo, es el más común, y corresponde a uno de ellos el zgomático mayor (Figura 4.1) el cual permite estirar hacia arriba las esquinas de la boca. Los músculos lineales tienen dos puntos de liga y cuando se contraen, estiran la fascia hacia el punto de liga en el hueso, produciendo un movimiento facial.

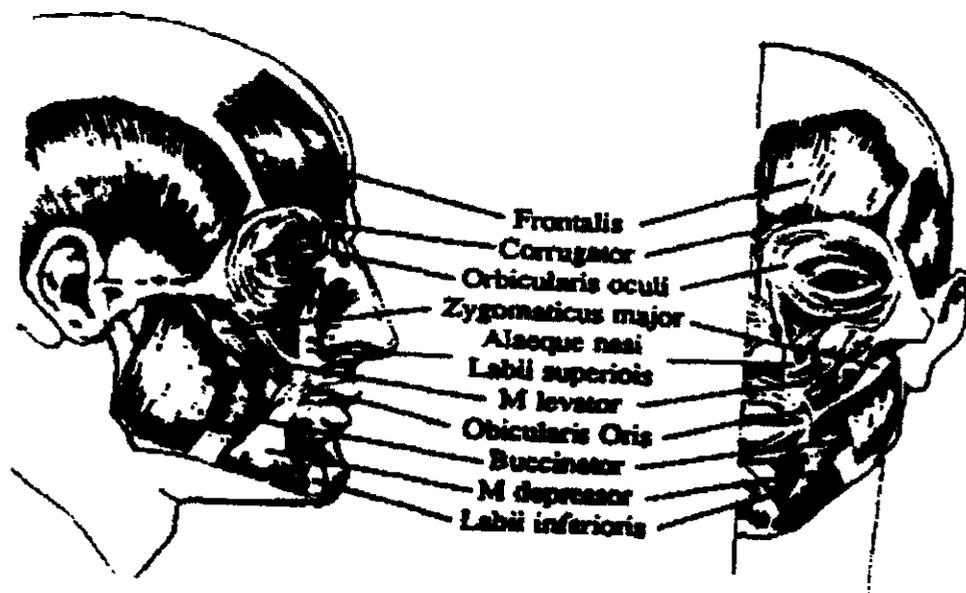
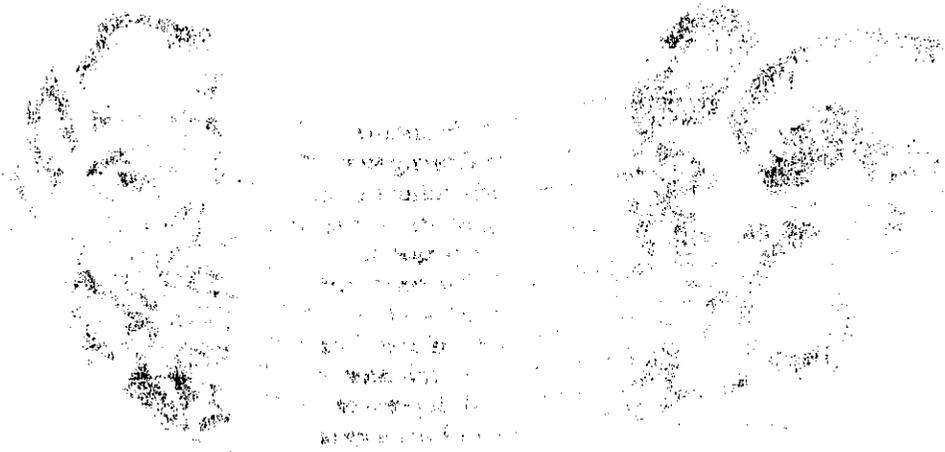


Figura 4.1 Principales músculos de la cara.

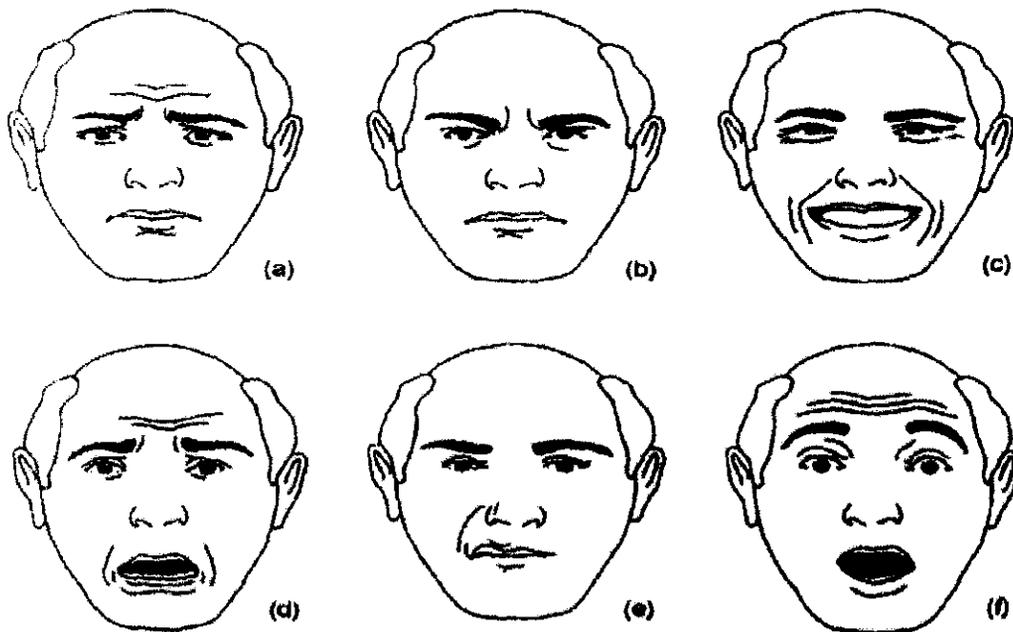
Un tipo diferente de músculos son los músculos en forma de hoja, los cuales trabajan en una sola dirección debido a que ellos son elásticos y amplios, y su área de liga es bastante ancha. Un ejemplo de este músculo es el epicranium (Capítulo 3), el cual tiene dos partes: la anterior frontalis y la posterior occipitalis. Las dos hojas musculares son conectadas por un amplio tendón grueso, de tal forma que la contracción de uno a otro de los músculos epicraniales estiran el cuero cabelludo hacia atrás o hacia adelante.



El músculo esfínter usualmente rodea las aberturas del cuerpo y tiene forma de anillo, alargando o reduciendo la abertura por relajación o contracción, y como ejemplo se encuentra la boca (Capítulo 3).

## 4.2 Expresiones universales.

Las investigaciones acerca de las expresiones faciales han concluido que existen seis categorías universales que se reconocen en todas las culturas [Ekm89]. Estas categorías son: tristeza, enojo, alegría, miedo, disgusto y sorpresa, como se muestra en la Figura 4.2.



The universal expressions: (a) sadness, (b) anger, (c) joy, (d) fear, (e) disgust, and (f) surprise.

Figura 4.2 Categorías universales: tristeza, enojo, alegría, miedo, disgusto y sorpresa.

Faigin [Fai90] describe cada categoría expresiva y sus variaciones en términos de la apariencia de tres regiones faciales y sus características asociadas. Las tres regiones expresivas son las cejas, los ojos y la boca.

A continuación se describe cada una de las seis expresiones universales.

## Tristeza.

En la tristeza, las partes internas de las cejas se curvan un poco hacia arriba. La piel y el tejido suave que se encuentran debajo de las cejas se intensifican en la parte del párpado superior. Los ojos se cierran ligeramente por la presión que se ejerce hacia abajo del tejido que se encuentra arriba del párpado y por el movimiento hacia arriba del párpado inferior. Asimismo, se relaja la boca como se muestra en la Figura 4. 2 (a).

Las arrugas asociadas con la tristeza incluyen pliegues horizontales a lo largo de la ceja, rastro de líneas verticales entre las cejas, pliegues oblicuos arriba del párpado superior, y un pliegue que simula la forma de la sonrisa debajo del párpado inferior.

La tristeza tiene muchas intensidades y variaciones, incluyendo el llorar abriendo la boca, llorando con la boca cerrada, tristeza sorpresiva, tristeza a punto de llorar, y desdicha. Estas variaciones pueden incluir cerrar apretadamente los ojos, la boca abierta formando una especie de cuadrado, una hinchazón de la barba y un pliegue muy pronunciado del nasolabial.

## Enojo.

El enojo provoca que las esquinas internas de las cejas se debiliten de manera conjunta hacia abajo. Los bordes inferiores de la ceja se ponen en el mismo nivel que el párpado inferior. El ojo se abre ampliamente, pero la presión que ejerce la ceja impide que la parte blanca del ojo muestre la

porción superior del iris. La boca se encuentra cerrada con el labio superior ligeramente presionado. El enojo se ilustra en la Figura 4.2 (b).

Los pliegues faciales del enojo incluyen dobleces arriba de los párpados superiores y líneas verticales entre las cejas.

Las variaciones del enojo incluyen mucha furia, ira, y severo enojo. Estas variaciones pueden incluir apretar los labios con un poco de hinchazón en la barba o boca abierta expresando desprecio y mostrando los dientes tanto superiores como inferiores.

## Alegría.

La alegría hace que las cejas se relajen. El párpado superior baja ligeramente y el párpado superior ligeramente es empujado hacia arriba de las mejillas. La boca se abre ampliamente con las comisuras hacia arriba en dirección a los oídos. Si la boca se encuentra cerrada, los labios son delgados y se hallan apretados. Si la boca está abierta, el labio superior está recto, mostrando los dientes de la parte superior; y el labio inferior forma un pequeño ángulo desde las comisuras. La alegría se muestra en la Figura 4.2 (c).

En la alegría se ubican los dobleces de la piel conocidos como "patas de gallo" en las esquinas de los ojos, así como arrugas en la porción inferior del párpado inferior, hoyuelos en las mejillas, y un doble profundo en el nasolabial que va de la nariz hasta la barba.

Las variaciones sobre la alegría incluyen estruendosas risas, risa, sonrisa con la boca abierta, sonrisa, sonrisa contenida, sonrisa melancólica, sonrisa ansiosa, sonrisa de gratitud, sonrisa artificial, sonrisa seductora, sonrisa cerrando los ojos, sonrisa falsa, y risa falsa. Las sonrisas falsas y la risa falsa son reconocidas porque las patas de gallo disminuyen en las esquinas de los ojos y por ausencia de arrugas en los párpados inferiores.

## Miedo.

El miedo puede variar desde el acoso (molestia) hasta el terror. En el miedo aparecen las cejas levantadas y fruncidas. Las partes internas de las cejas se curvan y los ojos se ponen en alerta. La boca puede estar ligeramente abierta pero caída y estirada hacia los lados. El miedo se ilustra en la Figura 4.2 (d).

Las arrugas relacionadas con el miedo incluyen dobleces horizontales en la ceja, líneas verticales entre las cejas, hendiduras arriba de las mismas, pliegues oblicuos arriba de los párpados superiores.

En el acoso, los labios son apretados ligeramente, y desaparecen los bordes de los labios. Hay una hinchazón en la parte baja del labio inferior y sobre la barba. En el terror los ojos y la boca se abren ampliamente. El labio superior se relaja mientras el inferior se estira ampliamente y ligeramente deja en exposición a los dientes. El pliegue nasolabial se pone derecho y poco profundo. Dobleces en forma de brackets (paréntesis) aparecen a los lados del labio inferior.

## Disgusto.

Las variaciones del disgusto van desde el desprecio hasta la repulsión física. En el disgusto las cejas se encuentran relajadas. Los párpados se relajan y cierran ligeramente. El labio superior se levanta firme y frecuentemente asimétrico, mientras que el labio inferior se relaja. El pliegue del nasolabial se profundiza más a lo largo de la nariz. El disgusto se muestra en la Figura 4.2 (e).

En el desprecio, los párpados pueden estar ligeramente cerrados con los ojos mirando hacia abajo. Para la repulsión física las cejas se bajan, especialmente en las esquinas internas. Los ojos pueden estar más o menos cerrados como en una mirada de soslayo. El labio superior se levanta como en

un intenso desprecio y en el cual se muestran los dientes superiores. El labio inferior ligeramente se oprime y hay líneas verticales entre las cejas, las patas de gallo y el párpado inferior crece, aparecen arrugas desde la parte interna de las esquinas de los ojos hasta del puente de la nariz, y se hincha la barba.

## Sorpresa.

En la sorpresa las cejas se levantan tanto como sea posible y los párpados superiores se abren ampliamente, tanto como sea posible, con los párpados inferiores relajados. La boca se abre debilitándola hacia abajo sin ningún músculo que haga tensión y así generar una forma oval. En la sorpresa, los pliegues horizontales se forman a través de la ceja. La sorpresa se muestra en la Figura 4.2 (f).

## Capítulo 5

# Modelado facial.

El modelado facial involucra la determinación de descriptores geométricos en conjunción con las facilidades de animación que representa esta descripción para generar caras realistas.

La cara está conformada por una superficie tri-dimensional, compleja y flexible, la cual también contiene variaciones de color y textura, y usualmente contiene pliegues y arrugas. Como ya se analizó con detalle en el Capítulo 3, la anatomía de la cara es un complejo ensamble dinámico de huesos, cartílago, músculos, nervios, vasos sanguíneos, glándulas, tejido grasoso y piel; y para modelar todos estos elementos es necesario apoyarse en técnicas y algoritmos para especificar y controlar el diseño y movimiento facial. En la actualidad se cuenta con una gran diversidad de técnicas para generar secuencias de imágenes faciales, mismas que a continuación se mencionan.

### 5.1 Fuentes de datos para la superficie facial.

Todos los modelos faciales dependen de datos de superficies en 3D. Estos datos se pueden obtener midiendo superficies de caras reales usando

digitalizadores tri-dimensionales, técnicas fotogramétricas, o sistemas de escaneo laser.

### **Digitalizadores tri-dimensionales.**

Los digitalizadores tri-dimensionales son dispositivos especiales (hardware) que se basa principalmente en mediciones mecánicas, electromecánicas o acústicas, para localizar determinadas posiciones en el espacio. El digitalizador electromecánico "Polhemus 3Space" [Pol87] es probablemente el dispositivo más utilizado.

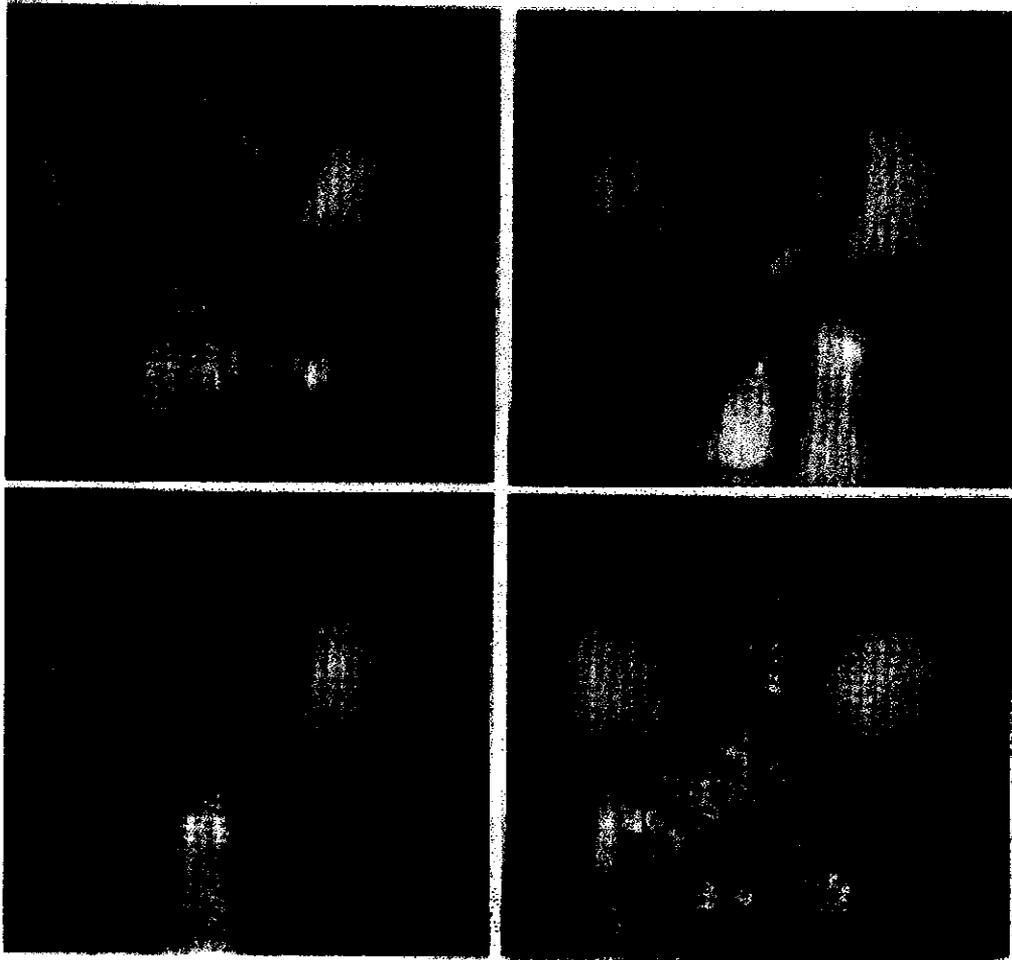
Estos digitalizadores requieren del posicionamiento físico de sondas o detectores tri-dimensionales en los puntos de la superficie que se desea medir. El proceso de digitalización demanda tiempo considerable si el número de puntos a medir es muy grande.

Los puntos en la superficie pueden ser los vértices de una red poligonal o los puntos de control en una superficie paramétrica, y dado que las caras reales se mueven y cambian de forma a través del tiempo, los digitalizadores trabajan mucho mejor con esculturas o modelos plásticos que no cambian de forma durante el proceso de medición.

### **Técnicas fotogramétricas.**

Este método captura las formas de las superficies y expresiones fotográficamente. La idea básica es tomar varias fotografías de la cara, cada una de ellas desde diferentes puntos (Figura 5.1), y generar los datos (vértices o puntos) de la superficie tri-dimensinal deseada realizando cálculos en base a los datos obtenidos a partir de la toma de múltiples vistas en dos dimensiones [Par74] [Sut74], como se puede inferir, este proceso capta superficies faciales inmóviles en un determinado instante en el tiempo, de

aquí que se puede utilizar para medir directamente caras reales o esculturas de caras.



**Figura 5.1 Fotos desde varios ángulos.**

### **Sistemas de escaneo laser.**

Los dispositivos de escaneo basados en laser, como los desarrollados por Cyberware [Cyb90] son útiles para la medición de caras. Estos dispositivos típicamente producen una malla regular (valores de datos) muy grande en un sistema de coordenadas cilíndricas. Estos dispositivos pueden digitalizar caras reales así como modelos plásticos y esculturas faciales. Las diferentes posiciones faciales deben de conservarse constantes durante el corto tiempo

necesario para llevar a cabo el completo el proceso de escaneo. Novedosas versiones de estos sistemas de escaneo pueden capturar simultáneamente información acerca del color de la superficie además de la forma de la superficie.

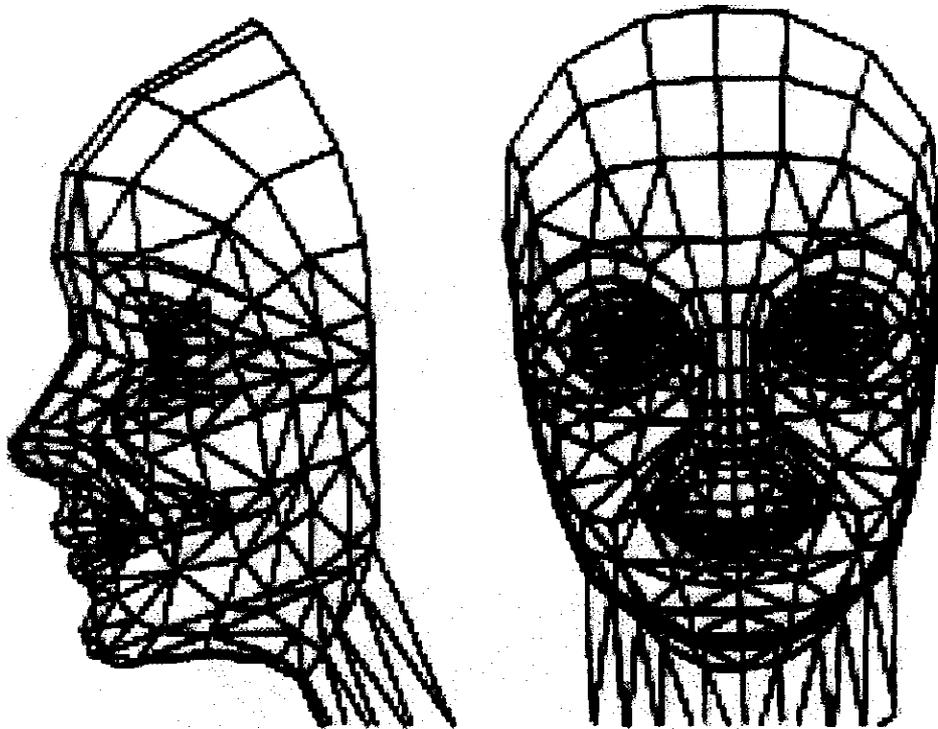


Figura 5.2 Vista frontal y lateral de una topología poligonal.

## 5.2 Topología poligonal.

Hay dos componentes en el modelado facial en 3D y son: los vértices (datos) y la topología. El número de vértices variará dependiendo de la exactitud requerida para el modelo. La topología del modelo es el indicador de la conectividad de los vértices, siendo la conformación topológica frecuentemente una triangulación de los vértices. Los triángulos son seleccionados de acuerdo a como se van generando y son siempre presentados

en un plano. Si los polígonos tienen cuatro o más lados, es más difícil asegurar la planaridad de los polígonos después de aplicarles transformaciones.

Una vez que se tienen los vértices en 3D, la información de la topología necesita ser definida para crear un wireframe o una malla (Figura 5.2). Esto puede hacerse manualmente seleccionando los puntos de cada triángulo. El orden es importante cuando se seleccionan los vértices, en la dirección de las manecillas del reloj o en contra, dado que los triángulos serán generados en la misma dirección.

Poder controlar la forma de la superficie es crucial para el éxito de los modelos faciales. Hay que tomar en cuenta que las redes y mallas requieren del control directo de todas las posiciones de los vértices y cada posición de los vértices debe ser explícitamente especificada. La densidad de la información que define a la superficie facial debe ser distribuida de tal manera que corresponda a la curvatura de la misma superficie, señalando que las áreas con curvaturas muy pronunciadas necesitan una gran cantidad de información para ser definidas, mientras que las áreas con curvaturas no tan pronunciadas necesitan menos determinación de información, y en general, gran densidad de información se necesita en aquellas áreas las cuales requieren del control más preciso de la superficie, como los ojos y la boca.

Las estaciones de trabajo gráficas modernas son convenientes para desplegar superficies poligonales y pueden adecuarse a la complejidad de los modelos faciales en relación al tiempo de ejecución. Los trabajos conocidos en la actualidad esencialmente despliegan sus modelos usando superficies poligonales, y toman en cuenta que las superficies no poligonales son aproximadas por superficies poligonales para su despliegue.

Existen elementos los cuales hay que tomar en cuenta para aproximar la representación gráfica de una cara con polígonos, y son los siguientes:

- Los polígonos deben de ser de tal forma que permitan la flexibilidad y cambios naturales de la forma de la cara. Si los polígonos no son triángulos, ellos deben permanecer aproximadamente planos sin dobleces tal y como lo requiere una cara real.
- Los polígonos deben aproximarse al modelo de una cara real en cada expresión. La topología de los polígonos puede necesitar modificaciones interactivas hasta que permita la real representación de la cara en todas sus expresiones posibles. Los párpados y los labios requieren una atención especial para asegurar que ellos se pueden cerrar y abrir de forma natural.
- La densidad de información que define a la superficie debe ser distribuida de acuerdo a la curvatura de la superficie. Las áreas de alta curvatura en la superficie como los son la nariz, boca, alrededor de los ojos, y el borde de la barba, necesitan una gran cantidad de información para su definición, mientras para las áreas de baja curvatura como los son la frente, las mejillas y el cuello, necesitan menos información para su definición. La gran densidad de información también es necesaria en aquellas áreas que requieren un preciso control de la superficie, siendo estas áreas la región de los ojos y la boca, las cuales juegan un papel muy importante en la expresión de una cara
- El uso de un número reducido de polígonos tiene como consecuencia mejores resultados. El objetivo es tener una forma precisa de superficie aceptable con un mínimo número de polígonos. Un pequeño número de polígonos permite más rápido la generación de la imagen y la minimización del número de datos en el modelo.
- Las orillas de los polígonos deben coincidir con los pliegues de la cara, para modelar las formas debajo de los ojos, los lados de la nariz, las orillas de los labios y las esquinas de la boca. Hay que señalar que los polígonos no deben generar pliegues.

- Es necesario tener cuidado especial cuando los pliegues deben ser visibles en superficies sombreadas con suavidad, y para ello se requiere mantener las normales separadas de los vértices a lo largo del pliegue. Esta acción asegura que habrá una sombra discontinua a lo largo del pliegue y que el pliegue será visible.
- Las orillas de los polígonos deben coincidir con el color de las fronteras tales como aquellas asociadas con los labios y las cejas. Los polígonos no deben generar color.
- Dado que la cara es cercanamente simétrica, se puede elegir modelar solamente un lado de la cara. El otro lado puede ser generado por una reflexión en el plano simétrico. Este enfoque no es recomendado cuando se requieren modelos exactos de caras específicas.

### **5.3 Modelos de yeso.**

Como las computadoras no ven, es necesario proporcionarles las dimensiones de las personas para que estas sean desplegadas en las pantallas, así para indicarle a cada computadora las formas correspondientes, necesitamos un modelo reducido, el cual podemos obtener por medio de un modelo de yeso similar a la persona que se desea generar, y aplicar posteriormente el proceso de digitalización.

A continuación se presentan los pasos necesarios para generar cualquier objeto sintético por medio de la digitalización:

- a) Creación de un modelo de yeso.
- b) Selección de vistas apropiadas.
- c) Toma de fotografías.
- d) Preparación de fotografías (retoque).
- e) Digitalización.

f) Composición del objeto.

Los modelos de yeso se deben de crear muy similares a las personas reales, y para hacer ello se cuenta con una metodología que hace diferencias de acuerdo a las partes del cuerpo que se desea representar [MTT87].



Figura 5.3 Modelo de yeso de la cabeza de Marilyn

Figura 5.4 Modelo de yeso de la cabeza de Humprhey

Figura 5.5 Modelos de yeso para manos, dientes, brazos y dedos

Figura 5.6 Torsos de yeso de Marilyn.

Figura 5.7 Otro torso de yeso de Marilyn.

Figura 5.8 Saco de yeso para Humprhey

A continuación se describen brevemente algunos aspectos de esta metodología:

*Para la cabeza:* El escultor crea el modelo de yeso a partir de fotografías de la persona en cuestión. Las cabezas son más grandes que las reales para facilitar posteriormente el proceso de digitalización (Figuras 5.3 y 5.4).

*Para los dientes:* Un escultor crea los dientes en base a fotografías. También los dientes son más grandes para facilitar el proceso de digitalización (Figura 5.5).

*Para el cuerpo de Marilyn:* Una persona parecida a Marilyn Monroe en cuanto a tamaño y forma se buscó para obtener las dimensiones, y después se vierte yeso sobre el cuerpo de la persona para así crear el cuerpo en yeso (Figuras 5.6 y 5.7).

*Para el cuerpo de Humphrey (Humphrey Bogart):* En primer término una chaqueta o saco se eligió, para después echar yeso sobre la misma (Figura 5.8).

*Para las manos:* Un escultor crea las manos a partir de fotografías (Figura 5.5).

## **Composición del objeto.**

Una vez que las partes del objeto sintético se han digitalizado, posteriormente se realiza la composición, siendo esta una operación que consiste en ensamblar dos figuras irregulares en una única figura coherente; por ejemplo, el torso puede componerse con un brazo. Generalmente, las figuras que se desean componer no se encuentran en buena posición, orientación ni tamaño para llevar a cabo un ensamble directo, esto implica el uso de elementos en común de ambas figuras que permitan el ensamblado, y estos elementos en común son vértices que se encuentran ubicados en el borde de las figuras correspondientes y son los vértices que se deben de componer, y a estos vértices se les llama "hermanos", dado que cada vértice

en el borde de la primer figura debe de tener un hermano en el borde de la otra figura, si esto no sucede así, cuando se despliega la imagen aparentemente ensamblada se observará con sobras discontinuas.

## 5.4 Colección de datos y los modelos plásticos.

El modelado facial también cuenta con la medición de datos a partir de modelos plásticos de la cabeza como se muestra en la Figura 5.9.a, y dibujando sobre éstos, vértices y polígonos que definen la topología del modelo, y así posteriormente llevar a cabo la animación facial la cual requiere conservar la conectividad entre los vértices de tal forma que la generación de cambios en las expresiones faciales no desbarate la malla que representa una cara real [Par72]. Generalmente cuando se crean modelos plásticos se hacen cabezas simétricas de tal forma que solamente un lado de la cara puede medirse, generándose uno de los lados como una imagen reflejante del otro.

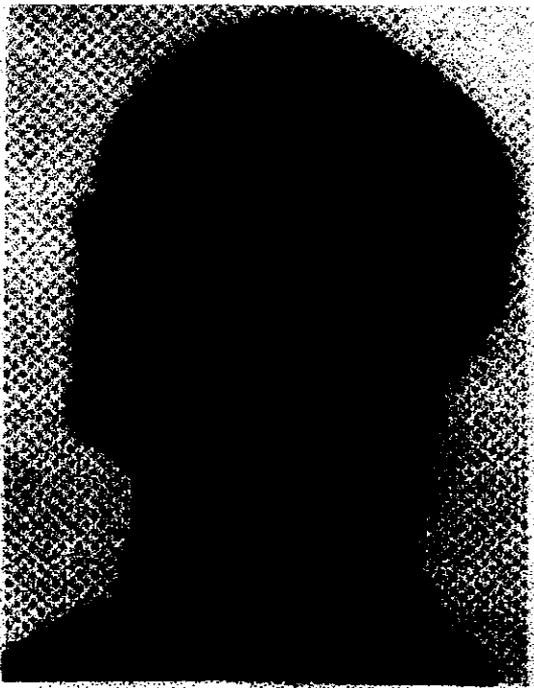


Figura 5.9.a) Modelo plástico

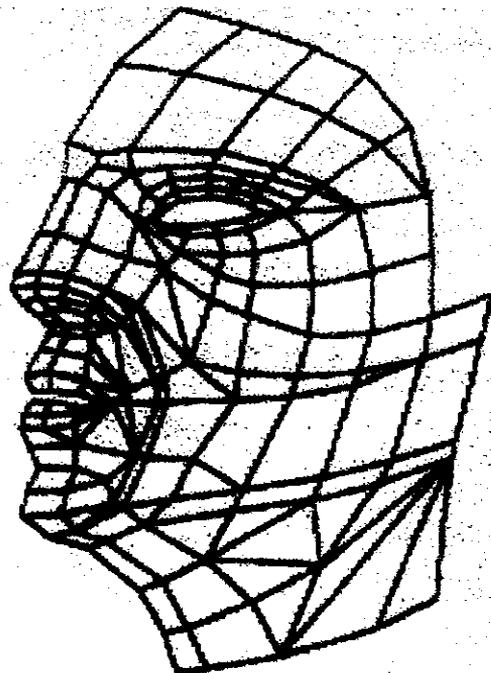


Figura 5.9.b) Topología poligonal

Una vez que se tiene el modelo plástico con vértices y polígonos, se digitaliza el modelo utilizando una técnica fotogramétrica (Sección 5.1) y después obtener la topología poligonal como se muestra en la Figura 5.9.b.

## 5.5 Modelado basado en superficies implícitas.

El objetivo de varias técnicas para el modelado facial es el control y generación de modelos, de tal forma que se asemejen la superficie facial en cuanto a la forma, color y textura.

Una pregunta válida es la siguiente: ¿cómo podemos representar geoméricamente una cara de tal manera que nos permita obtener una eficiente generación de la misma? Una alternativa es encontrar una superficie analítica o colección de superficies que permitan aproximaciones a la superficie de la cara, siendo las superficies implícitas una buena aproximación [Wood86].

Recordemos que las superficies implícitas se definen en términos de una función  $F(x,y,z) = 0$ , que asigna un valor escalar a cada punto  $x,y,z$  en el espacio, por ejemplo, una esfera de radio unitario con centro en  $(0,.5,-.5)$  puede describirse por la función implícita  $f(x,y,z) = x^2 + (y-.5)^2 + (z+.5)^2 - 1$ ; sabemos también que cualquier función poligonal  $f(x,y,z)$  implícitamente permite la descripción de superficies algebraicas, en particular las cuadráticas como los elipsoides, cilindros, conos y toros; las cuales son superficies algebraicas implícitas.

Asimismo, si tomamos en cuenta dos superficies implícitas  $f(x,y,z)$  y  $g(x,y,z)$ , estas pueden generar mas superficies implícitas a partir de su combinación. Las propiedades que se obtienen a razón de la combinación y restricción de superficies implícitas permiten la creación de modelos que podrían ser más difíciles de generar con otras técnicas, no obstante que las superficies implícitas consumen mas tiempo de ejecución en cuanto al manejo interactivo

y despliegue en comparación con las superficies poligonales o paramétricas, y los métodos que pueden proporcionar control por parte del usuario sobre superficies implícitas todavía son objeto de estudio, mientras tanto, como un resultado concreto se han utilizado superficies implícitas en la animación facial [WMW86].

En conclusión, el modelado realista de geometrías faciales en tres dimensiones es difícil, en términos de exactitud y consumo de tiempo, y esto porque la cara es una estructura complicada con un sin número de curvas, de aquí que las representaciones poligonales se crean frecuentemente a través de mediciones manuales utilizando digitalizadores en 3D, o por medio de fotogrametría de imágenes faciales. Estas técnicas, cabe mencionar, requieren de una atención particular para generar los ojos, párpados y regiones de la boca, especialmente si se desea que estas partes posteriormente estén articuladas. Sin embargo, actualmente se cuenta con dispositivos más veloces y sensibles que proporcionan avances en cuanto a la exactitud de la topología y datos. Con estos nuevos dispositivos, típicamente se pueden realizar 128,000 capturas en pocos segundos proporcionando una base de datos muy detallada, obteniéndose así una excesiva cantidad de datos, particularmente en las regiones planas de la cara (como la frente o mejillas), y estos datos deben de reducirse en una malla poligonal de tamaño manejable. Existen técnicas para adaptación de mallas [TV91] que se pueden utilizar para diseñar mallas adecuadas que capturen la estructura esencial de los mapeos faciales de alta resolución. La generación de estas mallas adaptan las características de mayor interés a partir de los datos incrementando la densidad de los polígonos en las regiones faciales articuladas.

## Capítulo 6

# Animación facial.

La habilidad para modelar la cara humana y después darle animación nos permite el manejo y representación de varias expresiones faciales, lo cual establece un desafío interesante en la graficación por computadora. La animación facial ha progresado significativamente en pocos años y una variedad de algoritmos y técnicas están al alcance, para crear caras que parecen altamente realistas, tales como el escaneo en tres dimensiones y las técnicas fotogramétricas (Capítulo 5), con los cuales se puede generar una geometría detallada de la cara, así como también los algoritmos son capaces de emular el músculo o la piel tan parecidos a las caras reales, la síntesis y habla también pueden ser sincronizadas con precisión en las caras hechas por computadora.

El objetivo principal de la animación por computadora, es manipular la superficie de la cara a través de tiempo y generar caras que correspondan a expresiones deseadas en cada cuadro de la secuencia animada. Este proceso involucra directamente o indirectamente la manipulación de los vértices de la superficie poligonal o las posiciones del control puntual de la superficie, en el tiempo.

Para animar una cara, el animador en primer término debe construir un cierto número de expresiones faciales. Las expresiones se construyen especificando deformaciones faciales como si estas fueran realmente causadas por los músculos, como los son el abrir la mandíbula, los ojos, o hacer gestos. Estas deformaciones de la cara son generalmente diferentes de una persona a otra, poniendo un ejemplo, se puede invitar a una persona a decir una frase, lo cual significará abrir la boca con una cierta abertura, pero esta abertura no es la misma para todas. Una vez que los animadores han construido las expresiones se anima la cara indicándole a la computadora algunas de las expresiones en ciertos tiempos seleccionados.

## **6.1 Técnicas para la animación facial.**

La interpolación es quizás la técnica mas ampliamente utilizada y su forma de trabajar corresponde al enfoque del manejo de "keyframes" fundamento de la animación convencional. La idea que hay detrás de la animación por keyframes es que la expresión facial deseada se describe específicamente ya sea por puntos, líneas, etc., en un cierto tiempo, mas tarde, de nueva cuenta otro conjunto de puntos, líneas, etc., se determina para algún número de frames (cuadros). Posteriormente, un algoritmo computacional, genera los frames entre esos keyframes (Figura 6.1). Varias cintas tales como "Sextone for President" [Kle88a] y "Don't'n Touch Me" [Kle88b], fueron generadas digitalizando la cara en cada expresión diferente y aplicando posteriormente interpolación entre las expresiones.

El enfoque anteriormente descrito puede extenderse en varias formas teniendo más de dos keyframes de expresión; si por ejemplos se tienen cuatro expresiones entonces, dos coeficientes de interpolación se pueden usar para generar una expresión la cual sea una mezcla bilineal de los cuatro keyframes. Si ocho expresiones clave están disponibles, tres coeficientes de interpolación se pueden utilizar para generar una mezcla de expresión

trilineal; cuatro coeficientes de interpolación y 16 expresiones clave se permiten mezclar en un espacio de interpolación en cuatro dimensiones. Dimensiones más grandes son posibles pero probablemente no llamarán la atención.

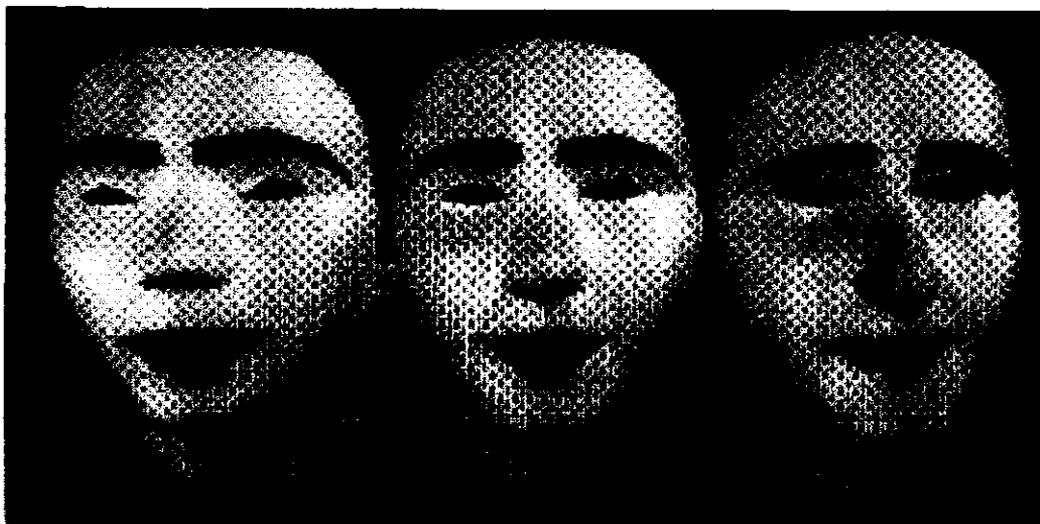


Figura 6.1 La cara del centro es producto de la interpolación entre las caras de la izquierda y la derecha

Otra forma de manejar los keyframes de expresiones múltiples, es seleccionar pares de ellos e interpolarse, involucrando tres componentes; keyframe inicial, keyframe final y el valor de la interpolación.

Una extensión de la interpolación de keyframes de expresiones es la subdivisión de la cara en un número de regiones, con coeficientes de interpolación independientes utilizados para cada región, extendiendo con esto el espacio de control en forma intuitiva. Un ejemplo de ello es dividir la cara en una región superior y otra inferior. La región superior es manejada principalmente para la expresión emocional mientras que la región inferior se usa para la expresión del habla, permitiendo así alguna ortogonalidad entre la emoción y el control del habla.

Los esquemas de interpolación de keyframes tienen limitaciones; en primer término, el rango del control de expresiones está directamente relacionado

con el número de expresiones disponibles, y si una expresión se encuentra en el exterior de los límites del conjunto de keyframes, ésta es inalcanzable, excepto por extrapolación lo cual es arriesgado. También, cada uno de los keyframes requiere una explícita colección de datos geométricos y para un conjunto numeroso de keyframes esto resulta desanimador aunado a diferentes caras individuales, y como varios keyframes de expresión se deben de incluir, entonces el número de conjuntos de datos de keyframes requeridas puede ser muy grande. El uso de imágenes por keyframes en dos dimensiones da buenos resultados y es usado en la generación de caricaturas.

Otros enfoques se pueden encontrar para llevar a cabo la animación facial por computadora, como son los sistemas para la codificación de expresiones, modelos parametrizados y animación basada en músculos, mismos que a continuación se describen.

## **6.2 Expresiones faciales.**

Este enfoque se fundamenta totalmente en el estudio y análisis cuidadoso del carácter expresivo de la cara y el entendimiento a detalle de la estructura expresiva de la misma. Las investigaciones que se han hecho en esta línea [Ekm89] concluyen que existen seis categorías o también llamadas expresiones universales, siendo estas: tristeza, enojo, alegría, disgusto, y sorpresa; descritas ampliamente en el Capítulo 4.

## **6.3 Sistemas para la codificación de expresiones.**

Varios sistemas o lenguajes han sido desarrollados para describir las expresiones faciales. Uno de los primeros trabajos que se dieron a conocer es el lenguaje MIMIC desarrollado por Hjortajo [Hjo70], el cual se basa en la investigación y sistematización de las actividades musculares incluyendo el

papel que juega la mímica en las características faciales, los gestos y las posturas, para crear diversas expresiones faciales. Otro y probablemente el más utilizado en la animación facial, es el Sistema de Codificación Facial (FACS) el cual se describe a continuación.

Dos psicólogos, Ekman y Friesen [EF78], desarrollaron un sistema para el análisis anatómico de los movimientos faciales conocido como FACS (Capítulo 2), el cual también permite evaluar expresiones faciales. Su investigación involucra fotografías de sus propias caras cuando ellos movían diferentes músculos y a través de esto ellos se dieron cuenta cuales músculos generan cada uno de los movimientos. Algunos movimientos fueron difíciles de mover voluntariamente forzando en algunas ocasiones a poner en movimiento los músculos con sondas eléctricas. También encontraron grupos de músculos que producen efectos similares, así los grupos de músculos y músculos distinguibles que son responsables de cada movimiento facial fueron llamados unidades de acción de las cuales Ekman y Friesen encontraron 46 unidades de este tipo (Capítulo 2). FACS identifica cada una de las unidades de acción involucradas tanto en movimientos simples como complejos. Los psicólogos anteriormente mencionados, analizaron alrededor de 55,000 fotos de diferentes expresiones faciales, y de estas fotos ellos establecieron las seis expresiones universales (Capítulo 4 y Sección anterior). Muchos Sistemas de animación facial usan la información de FACS como una base para diseño y prueba de sus sistemas.

## **6.4 Modelos parametrizados directos.**

Motivado por las dificultades asociadas con la interpolación de keyframes, Parke [Par82] desarrolló modelos parametrizados con el deseo de crear modelos que generen un amplio rango de caras basadas en un conjunto limitado de valores paramétricos como entrada. El objetivo de este enfoque es permitir el manejo de la expresión y conformación facial, por medio de un

conjunto de parámetros de control para que por medio de ellos se generen las caras requeridas, representando esto un desafío.

Hay dos ideas básicas involucradas en la creación de modelos gráficos parametrizados. La primera, es el concepto de parametrización y el desarrollo de un conjunto apropiado de parámetros. La segunda, es la síntesis de la imagen gráfica que produce imágenes basadas en alguna parametrización definida.

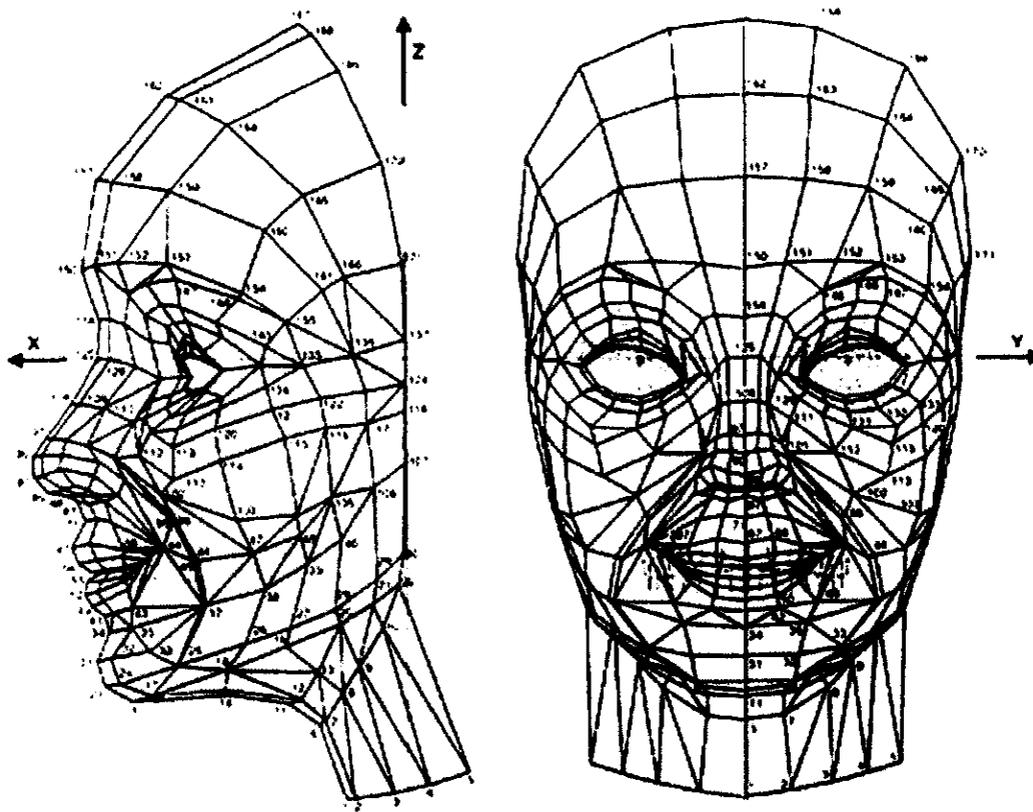
Para entender el concepto básico de parametrización, es conveniente considerar una clase de objetos en la cual los miembros individuales tienen diferencias identificables. Si las diferencias entre los objetos miembros pueden ser asociadas con un conjunto de diferenciación o criterio de especificación, los miembros de la clase pueden describirse o especificarse por medio de determinados valores del criterio. Estos valores de criterio pueden pensarse como una referencia o como valores paramétricos.

Un conjunto "completo" de parámetros es aquel que permite a cada miembro de una clase de objetos, ser especificado mediante una selección apropiada de valores paramétricos. Si ciertos miembros de la clase pueden ser diferenciados pero no descritos únicamente por valores paramétricos, el conjunto de paramétrico no es completo. En un conjunto completo, cada miembro de la clase puede ser descrito por una única n-ada de valores paramétricos.

Un simple ejemplo del concepto básico de parametrización es la clase de los cubos. La descripción o especificación para un cubo particular consiste de un conjunto de valores paramétricos como la longitud de una arista, el color de cada cara, peso, material, etc. Si el conjunto de parámetros es completo, uno podría especificar cada cubo especificando la n-ada apropiada de valores paramétricos.

Dado un esquema de parametrización, la próxima tarea es desarrollar un modelo de síntesis para producir imágenes basados en los valores paramétricos. El corazón de este proceso es el conjunto de algoritmos,

funciones, y datos que forman el modelo paramétrico. El modelo toma como entradas los valores paramétricos especificados por el animador, para producir como salida un conjunto de primitivas gráficas, tales como descriptores de vectores o de polígonos, los cuales son pasados posteriormente como entrada a las rutinas gráficas que generan las imágenes (Figura 6.2).



**Figura 6.2 Ejemplo de modelo parametrizado.**

Parte del proceso del desarrollo del modelo es determinar el tipo de imágenes a ser producidas con simples vectores que las generen desde segmentos de líneas, o a partir de imágenes sombreadas basadas en superficies cuadráticas

o cúbicas con producción de textura a través de modelos de luz. Una elección típica es el render de superficies con reglas de sombreado simple.

A partir de los conceptos planteados anteriormente, el desarrollo de modelos parametrizados deseados enmarca dos tareas: el desarrollo apropiado de parámetros y el desarrollo de modelos de síntesis de imagen basados en esos parámetros, por tanto, el primer paso es determinar el conjunto apropiado de parámetros faciales (una tarea no trivial). Idealmente, se puede desarrollar un conjunto completo de parámetros creando y especificando cualquier cara posible con cualquier expresión posible. La posibilidad de desarrollar tal conjunto es una pregunta abierta en la actualidad.

Para desarrollar un conjunto de parámetros, un camino es observar las propiedades de la superficie de las caras y desarrollar los conjuntos apropiados que permitan especificar paramétricamente estas características observadas. Un segundo enfoque involucra el estudio de la anatomía facial y el desarrollo de un conjunto de parámetros basado en este estudio.

Asimismo, hay que mencionar que existen dos categorías de parámetros: aquellos que controlan la expresión de la cara, o contenido emocional, y aquellos que controlan la conformación, o estructura, de una cara individual. Para una cierta extensión, estas dos categorías se pueden mezclar, pero conceptualmente son consideradas distintas.

El manejo de un conjunto de parámetros para control de la expresión y la conformación se basa en la aplicación de operaciones tales como rotación, escalamiento, translación e interpolación sobre regiones de la cara. Los parámetros de control incluyen las siguientes expresiones y conformaciones:

## **Expresión**

abertura del párpado  
arco de la ceja  
separación de la ceja  
rotación de la mandíbula  
amplitud de la boca  
expresión de la boca  
posición del labio inferior  
mirada de los ojos

## **Conformación**

amplitud de la mandíbula  
forma de la frente  
longitud y amplitud de la nariz  
forma de la mejilla  
forma de la barba  
forma del cuello  
separación y tamaño de los ojos  
proporciones de toda la cara

Alrededor de 10 parámetros de expresión permiten al animador especificar y controlar un amplio rango de expresiones faciales.

Los modelos parametrizados ms generalmente, son aquellos que permiten un amplio rango de conformaciones faciales y expresiones. Sin embargo, los modelos que permiten variaciones solamente en la expresión o solamente en la conformación pueden ser suficientes para algunas aplicaciones, por ejemplo, requerir variación solamente en la expresión facial de un carácter específico.

¿Qué elementos, en cuanto a parámetros, habrá que tomarse en cuenta si se desea modelar las expresiones? En general, esto es una pregunta abierta, aunque la notación del Sistema de Código de Acción Facial (FACS-Capítulo 2) basado en la estructura facial, es una posibilidad para fundamentar el manejo de estos modelos.

Para los parámetros de expresiones, de principal importancia están las expresiones de los ojos y la boca, así muchos parámetros de expresiones están relacionados a éstas áreas. Los parámetros de expresión encontrados útiles para los ojos incluyen dilatación de la pupila, abertura de párpados, posición y forma de las cejas, y también la dirección en la cual los ojos están mirando.

Los parámetros de expresión útiles para la boca incluyen la rotación de la mandíbula (la cual controla la abertura de la boca), el grueso de la boca, la

expresión de la boca (sonreír, fruncir, etc.), la posición del labio superior, y las posiciones de las esquinas de la boca.

Otros parámetros de expresión útiles incluyen el tamaño de las fosas nasales y la orientación de la cara (cabeza) con respecto al cuello, así como el resto del cuerpo. La habilidad para orientar la cara – agacharla y girarla – no fueron incluidas en los modelos anteriores.

En cuanto a los cambios en la conformación de caras, es decir, aquellos aspectos que varían de individuo a individuo y que hacen a cada persona única, requiere de un conjunto diferente de parámetros.

Algunos parámetros de conformación se aplican globalmente a la cara, tomando en cuenta el color de la piel y el aspecto de la cara (altura y ancho). Estos parámetros globales incluyen una transformación, sugerida por algunos investigadores. Los parámetros de conformación controlan el color (y la textura en modelos más elaborados) de las cejas, pestañas, iris, labios, y otras características.

Otros parámetros de conformación usan el tamaño relativo (escala), forma, y posición de la cabeza y cuello, para su control, siendo una muestra de ello lo que a continuación se enuncia:

- Forma y longitud del cuello.
- Forma de la barba, frente, mejilla y hueso de la mejilla (pómulo).
- Tamaño y posición del párpado, globo del ojo e iris y la separación de los ojos.
- Amplitud de la mandíbula.
- Longitud de la nariz y amplitud del puente y término de la nariz.
- Escalar la barba y frente.
- Escalar la porción de la boca a los ojos, con el resto de la cara.

El desarrollo de verdaderos conjuntos completos de parámetros de conformación aparentemente se aprecia muy difícil y en teoría se puede hallar poco para alentar su desarrollo. Las variaciones en la estructura facial

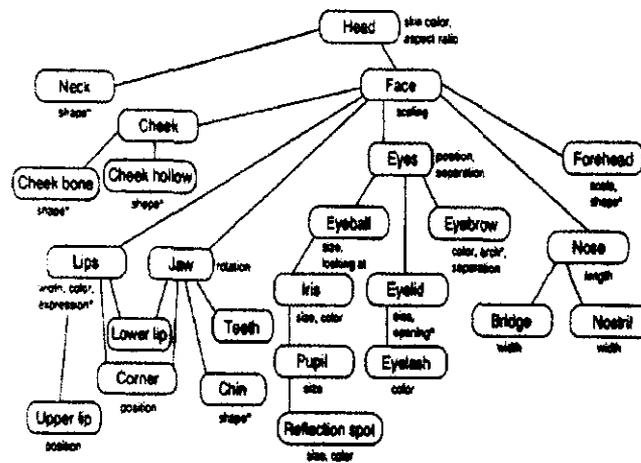
de un individuo a otro son menos rápidas de analizar y entender, que las formas en las cuales una estructura dada, varía de una expresión a otra.

Los modelos parametrizados son una poderosa herramienta para la síntesis de imagen facial y animación, teniendo su mayor valor para los animadores, el manejo de una cantidad razonable de información -los parámetros- y así poder crear una secuencia de imágenes. Con el desarrollo de mejores conjuntos de parámetros faciales completos y la aplicación de técnicas de síntesis de imágenes mas finas, los modelos parametrizados permitirán *mejorar la animación facial*, así un buen modelo parametrizado es aquel que proporciona la posibilidad de representar y generar cualquier cara posible con cualquier expresión posible especificando solamente los valores paramétricos apropiados.

### **Estructura de los modelos parametrizados.**

Para los modelos parametrizados, las operaciones, tales como la interpolación, se aplican independientemente en regiones determinadas de la cara, más que en su totalidad. La Figura 6.3 muestra una vista general de las estructura de estos modelos. Los parámetros afectan varias características, y un asterisco (\*) indica el uso de la interpolación para la implementación del parámetro en cuestión.

Cinco tipos de operaciones se utilizan para determinar a partir de la posición de los vértices, los valores de los parámetros. Aunque algunas veces se aplican a toda la cara, en muchos casos se aplican independientemente a regiones específicas.



Structure of the parameterized model

Figura 6.3 Estructura del modelo parametrizado.

A continuación se describen las operaciones necesarias, mismas que dependen usualmente del orden en que sean aplicadas:

- (1) La *construcción procedural* es utilizada para modelar los ojos. El procedimiento del globo del ojo acepta parámetros para el globo del ojo, iris y el tamaño de la pupila, así como y el color del iris, posición del ojo, y la orientación del globo del ojo. Por lo tanto, proceduralmente se generan los descriptores poligonales necesarios para crear los ojos deseados.
- (2) La *interpolación* es usada para aquellas porciones de la cara que cambian de forma. Esto incluye la frente, la región de los pómulos, cuello y boca. Cada una de estas áreas es independientemente interpolada entre formas definidas y asociadas con un valor paramétrico. Para un vértice dado en una de estas regiones, se

- definen dos posiciones – una para cada extremo. El valor paramétrico controla la interpolación entre las posiciones extremas.
- (3) La *rotación* es usada para abrir la boca rotando la porción inferior de la cara alrededor del eje de las X's, el cual actúa como pivote de la mandíbula.
  - (4) El *escalamiento* controla el tamaño de las características de la cara, como son la prominencia de la barba, ancho de la nariz, mandíbula y la boca. Los factores de escala son aplicados solamente a los vértices que se encuentran dentro estas regiones de la cara.
  - (5) La operación que *compensa la posición*, controla la longitud de la nariz, las esquinas de la boca y el levantamiento de labio superior. Las compensaciones de las posiciones mueven colecciones o regiones de vértices como un grupo.

## 6.5 Animación facial basada en músculos.

Una nueva forma de controlar la animación facial humana se basa en el concepto de procedimientos de Acción Muscular Abstracta (Abstract Muscle Action - AMA) propuesto por Nadia Magnenat Thalmann y Daniel Thalmann [MTT87]. Un procedimiento AMA es aquel especializado que simula la acción de un músculo facial proporcionando así una metodología para animar la cara basada en tres niveles: nivel de procedimiento AMA, nivel de expresión y nivel de script. Un ejemplo de esta metodología la podemos encontrar en el film "Rendez-vous à Montréal" con los actores sintéticos Marilyn Monroe y Humphrey Bogart [MTT87].

Los procedimientos AMA son similares pero no cuentan con las mismas unidades de acción que FACS. Asimismo, no son independientes, siendo el orden importante, al momento de su aplicación.

Como ya se sabe, las diferentes caras de un actor sintético se pueden crear usando cualquier método: digitalización en 3D, superficies libres de forma, reconstrucciones en 3D para proyecciones planas, pero los procedimientos AMA imponen ciertos requerimientos:

1. Una de las primeras suposiciones es que la cara sea aproximadamente simétrica, lo cual significa que solamente la mitad de la cara se requiere como entrada en la computadora. La simetría puede no ser completa; sin embargo, los procedimientos AMA suponen una simetría y los resultados podrían ser extraños en el caso de disimetría.
2. Los procedimientos AMA son translaciones independientes; sin embargo, pueden estar escalados dependientemente. Esto significa que los parámetros de los procedimientos pueden haber sido escalados por un factor  $F$  cuando la cara sea escalada por  $F$ .
3. La cara humana ha sido dividida en regiones específicas: piel, dientes, párpados; y el orden de estas partes es importante.

Como un músculo existe en virtud de su acción global, no es necesario para el animador conocer como trabaja. Sin embargo, esto implica que esas acciones son muy específicas para varios músculos y da la ilusión de la presencia de una estructura ósea.

Mas generalmente, la base de la animación facial está sustentada en parámetros faciales independientes simulados por procedimientos AMA. A continuación se describen algunos ejemplos de parámetros faciales:

- La mandíbula inferior puede moverse en dos diferentes direcciones: se puede abrir verticalmente y moverse lateralmente.
- Los ojos pueden moverse horizontalmente y verticalmente en sus respectivas cuencas.
- La boca y ojos están cercados por músculos circulares.
- La frente es un músculo amplio y plano.

La Tabla 6.1 presenta los procedimientos AMA más importantes.

| Número | Procedimiento AMA         | Rango para el parámetro facial correspondiente. |
|--------|---------------------------|---|
| 1      | MANDÍBULA_VERTCAL         | 0-1   |
| 2      | CERRAR_LABIO_SUP.         | 0-1   |
| 3      | CERRAR_LABIO_INFE.        | 0-1   |
| 4      | COMPRIMIR_LABIO           | 0-1   |
| 6      | PICO_DE BOCA              | 0-1   |
| 7      | PÁRPADO_DERECHO           | -1-1  |
| 8      | PÁRPADO_IZQ.              | -1-1  |
| 9      | LEVANTAR_LABIO_IZQ.       | 0-1   |
| 10     | LEVANTAR_LABIO-DER.       | 0-1   |
| 11     | ZYGOMATIC_IZQ.            | 0-1   |
| 12     | ZYGOMATIC_DER.            | 0-1   |
| 23     | MOVER_HORIZONTAL_OJO_DER. | -1-1  |
| 24     | MOVER_VERTICAL_OJO_DER.   | -1-1  |
| 25     | MOVER_HORIZONTAL_OJO_IZQ. | -1-1  |
| 26     | MOVER_VERTICAL_OJO_IZQ.   | -1-1  |
| 27     | RISORIOUS_DER.            | 0-1   |
| 28     | RISORIOUS_IZQ.            | 0-1   |
| 29     | MOVER_CEJA_DER.           | -1-1  |
| 29     | MOVER_CEJA_IZQ.           | -1-1  |

Tabla 6.1 Procedimientos AMA.

Los parámetros faciales no son solamente músculos, como se muestra en la Tabla 6.1, la cual presenta los procedimientos principales de AMA y el rango para los parámetros faciales correspondientes. Este rango corresponde a los valores extremos para los parámetros de un actor sintético.

Cada parámetro facial es simulado por un procedimiento AMA. Cada procedimiento esta basado en valores específicos, los cuales pueden ser modificados por el animador; por ejemplo, el procedimiento el cual mueve a los ojos (parámetros del 23 al 26) usa los siguientes parámetros básicos:

- **CENTRO\_VERT:** un vértice del ojo, el cual es el centro de rotación del ojo
- **VMAX:** ángulo vertical máximo permitido (generalmente 30°)

- HMAX: ángulo horizontal máximo permitido (generalmente 30°)

Cuando el animador especifica el parámetro facial por el comando `MOVER_VERTICAL_OJO_DER. 0.4`, esto significa que el ojo se mueve a la derecha (izquierda) un ángulo de 0.4 veces VMAX; si VMAX es 30°, este ángulo corresponde a 12°.

Uno de los pasos más importante en la creación un nuevo actor sintético es la instalación de una nueva cara del actor. Este paso puede ser algo complejo, porque involucra un poco de información. Como ya se mencionó, cada procedimiento AMA está basado en un cierto número de parámetros del usuario. Estos parámetros pueden ser de tres tipos:

- Vector
- Real
- Entero (generalmente el número de vértices)

Estos parámetros pueden ser valores de un ángulo máximo, o número de vértices que limitan una región para ser deformada. Por ejemplo, la acción de abrir la mandíbula esta caracterizado por 23 valores. Significa que los procedimientos AMA correspondientes necesitan como valor 23 parámetros por parte del usuario. Por ejemplo, al considerar uno de estos parámetros, el vértice de la comisura derecha (puntos de unión en los extremos de los labios).

Es posible animar una cara humana manipulando parámetros faciales en base a procedimientos AMA. Sin embargo, estos procedimientos han sido considerados como un acceso de bajo nivel a la cara humana. Combinando los parámetros obtenidos por los procedimientos AMA en diferentes maneras, podemos construir mas entidades complejas correspondientes a lo que se conoce como expresión facial. Una expresión facial es un grupo de valores paramétricos faciales los cuales juntos transforman la cara neutral en una cara expresiva. Para la expresión neutral, los parámetros faciales tienen valor inicial predefinido, siendo este 0%. Un parámetro facial activo se supone que tomará un valor máximo de 100%.

En una expresión facial para un actor sintético se asigna un porcentaje de acciones para cada parámetro facial activo. Por ejemplo, una sonrisa es una combinación de 30% del parámetro A, 50% del parámetro G y 0% de todos los otros parámetros. Podemos también decir que una expresión de un actor sintético está definida como un estado caracterizado por una única cara para el actor, un conjunto de regiones y un conjunto de valores paramétricos. Una personalidad del actor esta definida como un conjunto de expresiones del actor.

Son posibles dos tipos de expresiones faciales: los fonemas (expresiones del habla) y las emociones (llorar, reír, etc.). Hay varias ventajas importantes en relación a la definición de un determinado nivel de expresión:

1. Una expresión facial es creada desde los parámetros faciales y no es necesario conocer la implantación de estos.
2. Las expresiones faciales pueden ser moduladas; por ejemplo, una expresión facial puede ser representada por un 50%. La combinación de parámetros faciales es todavía la misma para el 100%, pero la intensidad de cada parámetro facial es reducida a la mitad.
3. Podemos también construir expresiones faciales para un actor el cual es bastante diferente de otros actores.
4. Las expresiones faciales pueden ser combinadas para crear nuevas expresiones faciales: por ejemplo, un fonema puede estar combinado con una sonrisa.

Las siguientes figuras muestran el uso de parámetros faciales AMA en expresiones faciales, donde del *lado superior izquierdo* se tiene una *sonrisa diabólica* (Figura 6.4) con los siguientes parámetros: párpado derecho e izquierdo = 75%, zygomático derecho e izquierdo = 85%, movimiento hacia abajo del ojo derecho e izquierdo = 50%, ceja derecha e izquierda = 100%; en el *lado inferior izquierdo* se tiene la expresión de *gran enojo* (Figura 6.5) con los parámetros: mandíbula abierta = 60%, párpado derecho e izquierdo = 80%, ceja derecha e izquierda = 100%, en el *lado superior derecho* se tiene la

expresión de *enojo* (Figura 6.6) con los siguientes parámetros: mandíbula abierta = 25%, labios comprimidos = 60% párpado derecho e izquierdo = 80%, ceja derecha e izquierda = 100%, en el *lado inferior derecho* se tiene la expresión de *envidia* (Figura 6.7) con los siguientes parámetros: labio superior e inferior = 100%, párpado derecho e izquierdo = 50%, ojo derecho e izquierdo rotados hacia la izquierda = 100%, movimiento hacia abajo del ojo derecho e izquierdo = 50%, ceja derecha e izquierda = 100%.

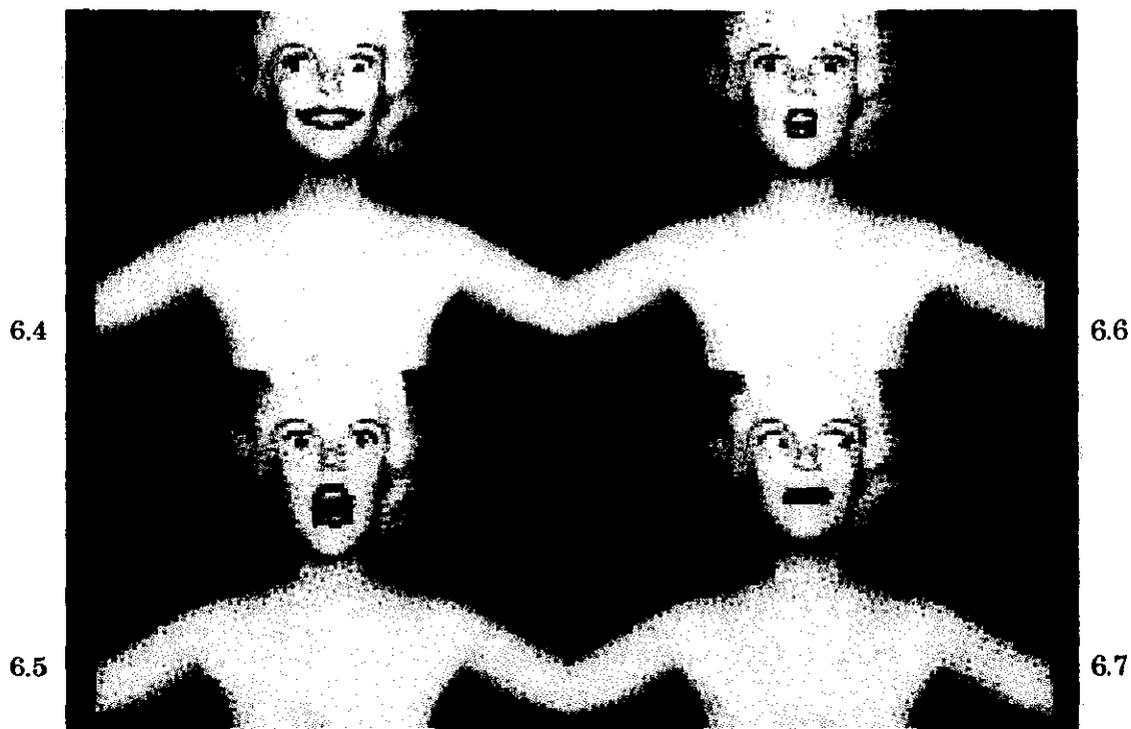


Figura 6.4 Expresión de sonrisa diabólica.

Figura 6.6 Expresión de mayor enojo.

Figura 6.5 Expresión de enojo.

Figura 6.7 Expresión de envidia.

Varios sistemas más han sido desarrollados en base a modelos simplificados de estructura facial ósea, músculos, tejido y piel, dichos sistemas proporcionan la habilidad para manipular las expresiones faciales basadas principalmente en simular las características de los músculos de la cara. Platt y Badler [PB81] desarrollaron un sistema parcial de cara en el cual los vértices de la superficie de la cara (la piel) fueron interconectados

elásticamente por estructuras óseas y modelado muscular con prioridades elásticas aunado a una fuerza de contracción. La expresión de la cara es manipulada aplicando fuerzas a la malla de la piel conectada elásticamente vía los músculos involucrados, asimismo, las acciones de los músculos utilizadas después se convirtieron en el Sistema FACS (Capítulo 2)

Los modelos desarrollados por Platt y Badler trabajan directamente con la anatomía facial que causan las expresiones faciales. Su trabajo usa un sistema notacional para codificar las acciones ejecutadas por la cara. La notación describe un modelo de la estructura muscular, el cual determina cada expresión facial.

Waters [Wat87] desarrolló un sistema facial el cual incluye dos tipos de músculos, siendo estos músculos los lineales que se tuercen, y los esfínter que oprimen. Este sistema utiliza un simple modelo de resorte y masa para la piel y los músculos, sin embargo los músculos tienen propiedades vectoriales las cuales son independientes de la estructura ósea que se encuentra a su alrededor. Cada músculo tiene una zona de influencia, la cual para un músculos particular se reduce como una función de distancia radial desde el punto del vector del músculos. Waters también usó parámetros de control basados en FACS. Este trabajo se describirá con detalle en el Capítulo 7.

Terzopoulos y Waters [TW90] dieron a conocer un sistema que es una extensión del sistema de Waters, mismo que se basa en FACS con parametrización del control pero los resultados faciales se modelan usando una estructura de red (lattice) deformable en tres capas, correspondiendo a la piel, tejido graso subcutáneo y músculos.

## Capítulo 7

# Animación facial con base en el movimiento de los músculos.

Como ya se ha comentado, existen dos enfoques fundamentales para la animación facial en tres dimensiones: keyframing y parametrización. Cada uno ha sido explotado con diferentes grados de éxito, pero ambos han tenido inconvenientes. Keyframing requiere la especificación completa del modelo en cada extremo, o al menos el almacenamiento de las diferentes posiciones faciales. Adicionalmente, cualquier movimiento de la cara debe ser construido como un modelo completo, por lo tanto, con la técnica de keyframe se tiene una gran cantidad de datos y carece de manipulación. La parametrización evita este problema de rigidez, agrupando vértices y manejándolos en su conjunto para una ejecución específica. Sin embargo, no se tiene éxito cuando el proceso es aplicado a una nueva topología facial, es decir, si no se cambia de malla topológica la parametrización funciona bien.

El presente trabajo se asocia con el desarrollo de un modelo más general y flexible para la parametrización que permite el control facial sin el requerimiento de conservar una topología para las acciones de ejecución facial [Wat87].

## **7.1 Descripción de conjuntos paramétricos faciales.**

Como ya se ha analizado, la técnica de la parametrización es el método más deseado para generar y controlar modelos complejos articulados, no obstante, pocas formas de vida pueden ser determinadas por parámetros precisos. Árboles y otras formas generadas recursivamente parecen ser los únicos objetos que pertenecen a tales conjuntos, y consecuentemente ellos pueden ser creados a partir de un pequeño kernel de datos. Desafortunadamente la naturaleza inherente de la cara no permite la formación de tales criterios discretos, donde la descripción de una clase sin limitaciones, pudiera parecer muy vaga y regularmente conlleva una discusión en las imágenes resultantes.

Resulta muy difícil extraer los parámetros faciales necesarios para las caras reales. Los músculos faciales individuales debajo de la piel no han sido medidos con exactitud. El trabajo del Siglo XIX hecho por el fisiólogo Duchenne [Duc62], quien aplicó corriente eléctrica a cabezas frescamente guillotizadas para observar las contorsiones faciales. Mas tarde también aplicó las mismas técnicas a viejos reclusos de casas de beneficencia para crear expresiones artificiales, y como él explica, una multitud de procesos unidos para producir lo que nosotros instintivamente reconocemos como una expresión.

En las investigaciones hechas por Summerfield [Sum83] sobre la percepción de medir los movimientos articulatorios visibles de la cara usando técnicas de cintas de video, se encontraron tres principales líneas a seguir. En primer término, se requiere definir un "frame" maestro con el cual se puedan medir los movimientos, por llamarlo así un "frame" neutral sin movimientos. En segundo término, los movimientos de los articuladores primarios tales como los labios y la mandíbula deben estar separados de los efectos de los movimientos de la cara. En tercer término, las medidas deben ser sensitivas, relativas al tamaño de la cara.

El trabajo significativo de Ekman y Friesen [EK78], psicólogos de la comunicación no verbal, crearon el Sistema FACS (Capítulo 2), el cual es un medio ambiente basado en notación que determina los estados emocionales de la distorsión facial visible. Los músculos individuales, o grupos pequeños de músculos, se describen como unidades de acción que distorsionan el tejido de la piel. Esto parece ser la mejor técnica para la extracción de parámetros faciales útiles para la síntesis por computadora. Las 46 unidades de acción facial (Capítulo 2) son independientes y pueden tomarse en cuenta para varios cientos de combinaciones de músculos. Ekman y Friesen describen seis categorías universales: tristeza, enojo, alegría, miedo, disgusto y sorpresa (Capítulo 4). Cada una de estas usa múltiples combinaciones de las unidades de acción. Por ejemplo, una actividad de la parte superior de la cara opera con la AU1 (Capítulo 2) y provoca el levantamiento de la parte interna de la ceja por contracción del músculo frontal interno. La AU9 (Capítulo 2) es usada para generar el conocido “gesto de la nariz”, activando el levator labii superioris alunque nasi, el cual causa la dilatación de las fosas nasales, la torcedura de la piel alrededor de la parte superior de la nariz y en algunas ocasiones también levanta el labio superior.

La presente tesis tiene como objetivo, el modelar las expresiones faciales descritas por Ekman y Friesen [EK78] usando FACS para validar los resultados, basándose principalmente en el manejo de músculos individuales, o grupos de músculos, y parámetros particulares que permanecen consistentes entre una cara y la próxima, en la misma forma que FACS es universal a través de un espectro de tipos faciales [Wat87].

## **7.2 Factores que determinan el modelado de los músculos faciales.**

Los músculos asociados a cualquier expresión facial, son músculos voluntariamente subcutáneos, y en general ellos se originan en el hueso de la cabeza, y se insertan en la piel (Capítulo 3).

Los músculos pueden ser definidos de acuerdo a la orientación de la fasciculi (fibra individual del músculo), y en base a ello pueden ser paralelos/lineales, oblicuos o relativamente espiralizados hacia la dirección de su torcedura en sus ligas. Hay una variedad de estos tipos de músculos en la cara y pueden ser divididos en la parte superior de la cara o la inferior.

La base principal de muchos de los músculos faciales, estiba en el determinar que una de las terminaciones de un músculo lineal tiene una liga al hueso, que permanece estática, mientras que la otra terminación es encuentra en el tejido suave de la piel.

En la parte baja de la cara hay cinco principales grupos y son los siguientes:

- **Altibajos, que mueven la cara hacia las cejas y conversamente hacia la barba.**
- **Aquellos que se contraen horizontalmente hacia los oídos y conversamente hacia la línea del centro de la cara.**
- **Músculos oblicuos, que se contraen en una dirección angular a los labios, arriba y hacia afuera de los huesos de las mejillas.**
- **Los orbitales, que son de naturaleza circular o elíptica, y corren alrededor de los ojos y boca.**
- **Los músculos hoja, que llevan a cabo diversas acciones, particularmente sobre las zonas temporales y los músculos plastina los cuales se extienden hacia abajo en el cuello.**

**Los músculos faciales superiores son responsables del cambio de apariencia de las cejas, la frente y los párpados superiores e inferiores de los ojos.**

Los músculos de la boca tienen la interacción más compleja. El principal músculo es el obicularis oris (Capítulo 3) el cual es un músculo esfínter sin ningún hueso como liga. Adicionalmente las fibras profundas del músculo buccinator (Capítulo 3) se entrecruzan en la parte alta y baja del labio y continúan alrededor de la cara hacia el punto opuesto de la liga. M Levator, Labii Superioris y Alenque Nasi (Capítulo 3), son tres músculos que se unen desde arriba. Los músculos más profundos como el M Buccinator (Capítulo 3), se une en el modiolus (nodo principal de la boca) y se contrae horizontalmente. En la parte baja, el M Depressor, Anguli Oris, M Depressor Labii Inferioris y Mentalis, todos ellos se contraen oblicua y verticalmente.

Es evidente que la piel, estando soportada por hueso y múltiples capas de músculo, produciendo literalmente cientos de combinaciones de movimientos. Lo que se requiere no es la simulación exacta de neuronas, músculos y juntas, pero si se requiere un modelo con pocos parámetros dinámicos que emulen las principales características faciales.

Definiendo la superficie de la piel como una malla donde cada nodo tiene un grado finito de movilidad, los principales factores que determinan la movilidad nodal son los siguientes:

- La fuerza flexible del músculo y la piel
- Proximidad del músculo nodal a la liga
- Profundidad del tejido en el nodo y la proximidad al hueso
- Las cotas elásticas del tejido relajado, y la interacción de otros músculos.

Los desplazamientos físicos de los nodos faciales, especialmente alrededor de la boca, han sido medidos por Summerfield [Sum83] y sus resultados indican que los desplazamientos raramente exceden de 25mm durante la articulación.

La representación basada en la estructura sugerida por Platt y Badler [PB81], simula puntos en la piel la cual es distorsionada alrededor de un ovoide. Los arcos conectan puntos con sus vecinos, así que un movimiento de

la piel afecta la posición de sus vecinos, parecida a la forma de una red de resortes. Cuando una fuerza  $F$  es aplicada a un nodo  $p$  el cambio en la región es calculada por:

$$p' = F/k$$

donde

$k$  = suma de las constantes de resorte en tal punto.

La interacción continúa hasta que una fuerza se propague fuera del punto inicial a través de la cara. La simulación de Platt y Badler [PB81] es efectiva, pero requiere modelos faciales específicos para operar los puntos de ataduras, para fijar los músculos al hueso y la piel. Esto requiere información acerca de la longitud y elasticidad, para ser determinado antes de la interacción.

Con todas las formas de los músculos es evidente que ellos tienen una gran complejidad estructural en tres dimensiones, además de estar dotados con viscosidad, elasticidad y otras propiedades mecánicas que se perciben en el desplazamiento de la piel. Solamente una proporción de la fuerza es efectiva a lo largo de la línea de contracción, especialmente cuando las fibras se hacen más oblicuas en relación al nodo de liga. Esto puede ser determinado desde la longitud de la fibra del músculo  $X$  y el coseno del ángulo de liga de las fibras musculares al tendón o superficie del tejido, dando esto una indicación general del desplazamiento del tejido.

Tomando en cuenta que la elasticidad de la piel varía con la edad, la piel joven tiene una alta elasticidad, en relación a la piel madura, siendo este también un factor que debe ser contemplado en el modelo muscular.

### **7.3 El mecanismo de los músculos.**

Los músculos son los principales motivadores de la expresión facial de tal forma que cuando un músculo se contrae, se visualiza en conjunto con sus ligas, más precisamente, esta acción involucra la visualización del

movimiento de la miel y el punto de la superficie esquelética que liga al músculo.

Las fibras musculares son de muchos tamaños, usualmente se estiran para darle toda la longitud que un músculo puede tener, siendo de 10 a 100 micros en diámetro. Estas fibras están compuestas de pequeños elementos llamados myofibrilis y se encuentran a lo largo de toda la fibra. Cada myofibril tiene 1 o 2 micros de grosor y una simple fibra muscular contiene cientos de varios miles de myoifibrilis.

A lo largo del eje longitudinal de cada myofibril, se encuentra un patrón repetitivo de filamentos llamados sarcomeres. Cada sarcomere es la unidad funcional que participa en la contracción del músculo. Los sarcomeres son cortos, con 1 o 2 micros de largo, se contraen desarrollando tensión a lo largo de su eje longitudinal.

En el nivel más fundamental dos proteínas contractivas, actin y myosin, forman los filamentos dentro de un sarcomere. En las secciones cruzadas, ellos son empaquetados hexagonalmente con seis filamentos delgados de myosin que rodean a cada filamento actin. Una teoría acerca del deslizamiento de los filamentos en la contracción de los músculos fue desarrollada por Huxley [HN54] en 1954, quien observó cuidadosamente los músculos de la rana. Esencialmente, él observó que durante la contracción de los músculos, los filamentos actin se visualizan en una banda, entre los bastoncitos de la proteína myosin, y en efecto, los músculos se comportan armoniosamente como resortes de tal manera que la fuerza generadas por ellos es una función de longitud y nivel de activaciones neutrales [BCH82]. Por lo tanto, si a los músculos les atribuimos un comportamiento como el de un resorte aunado con cualidades de viscosidad, un desplazamiento del músculo se considera proporcional a la fuerza y rigidez del mismo, siendo esta conclusión un resultado de las leyes de Hooke y Newton en un contexto biológico.

## **7.4 El proceso de los modelos musculares.**

Las características anatómicas y mecánicas descritas para los músculos, muestran la complejidad para simularlas realmente en un sistema, pero en nuestro modelo de estudio se intentó plasmar. Un enfoque es ignorar muchos de los atributos físicos y simplemente imitar las características primarias de los desplazamientos del tejido facial mediante una función geométrica de distorsión, siendo este proceso más rápido computacionalmente y es una solución barata que produce resultados razonables.

Lo que a continuación describiremos son los tres tipos primarios de músculos: lineal, esfínter, y hoja [Wat87]. Los músculos lineales y hoja son descritos como músculos vectoriales lineales, mientras que el músculo esfínter se describe como una contracción elíptica.

### **7.4.1 Vectores musculares.**

El modelo muscular fue diseñado para ser "natural" tanto como es posible y para ello los nodos clave de liga a los músculos fueron medidos sobre un número de caras, para establecer los extremos del desplazamiento y la máxima y mínima zona de influencia (Sección 7.2). La mayor dificultad fue que solamente los puntos en la superficie podrían ser medidos y el rango de las características de la superficie varía en una gran parte de cara a cara. Sin embargo, se pudo establecer que los desplazamientos nodales raramente exceden los 25 mm, siendo el desplazamiento mas largo en los grupos de la boca. La zona de influencia depende del grado de contracción y, usando FACS como una base, se estableció que la variación del ángulo va de 15 a 160 grados, creando una zona convexa [Wat87].

Tomando en cuenta el concepto de vectores musculares, se establece que la zona de influencia en la forma más simple puede ser observada como circular,

y la caída se conforma a lo largo del radio en la malla de tres dimensiones como se ilustra en la Figura 7.1 [Wat87]. Los vectores musculares se describen con dirección y magnitud, ambas en dos o tres dimensiones, donde la dirección es hacia el punto de liga sobre el hueso; y la magnitud que es cero en el punto de liga, se incrementa al máximo en el otro punto de inserción, que es la piel.

Los vectores musculares, como su nombre lo sugiere, tienen su dirección principal e inserción en las fibras musculares, mientras que los músculos reales consisten de muchas fibras individuales y en el modelo computacional solamente se ha manejado una única dirección y liga.

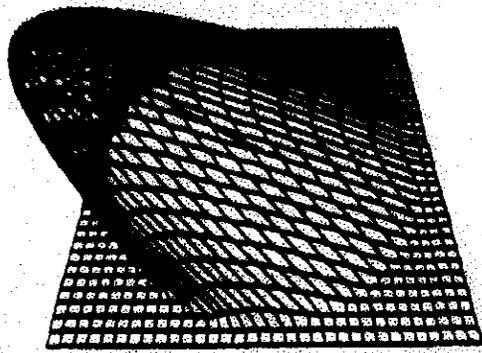


Figura 7.1 Desplazamiento de un vector muscular en una malla tridimensional con una caída de coseno circular.

El comportamiento del músculo lineal, esfínter y hoja, es el resultado de contracciones fibrosas musculares de bajo nivel, y por lo tanto, los requerimientos del modelo muscular es calcular el desplazamiento de todos los nodos sobre la superficie después de un determinado movimiento, de tal forma que se emulen las deformaciones de la piel real.

## 7.4.2 Músculo lineal.

Un músculo lineal o también llamado paralelo, está rodeado de piel, la cual se contrae hacia el nodo estático de la liga sobre el hueso, hasta que la fuerza quede anulada determinado esto una distancia finita de contracción.

Para el músculo lineal es necesario calcular el tejido adyacente, tal y como el nodo  $p$  es afectado por una contracción del vector muscular (Figura 7.2).

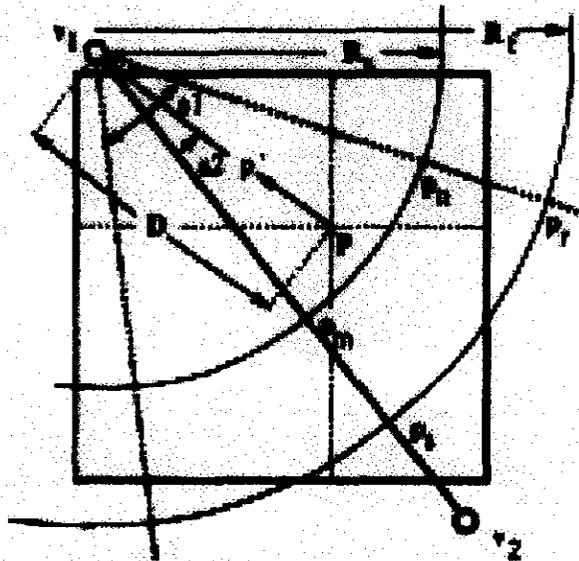


Figura 7.2 Modelo de vector muscular lineal.

La Figura 7.2 describe el vector muscular en dos dimensiones. Por aplicar los mismos principios de la tercera dimensión, el punto  $p(x,y,z)$  es desplazado a  $p'(x',y',z')$ .

También podemos observar que en la Figura 7.2  $V_1$  y  $V_2$  son dos puntos localizados en el espacio de dos dimensiones, donde  $R_1$  representa el comienzo del radio de caída como una distancia real desde  $V_1$ , mientras que  $R_2$  representa el término de la caída del radio, como una distancia real desde  $V_1$ .

Dado cualquier punto  $p(x,y)$  localizado en un nodo de la malla, dentro de la zona  $V_1P_rP_s$  es desplazado hacia  $V_1$  a lo largo del vector  $PV_1$ , esto genera al punto  $p'(x',y')$  donde:

$$x' = f(K.A.R.x)$$

$$y' = f(K.A.R.y)$$

donde:

$K$  es la constante muscular de resorte (Constante de elasticidad)

$\Omega$  es la zona máxima de influencia

$D$  es el vector distancia  $V_1P$

El factor de desplazamiento angular  $A$  es definido como:

$$A = \cos(\mu/\pi \cdot \pi/2)$$

donde  $\mu$  es el ángulo entre  $V_1V_2$  y  $V_1P$

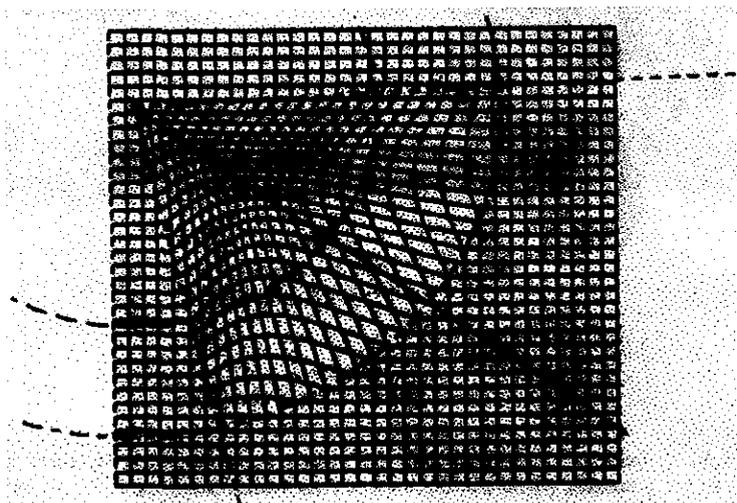
El factor de desplazamiento  $R$  esta definido como:

$$R = \cos((1-D/R_0) \pi/2)$$

cuando el punto  $p$  inside en la zona definida por  $V_1P_nP_m$ , y

$$R = \cos((D - R_0)/(R_f - R_0) \pi/2)$$

cuando el punto  $p$  inside en la zona definida por  $P_nP_rP_sP_m$



**Figura 7.3 Interpolación no lineal, simulando la acción del músculo lineal.**

La Figura 7.3 ilustra la interpolación de la función coseno, mientras que la Figura. 7.4 muestra el coseno incrementado a una potencia para decrecer la zona de elasticidad de la malla.

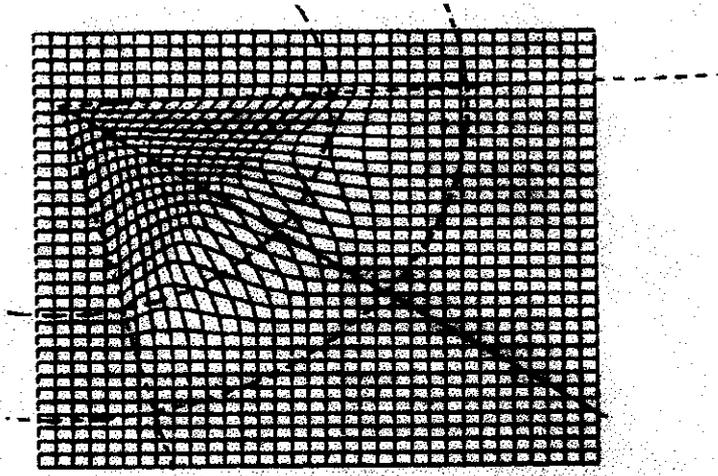


Figura 7.4 Función coseno incrementado a una potencia.

### 7.4.3 Músculo esfínter.

A diferencia del modelo para el músculo lineal, un músculo esfínter se contrae alrededor de un punto imaginario, de esta forma, la superficie que se encuentra alrededor de la boca se visualiza como si se presionará la parte superior de una bolsa hecha con resortes como lo muestra la Figura 7.5.

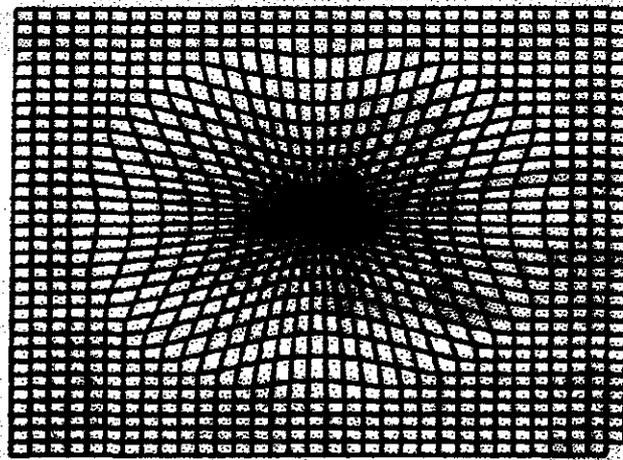


Figura 7.5 Músculo esfínter.

Esencialmente, el músculo esfínter es aparentemente elíptico, y puede manejarse como un elipsoide paramétrico con sus correspondientes ejes mayor  $l_x$  y menor  $l_y$ , así como su epicentro imaginario  $c$ , como lo ilustra la Figura 7.6.a.

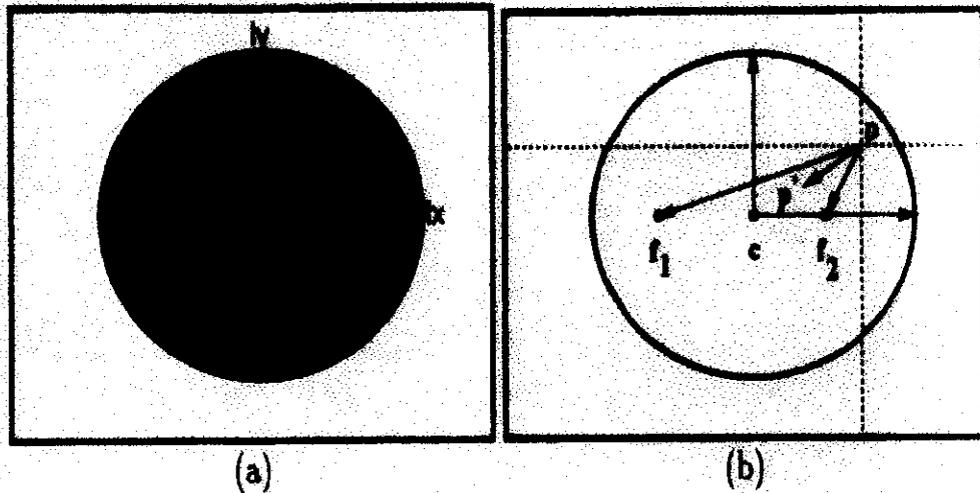


Figura 7.6 Descripción de la zona de influencia del músculo esfínter.

Para calcular el desplazamiento de un nodo arbitrario  $p$  al nodo  $p'$  como se observa en la Figura 7.6.b, se emplea la siguiente ecuación:

$$f = 1 - \frac{\sqrt{l_y^2 p_x^2 + l_x^2 p_y^2}}{l_x l_y}$$

Ecuación de la elipse.

La Figura 7.7 ilustra la contracción de una influencia muscular esfínter con incremento en la contracción.

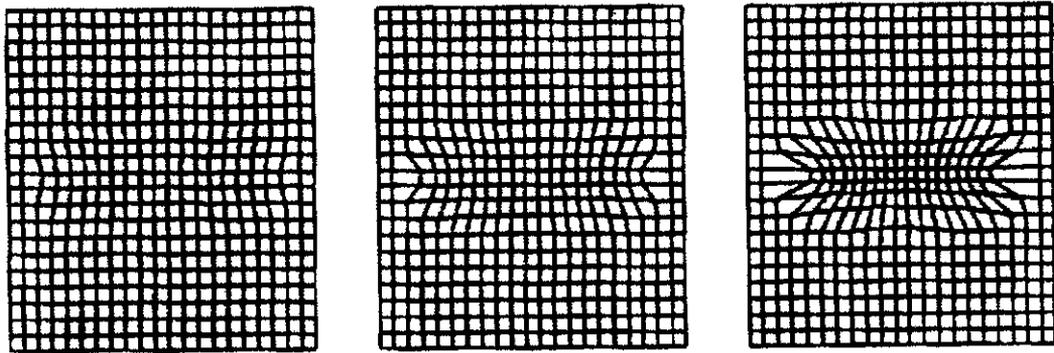


Figura 7.7 Secuencia progresiva de la contracción del músculo esfínter.

#### 7.4.4 Músculo hoja.

El músculo hoja está compuesto de filamentos fibrosos los cuales se extienden en paquetes grasos. Un ejemplo de este tipo de músculos es el frontalis, el cual se extiende sobre la frente y trabaja principalmente en el levantamiento de las cejas.

Mientras que un músculo lineal tiene un componente radial, un músculo hoja no se origina en un punto, ni se contrae hacia un determinado nodo, por lo tanto, este tipo de músculo es una serie de filamentos fibrosos casi paralelos sobre un área, como se ilustra en la Figura 7.8.

El cálculo del desplazamiento de un nodo  $p$  al nodo  $p'$  se define como:

$$d = \begin{cases} \cos\left(1 - \frac{L_t}{R_f}\right); & \text{si } p \text{ inside en el sector ABCD} \\ \cos\left(1 - \frac{L_t}{R_f} * \left(\frac{V_i}{V_f} + V_f\right)\right) & \text{si } p \text{ inside en el sector CDEF} \end{cases}$$

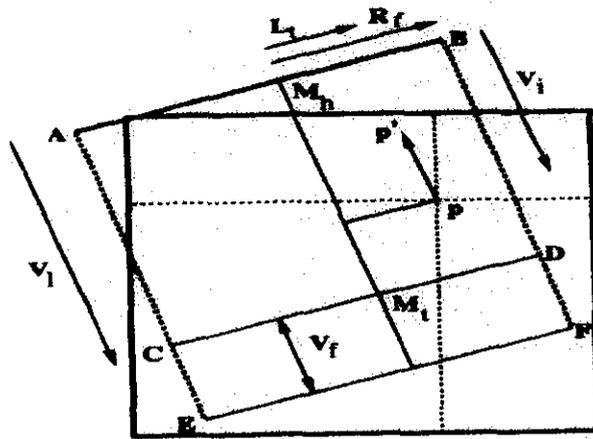


Figura 7.8 Zona de influencia del músculo hoja.

La Figura 7.9 nos muestra una influencia muscular tipo hoja, con incremento en la contracción.

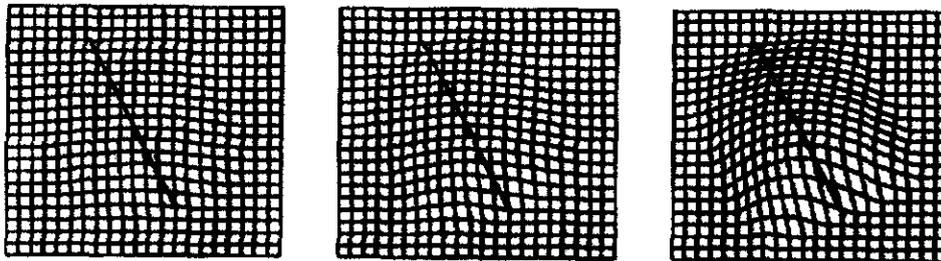


Figura 7.9 Secuencia progresiva del incremento en la contracción para el músculo hoja.

## 7.5 Rotación de la mandíbula.

Sin lugar a duda, la boca se abre por la rotación de los vértices de la parte baja de la cara alrededor de un eje pivote sobre la mandíbula. La rotación de la mandíbula es necesaria para la boca y generar varias posiciones para el

habla y la expresión. Los vértices que se encuentran en la mandíbula son rotados, en base a la totalidad de una cantidad especificada en el parámetro de rotación, no obstante, la rotación se aplica a aquellos puntos que se encuentran arriba de la mandíbula y debajo de la boca y la cantidad en el parámetro de rotación disminuye gradualmente en los puntos más altos de la cara. Así que lo que visualizamos es que mientras que el labio inferior rota, el labio superior no lo hace; y por lo tanto la boca se abre.

Los vértices localizados entre las líneas entre cortadas en la Figura 7.10, son los vértices afectados por la rotación de la mandíbula. El eje de rotación de la mandíbula es paralelo al eje de las Y's y pasa a través del punto pivotal indicado sobre la mandíbula. El labio inferior, los dientes, y las comisuras de la boca se rotan en conjunto con la mandíbula, dando el efecto de abrir la boca si se realiza una rotación positiva de la mandíbula.

Los puntos que se encuentran en el centro del labio inferior son rotados con la mandíbula, asimismo, otros puntos localizados en el labio inferior son rotados con cantidades que van disminuyendo hacia las comisuras de la boca. Los vértices más cercanos a las esquinas de la boca se rotan en cantidades muy pequeñas, de esta forma las comisuras de la boca son rotadas por una tercera parte de la rotación total de la mandíbula. Este esquema permite observar a la boca de manera natural y con una forma oval.

Otro parámetro permite subir y bajar el labio superior, teniéndose un efecto de translación que va disminuyendo del centro hacia las comisuras de la boca. Los vértices del centro reciben el efecto total, mientras que los vértices de las esquinas no son afectados.

La boca puede variar en forma a raíz de una interpolación entre dos conjuntos de datos de expresión y este conjunto de datos representa dos extremos de expresión como por ejemplo lo es la sonrisa y una cara sin expresión, llamada expresión neutral.

Nuestro modelo en cuestión tiene varios parámetros que permiten la manipulación de la boca como lo es el factor de escalamiento utilizado para

controlar el ancho de la boca. También se cuenta con un parámetro de translación que permite que los labios se muevan hacia adelante, mientras que otro parámetro controla el grosor de los labios en las esquinas de la boca. Estos tres parámetros de translación son tomados en cuenta para mover la boca en las tres direcciones (X, Y, Z). Un parámetro de translación también se utiliza para apretar el labio inferior sobre el frente de los dientes.

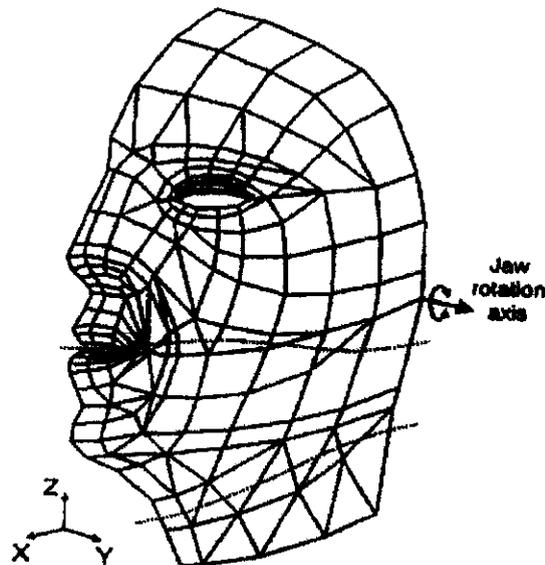


Figura 7.10 Vértices afectados por la rotación de la mandíbula.

Lo que ha sido presentado aquí es un modelo para los músculos de la cara que puede ser extendido a cualquier objeto no rígido y no es dependiente sobre la topología específica o red. Una combinación de técnicas parametrizadas y un modelo muscular se diseñó para llevar a cabo la ejecución de las articulaciones complejas en referencia a un sistema basado en la notación.

## Capítulo 8

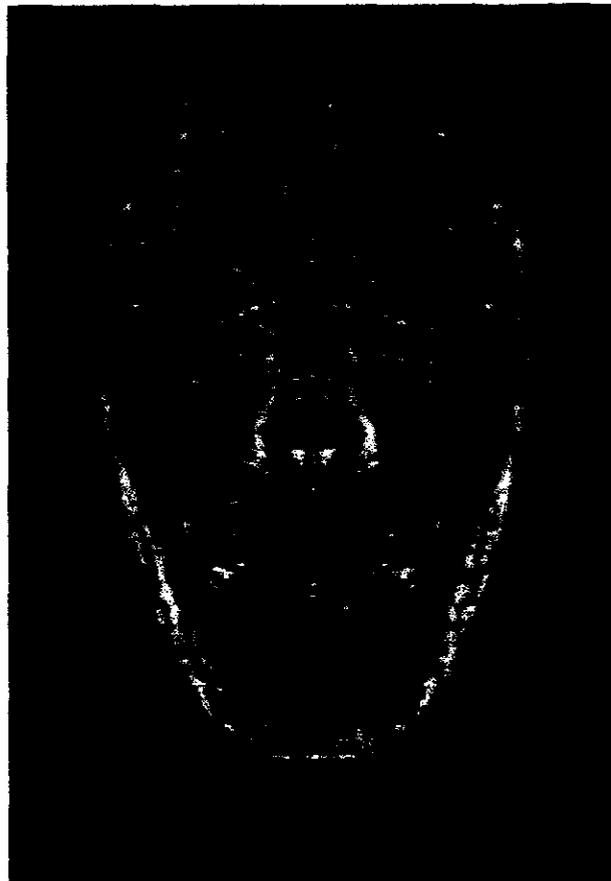
# Descripción del modelo computacional para los músculos faciales.

La estructura poligonal que se describió anteriormente genera un modelo aceptable desde el punto de vista del modelado de las topologías faciales, y fue adoptada en esta tesis para facilitar su uso. La naturaleza del modelo muscular permite un rango de libertad en la construcción poligonal, comprobándose que esto es importante en el modelado de las caras de la gente real, que requiere topologías específicas para propósitos de reconocimiento, más sin embargo resulta importante mantener una malla tan regular como sea posible para evitar intersecciones poligonales y obtener caras deformes cuando se maneja el modelo. Lo anterior puede remediarse incrementando la densidad del detalle poligonal donde se tienen muchas curvas. Adicionalmente, todas las caras necesitan ser trianguladas para mantener a los polígonos en el mismo plano y ser renderiandos.

La cabeza que se obtuvo fue modelada usando técnicas fotogramétricas y reflexiones alrededor del meridiano de la cara, y los músculos pueden operar

independientemente sobre ambos lados de la cara. Para la simplicidad del uso, las caras generadas por este modelo son simétricas para reducir el esfuerzo de tiempo-consumo de duplicación de datos.

La posición de los músculos se hizo por la identificación de nodos claves sobre la cara (Figuras 8.1 y 8.2) y relacionándolos al modelo computacional.



**Figura 8.1 Localización de los vectores musculares.**

El modelo se implementó con un programa que hace uso de la parametrización. Los parámetros se crean en los archivos de datos que controlan todos los músculos y la rotación de la mandíbula. El programa genera descriptores poligonales o vectoriales que pueden ser renderizados como se desee. 18 músculos fueron implementados en la topología facial,

representando aquellos que son requeridos por las unidades de acción de FACS. Cada músculo lineal cuenta con los siguientes parámetros:

- Zona de influencia                      ángulo en grados                       $\Omega$
- Caída de inicio                            distancia radial real                       $F_s$  (Fallstart)
- Caída de fin                                distancia radial real                       $F_f$  (Fallfin)
- Constante de elasticidad muscular                       $0 < K < 1$
- Elasticidad                                       $E \geq 1$

Parámetros ya mencionados en el modelo muscular descrito en el Capítulo 6.

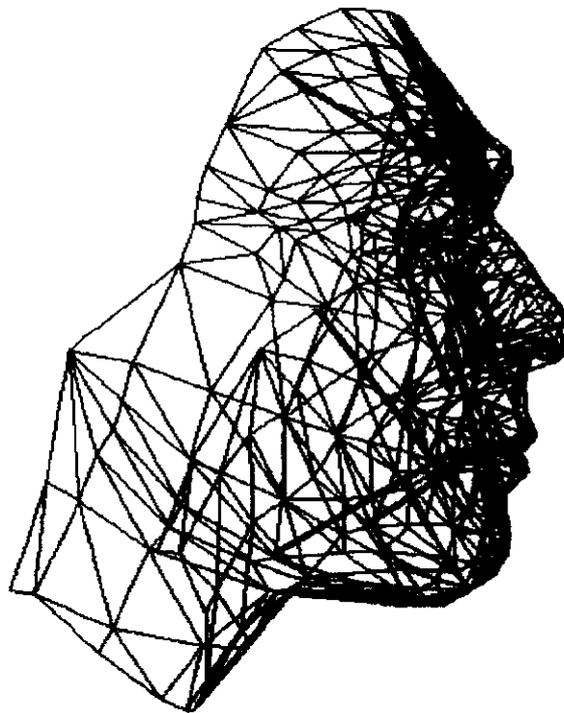


Figura 8.2 Vista lateral de la localización de los vectores musculares.

El programa que construye el modelo para la cara utiliza tres archivos, uno de datos de entrada, otro que articula la geometría de la cara por medio de músculos, y otro más que despliega los resultados de la ejecución. Los algoritmos del modelo muscular se describieron en los Capítulos 6 y 7.

El código usa el manejo de simples teclas para direccionar la cara y fue escrito en "C" usando comandos de despliegue de OpenGL. La geometría está

basada en una representación triangular discreta documentada en los archivos "head" y en los cuales simplemente se involucra la especificación de la parte baja y alta de cada músculo como un par de vectores en 3D.

## **8.1 Archivos de datos.**

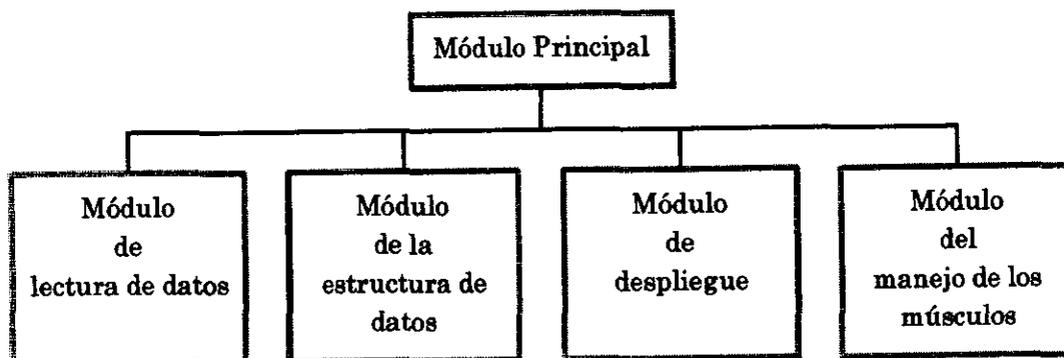
La lista de índices en el polígono proporciona los únicos índices en el archivo tridimensional dentro de la lista de nodos el cual construye a la geometría facial como una colección de polígonos triangulares que pueden generarse y desplegarse. Tenemos tres archivos de entrada básicos y son los siguientes:

- Archivo de datos de la cara.
- Archivo de índices del polígono.
- Archivo de datos del músculo.

El archivo de datos del músculo contiene una lista de descriptores musculares en la forma de parte baja y alta de un vector en 3 dimensiones, dos zonas de influencia, una zona angular, y un factor de sesgo muscular. En esta versión hay 18 pares de tipos de músculos: los zygomatic majors, oris angular depressor, porción interna de los principales frontales, porción media de los principales frontales, porción externa de los principales frontales, levator labii superioris alaeque nasi, levator anguli oris, y los ondulados supercilli (Capítulo 3).

Para el control del programa, se utilizan algunas teclas para controlar la manipulación de la cara, siendo los controles principales para la activación de un músculo individual. Por ejemplo, la tecla **a** progresivamente incrementa la activación del músculo actual, mientras que la tecla **A** progresivamente decrementa la activación del músculo actual. Para seleccionar otro músculo se usa la tecla **n** que permite recorrer toda la lista de músculos.

El código fuente básicamente está conformado por 5 módulos: un módulo de lectura de datos de la cara, un módulo de estructura de datos de la cara, un módulo de despliegue, un módulo para el manejo de los músculos y el módulo principal que controla al resto. A continuación se presenta el diagrama correspondiente:



La máquina en la cual se tiene la implementación es una Silicon Graphics Indigo 2.

## 8.2 Modelando las expresiones faciales universales.

Extensas investigaciones hechas por los psicólogos de la comunicación no verbal han establecido una categorización base de expresiones faciales, que son consideradas como genéricas en la raza humana (Capítulo 4).

FACS describe 46 unidades de acción o acciones musculares (Capítulo 2) que se pueden combinar y generar cientos de expresiones faciales posibles. Estas unidades de acción se usaron para construir bloques para el desarrollo de nuestro proceso facial muscular parametrizado y en las próximas secciones se describen las unidades de acción asociadas a cada expresión universal, así como los músculos que se movieron para generar la misma, y observar la

comparación con la cara sin expresión, es decir, con expresión neutral (Figura 8.3).



**Figura 8.3** Expresión *neutral*.



**Figura 8.4** Expresión de *tristeza*.

### **8.2.1 Tristeza.**

La *tristeza* (Figura 8.4) se genera por resistir el estrés, y el tiempo de duración es frecuentemente prolongado. En la *tristeza*, la porción interna de las cejas se visualiza levantada (AU1+AU2+AU4). Los ojos usualmente ponen la mirada hacia abajo y los párpados inferiores se levantan ligeramente. Las esquinas de la boca se dilatan hacia bajo (AU15).

Los músculos que se movieron para producir esta expresión son: angular depressor, inner labii nasi, lateral corigator y frontalis inner.

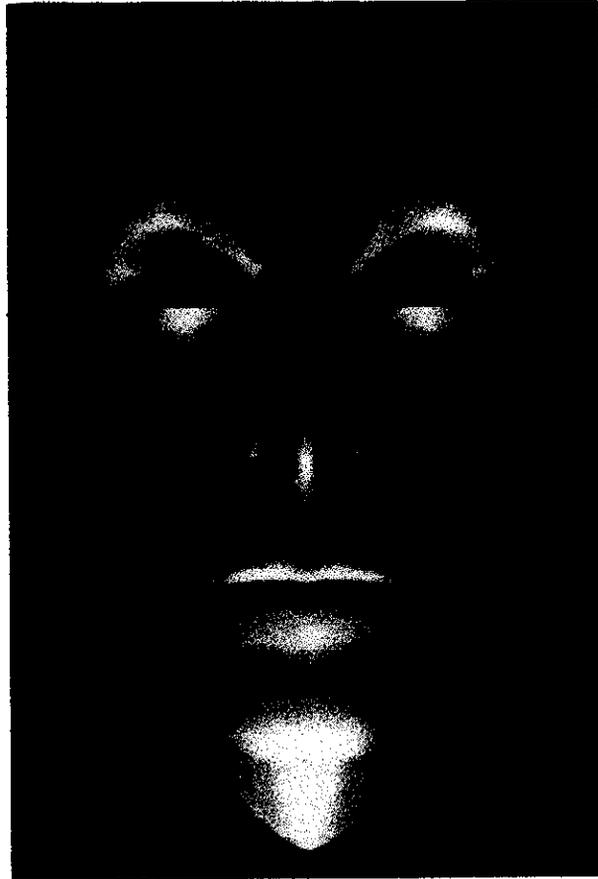


Figura 8.5 Expresión de *enojo*.

### 8.2.2 Enojo.

En el estado emocional de *enojo* (Figura 8.5), una persona se propone dañar o herir a otra persona. Las cejas se visualizan hacia abajo (AU1+AU4), mientras que los ojos fijan la vista de una forma penetrante con los párpados amplios (AU5). En la parte media de la cara, los bordes de la nariz pueden hacerse hacia arriba (AU10). En la región inferior de la cara hay dos tipos de movimiento diferentes: cerrar los labios duramente en contra de los dientes (AU24), o los labios separados dejando al descubierto a los dientes (AU25). Los músculos que se movieron para producir esta expresión son: angular depressor y frontalis inner.



**Figura 8.6** Expresión de *alegría*.

### **8.2.3** *Alegría*.

La *alegría* (Figura 8.6) es una emoción positiva y puede variar en cuanto a la intensidad, y va desde la alegría mediana hasta el éxtasis. En la parte superior de la cara los párpados son ligeramente presionados por las mejillas, las cuales se encuentran hacia arriba (AU6). La acción mas prominente es el de levantar las esquinas de los labios que extienden la boca ampliamente (AU12). Esta acción usualmente se encuentra combinada con dobleces profundos de nasolabial (AU11).

Los músculos que se movieron para producir esta expresión son: zygomatic major y labii nasi.



Figura 8.7 Expresión de *miedo*.

#### 8.2.4 Miedo.

El *miedo* (Figura 8.7) varía en intensidad y va desde la aprensión hasta el terror. En la parte superior de la cara, las cejas aparecen levantadas y enderezadas. Los ojos permanecen tensos durante el miedo, con el párpado superior levantado y el párpado inferior permanece tenso. En la región media de la cara, las esquinas de los labios pueden visualizarse hacia abajo (AU20), apretando los labios en contra de los dientes. En la parte inferior de la cara, los dientes usualmente son expuestos por la presión de los labios (AU15 y/o AU16). Los músculos que se movieron para producir esta expresión son: *frontalis inner* y *angular depressor*.

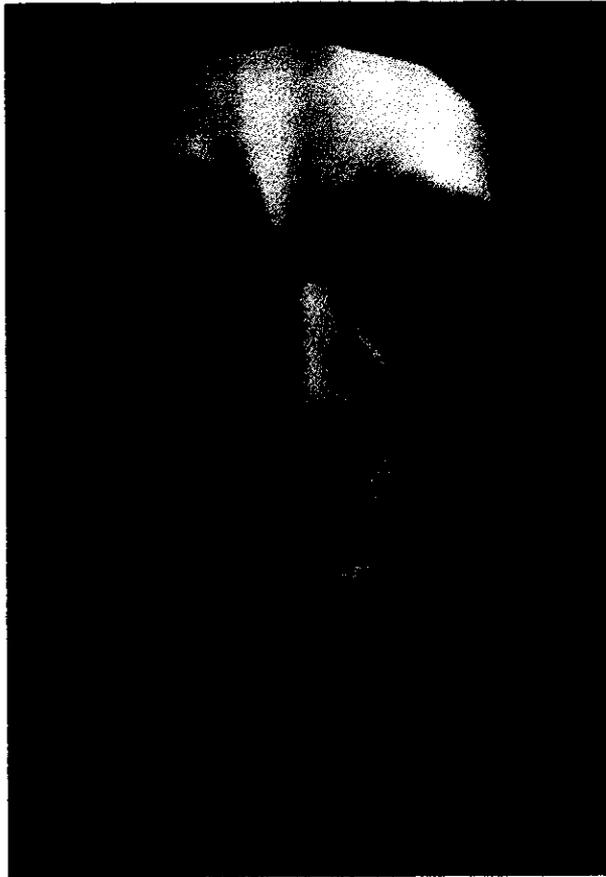


Figura 8.8 Expresión de *disgusto*.

### 8.2.5 Disgusto.

El *disgusto* (Figura 8.8) es una expresión de antipatía o repugnancia, como el deseo de escupir algo. En la parte superior de la cara se pueden bajar las cejas (AU4); sin embargo, las señales primarias para esta expresión se pueden encontrar en la parte media de la cara alrededor de la nariz y el labio superior. Usualmente el labio superior se levanta (AU9 y/o AU10), visualizándose los bordes de la nariz. El labio inferior puede bajarse o levantarse (AU17). Los músculos que se movieron para producir esta expresión son: *labii nasi*, *frontalis inner* e *inner labii nasi*.

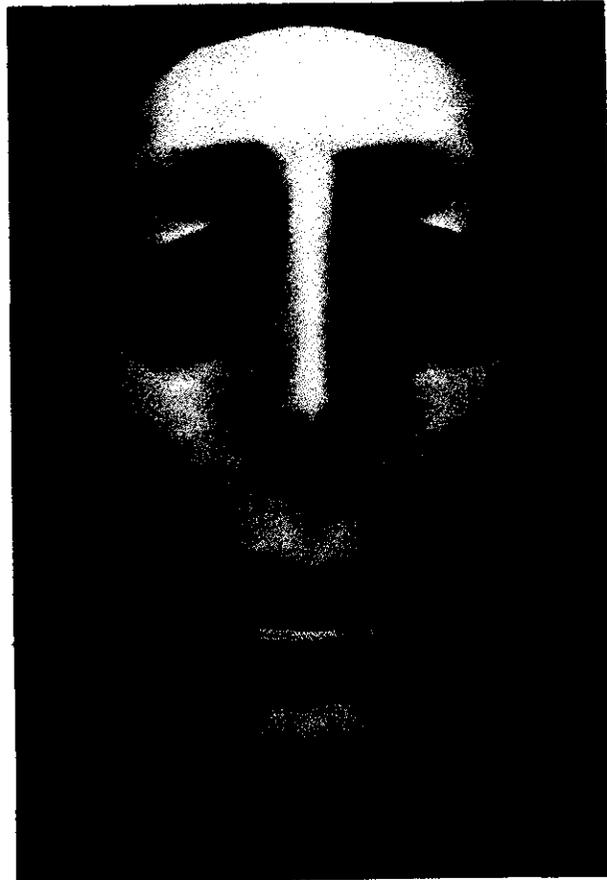


Figura 8.9 Expresión de *sorpresa*.

### 8.2.6 Sorpresa.

La *sorpresa* (Figura 8.9) es quizás la expresión más breve, dado que en la parte superior de la cara solamente las cejas se curvan y levantan (AU1+AU2). No hay acciones musculares distinguidas en la región media de la cara. La mandíbula se deja caer, moviendo los labios y los dientes. En la sorpresa extrema, se abre mas ampliamente la mandíbula.

Los músculos que se movieron para producir esta expresión son: rotación de la mandíbula, labii nasi, frontalis inner y frontalis outer.

## Capítulo 9

# Conclusiones.

Las expresiones faciales humanas han sido objeto de investigaciones por décadas y los trabajos a futuro que se plantean en el modelado y animación de las expresiones no solamente estarán basados en la graficación por computadora sino también involucrarán otras disciplinas tales como la psicología y la inteligencia artificial para proporcionar modelos del cerebro y percepción, que posibilitarán la generación de caras artificiales con algún nivel de comportamiento.

El presente trabajo de tesis es el resultado de sintetizar y modelar expresiones faciales universales con base en un modelo muscular sustentado en los movimientos anatómicos de los músculos de la cara.

El modelo computacionalmente es una malla que cuenta con 256 vértices conectados por 238 polígonos, que definen la topología que permitió generar las expresiones universales, identificando en esta malla de vértices y polígonos, regiones específicas que contribuyen primordialmente en el movimiento de los músculos como son mejillas, boca y frente, así como el movimiento de la mandíbula.

El modelo muscular toma en cuenta las características que tiene la piel en cuanto a su elasticidad, y permite manejar diferentes partes de la malla como

materiales elásticos (resortes), así, para obtener el movimiento de los vértices asociados a la parte de la mejilla (músculo lineal) se trabaja como un resorte lineal que se contrae de acuerdo a la ecuación descrita en el Capítulo 7. Asimismo, para obtener el movimiento de los vértices asociados a la parte de la boca (músculo esfínter) se identifica como una bolsa de resorte que se contrae en un punto central imaginario, correspondiendo este comportamiento a un elipsoide paramétrico con su eje mayor y menor (Capítulo 7). De igual forma, para obtener el movimiento de los vértices asociados a la parte de la frente (músculo paralelo) se identifica su comportamiento parecido a la parte de la mejilla, pero aquí no se cuenta con el componente radial, dado que el movimiento correspondiente a esta parte de la cara es en forma paralela (Capítulo 7). Por último, el movimiento de la mandíbula se lleva a cabo, también identificando los vértices que debería moverse para tal efecto, y aplicándoles la matriz de rotación correspondiente (Capítulo 7).

Este sistema es básico para desarrollar aplicaciones como son la comunicación, enseñanza, medicina, criminología y como apoyo a las personas con desórdenes en el audio y el habla e interfaces para usuario.

Como ya se ha mencionado en el presente trabajo, Ekman y Friesen establecieron seis expresiones universales, más sin embargo otros como Russel plantea que existen niveles de expresiones faciales y que éstas y sus niveles están asociados a la cultura de cada individuo, lo cual establece un estudio más profundo en el modelado facial.

Sin lugar a dudas el modelado y la animación facial han progresado significativamente por todas las investigaciones que se han llevado a cabo y la gran variedad de algoritmos y técnicas con que se cuenta en la actualidad, lo cual ha hecho posible crear caras que se miren cada vez más realistas, más sin embargo aún se requiere de mayor exactitud y menor consumo de tiempo para generar modelos de la cara con un alto grado de detalle humano.

Las imágenes generadas en el presente trabajo permiten visualizar el movimiento muscular de la cara; para mejorar la generación de la misma y hacerla aún más real, podemos aplicar el método de mapeo de texturas ya que los trabajos de modelado facial que se conocen hoy en día y que han sido generados con este método, proporcionan superficies naturales que cuentan con una estructura detallada visible al ojo humano y permiten conocer gran cantidad de información acerca de la naturaleza de la superficie facial.

## Bibliografia.

- [BCH82] E. Bizzi, W Chapple, and N. Hogan. *Mechanical proprieties of muscle*. TINS, 5(11):395-398, November 1982.
- [Cyb90] Cyberware Laboratory Inc. *4020/RGB 3D Scanner with Color Digitizer*. Monterey, CA, 1990.
- [Dar72] C. Darwin. *Expression of the Emotions in Man and Animals*. John Murray, London, 1872.
- [Duc62] G. B. Duchenne. *The Mechanics of Human Facial Expression*. Jules Renard, Paris, 1862.
- [Duc90] G. B. Duchenne. *The Mechanics of Human Facial Expression*. Cambrige University Press, New York, 1990.
- [EF78] P.Ekman and W. V. Friesen. *Manual for the Facial Action Coding System*. Consulting Psychologist Press, Inc., palo Alto, CA, 1978.
- [Ekm89] P. Ekman *The argument and evidence about universal in facial expressions of emotion*. In H. Wagner and A. Mosntead, editors, handbook of Social Psycholophysiology, pages 143-146. John Wiley, Chichester, 1989.
- [Fai90] G. Faigin. *The artist's Complete Guide to facial Expressions*. Watson-Guptill, New York, 1990.
- [Gas88] E. Gasper. *Getting a head with hyperanimation*. Dr. Dobb's Journal of Software Tools 13(7):18, 1988
- [Hjo70] C. H. Hjortsjo. *Man's face and Mimic Languaje*. Studentliterature, Lund, Sweden, 1970.

- [HN54] A. F. Huxley and R. Niedergerke. *Structural changes in muscle during contraction*. *Nature*, 173:971-973, 1954.
- [Kle88a] Kleiser-Walczak. *Sextone for President*, Short Animated Film. Hollywood, CA, 1988.
- [Kle88b] Kleiser-Walczak. *Don't Touch Me*, Short Animated Film. Hollywood, CA, 1988.
- [MTT87] N. Magnenat-Thalmann and D. Thalmann, editors. *Synthetic Actors in Computer-Generated 3D Films*. Springer-verlag, Tokyo, 1987.
- [Par72] F. I. Parke. *Computer generated animation of faces*. Master's thesis, University of Utha, salt lake City, Tu, June 1972. UTEC-CSc-72-120.
- [Par74] F. I. Parke. *A Parameteric Model for Human Faces*. PD thesis, University of Utha, Salt lake City, TU, December 1974. UTEC-CSc-75-047.
- [Par82] F. I. Parke. *Parameterized Models for Facial Animation*. *IEEE Computer Graphics and Application*, 2(9):61-68, November 1982.
- [Par91] F.I. Parke. *Techniques for facial animation*. In N. Magnenat-Thalmann and D. Thalmann. Editors, *New Trends in Animation and Visualization*, pages 229-241. John Wiley, Chichester, 1991.
- [PB81] S. M. Platt and N. I. Badler. *Animating facial expressions*. *Computer Graphics*, 15(3):245-252, 1981.
- [Pol87] Polhemus Navigations Sciences. *3Space Isotrack Users Manual*. Colchester, VT, 1987.
- [PW96] F. I. Parke and K. Waters. *Computer Facial Animation*. A K Peters, Ltd. Wellesley, MA, 1996.
- [Rus94] J. Russel. *Is There Universal Recognition of Emotion from Facial Expression? A Review of Cross-Cultural Studies* *Psychological Bulletin* 115(1)102-141, 1994.
- [Sum83] Q. Summerfield. *Analysis, synthesis and perception of visible articulatory movements*, Academic Press Inc. 1983.

- [Sut74] I. E. Sutherland. Three-dimensional data input by tablet. *Proceedings of the IEEE*, 62:453-461, 1974.
- [TV91] D. Terzopoulos and M Vasilescu. Sampling and reconstruction with adaptive meshes. *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR-91)*, Lahaina, HI, 70-75, June 1991.
- [TW90] D. Terzopoulos and K. Waters. *Physically-based facial modeling, analysis, and animation*. *J. of Visualization and Computer Animation*, 1(4):73-80, March 1990.
- [Wat87] K. Waters. *A muscle model for animating three-dimensional facial expression*. *Computer Graphics (SIGGRAPH'87)*, 21(24):17-24, July 1987.
- [WT91] K. Waters and D. Terzopoulos. *Modeling and animating faces using scanned data*. *J. of Visualization and Computer Animation*, 2(4):123-128, October-December, 1991.
- [WMW86] b Wyvill, C. McPheeters and g. Wyvill. *Animating soft objects*. *Visual Computer*, 2(4):235-242, August 1986.
- [Woo86] J.R. Woodwark. *Blends in geometric modeling*. In *Proc. 2<sup>nd</sup> IMA Conf. on the Mathematics of Surfaces*. September 1986.

## Apéndice

# Estructura facial.

El presente trabajo principalmente esta basado en la literatura que hay acerca de la animación facial; y en cuanto a la anatomía de la cara, esta se ha conjuntado para explicar las bases teóricas de las expresiones faciales apoyándonos en mucha de la información generada a partir de los trabajos hechos por Frederic Parke y Keith Waters.

El modelo que permitió realizar ésta tesis cuenta con 256 puntos, también llamados vértices o nodos, la topología esta definida por 238 polígonos y cuenta con una lista de 18 pares de músculos que a continuación se presentan:

**Left\_Zygomatic\_Major**

**Rigth\_Zygomatic\_Major**

**Left\_Angular\_Depressor**

**Rigth\_Angular\_Depressor**

**Left\_Frontalis\_Inner**

**Rigth\_Frontalis\_Inner**

**Left\_Frontalis\_Major**

**Rigth\_Frontalis\_Major**

**Left\_Frontalis\_Outer**

Righth\_Frontalis\_Outer

Left\_Labi\_Nasi

Righth\_Labi\_Nasi

Left\_Inner\_Labi\_Nasi

Righth\_Inner\_Labi\_Nasi

Left\_Lateral\_Corigator

Righth\_Lateral\_Corigator

Left\_Secondary\_Frontalis

Righth\_Secondary\_Frontalis