

UNIVERSIDAD DE GRANADA

DEPARTAMENTO DE MEDICINA LEGAL, TOXICOLOGÍA Y PSIQUIATRÍA

DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

**APORTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN
TRES DIMENSIONES PARA EL ANÁLISIS DE LAS
HUELLAS POR MORDEDURAS HUMANAS**

ANTONIO JAVIER VALVERDE MORENO
Granada, 2006



Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría
Facultad de Medicina
Universidad de Granada

Avda. Madrid, 11
18071 Granada - Spain

Teléfono: 958 24 35 46 - 958 24 34 91
Fax: 958 24 61 07
E-mail: mrodrigo@goliat.ugr.es

Dña. Aurora Valenzuela Garach, Catedrática de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Granada:

CERTIFICA: Que el trabajo de investigación que se expone en la presente Tesis: *Aportación de nuevas tecnologías en tres dimensiones para el análisis de las huellas por mordeduras humanas*, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría de la Universidad de Granada por el licenciado **D. Antonio Javier Valverde Moreno** y corresponde fielmente a los resultados obtenidos

Una vez redactada, la presente Tesis ha sido revisada por mí y doy conformidad para que pueda ser presentada y aspirar al Grado de Doctor ante el Tribunal que en su día se designe.

Y para que conste, en cumplimiento de las disposiciones vigentes, extiendo el presente en Granada a 20 de febrero del dos mil seis.



Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría
Facultad de Medicina
Universidad de Granada

Avda. Madrid, 11
18071 Granada - Spain

Teléfono: 958 24 35 46 - 958 24 34 91
Fax: 958 24 61 07
E-mail: mrodrigo@goliat.ugr.es

Dña. Stella Martín de las Heras, Profesora Titular de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Granada:

CERTIFICA: Que el trabajo de investigación que se expone en la presente Tesis: *Aportación de nuevas tecnologías en tres dimensiones para el análisis de las huellas por mordeduras humanas*, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría de la Universidad de Granada por el licenciado **D. Antonio Javier Valverde Moreno** y corresponde fielmente a los resultados obtenidos

Una vez redactada, la presente Tesis ha sido revisada por mí y doy conformidad para que pueda ser presentada y aspirar al Grado de Doctor ante el Tribunal que en su día se designe.

Y para que conste, en cumplimiento de las disposiciones vigentes, extiendo el presente en Granada a 20 de febrero del dos mil seis.

Resultados de la investigación desarrollada en esta Tesis Doctoral han sido parcialmente presentados en el Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences. Seattle (USA), 2001 y publicados en:

☛ Martín-de las Heras S, Valenzuela A, Ogayar C, Valverde AJ, Torres JC. Computer-based production of comparison overlays from 3D-scanned dental casts for bite mark analysis. J Forensic Sci 2005; 50: 127-133.

☛ Martín-de las Heras S, Valenzuela A, Valverde AJ, Torres JC, Luna-del Castillo JD. Effectiveness of comparison overlays generated with DentalPrint© software in bite mark analysis. J Forensic Sci 2006; En prensa.

Dedico este trabajo a mis padres, a quienes debo el haber logrado tantas metas en la vida, pues me enseñaron que con esfuerzo y dedicación se consigue todo lo que uno se propone.

A todos mis amigos, a quienes con su ánimo y consejo también debo el haber podido finalizar este trabajo.

Las dificultades están hechas para estimular y no para quitar el ánimo. El espíritu humano debe fortificarse en la lucha. William Ellery Channing

En primer lugar quiero agradecer a la profesora Aurora Valenzuela Garach la oportunidad que me dio en su día de poder comenzar este trabajo. Me ofreció desarrollar una de las muchas ideas que le rondan por la cabeza y me confió su puesta en marcha, para que la llevara a cabo con toda la ayuda que pudiera prestarme, tanto ella como el departamento, y gracias a su interés y confianza hemos podido desarrollar esta Tesis.

Mi más sincera gratitud a la profesora Stella Martín-de las Heras, quién ha dirigido todos y cada uno de mis pasos en este trabajo, orientándome en todo momento en el desarrollo del mismo. Sin su ayuda y concurso este trabajo no habría podido realizarlo.

Mi gratitud al profesor D. Juan Carlos Torres Cantero del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada, así como al ingeniero D. Carlos Javier Ogayar Anguita, ya que ellos han sido quienes han creado el nuevo software DentalPrint© bajo nuestra orientación y supervisión y sin el cuál, no se podría haber realizado esta Tesis.

Agradezco al profesor Juan De Dios Luna-del Castillo, la orientación y ayuda a la hora del análisis estadístico.

También quiero agradecer a mi compañera odontóloga y amiga Sandra Moreno Figueroa la ayuda prestada en esta tesis, ya que intervino como segunda observadora en el proceso de comparación fotográfico para la realización del proceso estadístico.

Mi más sincero agradecimiento a mis amigos Fernando Torres Medina, catedrático del Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial (AUROVA) en la Universidad de Alicante y a Juan Ramón Martín Huertas, ingeniero de telecomunicaciones y responsable de la Unidad Informática del hospital Costa del Sol de Málaga (Marbella), a quienes dirigí muchas veces mis dudas y quebraderos de cabeza respecto de software y hardware, aspectos éstos tan

ligados a este trabajo, y que en ocasiones, y debido a mis conocimientos tan limitados, me ponían freno en el desarrollo del mismo.

A mis amigos Juan Manuel Bujaldón Daza especialista en ortodoncia, quién de forma desinteresada, me ofreció su clínica de ortodoncia para que tomara todos los modelos dentales que me hicieran falta para el estudio, y a Francisco Maroto García, el cual siempre me prestó su laboratorio de prótesis para cuanto necesitara.

También quiero agradecer a D. Ramón del Castillo Salmerón profesor titular de Prótesis Estomatológica, que accediera en su día a ser mi tutor en el desarrollo del proyecto de investigación, antesala de este trabajo, ofreciéndome toda su ayuda de forma desinteresada.

Por último quiero dar las gracias a los servicios informáticos de la Facultad de Medicina, quienes nos ayudaron en la puesta en marcha de la técnica de escaneado de los modelos dentales en dos dimensiones.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	7
1. INTERÉS MÉDICO-LEGAL DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS	9
1.1. Casos judiciales históricos	11
2. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIAS DE PRESENTACIÓN DE LAS MORDEDURAS EN HUMANOS	15
3. LAS MORDEDURAS COMO INDICIO FÍSICO	19
4. PROBLEMÁTICA MÉDICO-LEGAL EN EL ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS	21
5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS .	27
5.1. Reconocimiento y análisis de la herida por mordedura	28
5.2. Recogida de restos de saliva en la lesión por mordedura	33
5.3. Análisis fotográfico de la lesión por mordedura	36
5.4. Toma de impresiones para la obtención de modelos de la huella por mordedura	41
5.5. Recogida de muestras del sospechoso	43
5.5.1. Examen clínico completo	43
5.5.2. Documentación fotográfica	44
5.5.3. Toma de impresiones y obtención de modelos	44
5.5.4. Registro interoclusal	45
5.5.5. Recogida de muestra de saliva	45
5.5.6. Recomendaciones generales	45
5.6. Comparación de la huella de la mordedura con las muestras del sospechoso	46
5.6.1. Análisis métrico	47
5.6.2. Asociación de patrones	48
<u>Métodos directos</u>	48
<u>Métodos indirectos</u>	49
5.6.3. Técnicas complementarias	52
II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	55
III. MATERIAL Y MÉTODOS	59
MATERIAL	61
MÉTODOS	63

1. PROCEDIMIENTOS ACTUALES PARA LA OBTENCIÓN DE HUELLAS DE MORDIDA A PARTIR DE LOS MODELOS DENTALES	63
1.1. Generación de huellas de mordida a partir de imágenes de los modelos dentales escaneados en dos dimensiones y empleando el programa Adobe® Photoshop®	64
1.1.1. Requisitos técnicos	64
1.1.2. Escaneado de los modelos en dos dimensiones	65
1.1.3. Obtención de la imagen en el programa Adobe® Photoshop® ...	66
1.1.4. Orientar de forma correcta la escala de la ABFO al eje x/y de la imagen	67
1.1.5. Rotar el modelo superior	68
1.1.6. Pintar de negro las áreas no deseadas	69
1.1.7. Selección de los bordes de los dientes	70
1.1.8. Construcción del perímetro de la huella de los bordes incisales	72
1.1.9. Borrado de los píxeles no deseados	73
1.1.10. Añadir la escala	75
1.1.11. Incluir texto en la transparencia	75
1.1.12. Imagen de los perímetros de la huella de mordida	76
1.2. Generación de huellas de mordida a partir de imágenes escaneadas de los modelos dentales en tres dimensiones empleando el programa DentalPrint©	78
1.2.1. Requisitos técnicos	78
1.2.2. Escaneado de los modelos en tres dimensiones	79
1.2.3. Generación de las transparencias de las huellas dentales con el programa DentalPrint©	81
1. Selección del área de mordida	83
2. Creación del plano de contacto	85
3. Obtención del perfil de la huella	87
4. Impresión de las huellas de mordida	89
2. PROCESO DE COMPARACIÓN DE LAS HUELLAS DE MORDIDA Y LA FOTOGRAFÍA DE LA HERIDA POR MORDEDURA	95
2.1. Detección y corrección de la distorsión angular de la fotografía empleando el programa Adobe® Photoshop®	96
2.1.1. Rotación simple de la imagen de la mordedura	97
2.1.2. Recortado de la imagen	98
2.1.3. Determinación de la distorsión de la imagen	98
1. Distorsión fotográfica	100
2. Determinación del ángulo Theta	101
3. Corrección de la distorsión fotográfica	102
4. Corrección de la distorsión de tipo I	103

2.1.4. Rectificación de la imagen de una mordedura	105
2.1.5. Restitución del tamaño de la imagen a su tamaño real (1:1) ...	109
2.2. Comparación automática de las huellas de mordida y la fotografía de la herida por mordedura	113
2.2.1. Análisis comparativo de la huella de mordida obtenida mediante el programa Adobe® Photoshop® y la fotografía de la mordedura	113
2.2.2. Análisis comparativo de la huella de mordida obtenida mediante el programa DentalPrint© y la fotografía de la mordedura	117
1. Transformar las huellas dentales obtenidas de modelos 3D a formato BMP	118
2. Redimensionar las huellas dentales a escala 1:1	119
3. Comparación de las huellas dentales generadas a partir de modelos 3D con la fotografía de la mordedura	121
4. Análisis métrico y angular	127
3. ENSAYO EXPERIMENTAL DE SIMULACIÓN DE MORDEDURAS EN PIEL DE CERDO	128
3.1. Material experimental	128
3.2. Selección de modelos dentales	128
3.3. Producción de las mordeduras experimentales	129
3.4. Características de la fotografía digital	130
3.5. Diseño del proceso de comparación de las transparencias de las huellas dentales y las fotografías de las mordeduras	132
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	135
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	137
1. MEJORA EN LA TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE LAS TRANSPARENCIAS DE LAS HUELLAS DENTALES DE LOS SOSPECHOSOS CON EL PROGRAMA DENTALPRINT©	143
1.1. Las ventajas del escáner en 3D	143
1.2. Mayor objetividad y rapidez en la creación de las transparencias de las huellas de mordida	144
1.3. Mayor control de la distorsión primaria	145
1.4. Creación de diferentes huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordida	151
1.5. Otros recursos informáticos del programa DentalPrint©	152
2. ANÁLISIS DE LA REPRODUCTIBILIDAD Y VALIDEZ DEL MÉTODO	153

2.1. Reproducibilidad del programa DentalPrint©	154
2.2. Modelo experimental: mordeduras simuladas <i>versus</i> casos reales....	155
2.3. Análisis de la validez del método usando el programa DentalPrint© .	156
2.4. Análisis de la validez del método usando el programa Adobe® Photoshop®	162
2.5. Análisis de la influencia de la experiencia del observador	164
2.6. Análisis de la concordancia entre observadores	168
V. CONCLUSIONES	185
VI. BIBLIOGRAFÍA	189
VII. ANEXO 1: Manual de usuario del programa DentalPrint©	201

I. INTRODUCCIÓN

1. INTERÉS MÉDICO-LEGAL DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS

MacDonald (1974) definió el término mordedura (bite mark) como las huellas dejadas por cualquiera de los dientes de forma aislada o en combinación con otras partes de la boca. Desde el punto de vista médico legal, una definición más completa sería aquella que considera las mordeduras como marcas figuradas o huellas dejadas por los dientes de humanos o de animales, sobre un sustrato que puede ser la piel, de sujetos vivos o cadáveres, o sobre objetos inanimados relativamente blandos (Kizer, 1979; Jaffe, 1983; Earley y Bardsley, 1984; Karazulas, 1984; Rawson y cols., 1984a; Schweich y Fleisher, 1985; Goldstein y Richwald, 1987; Gold y cols., 1989a; 1989b; Epstein y Scully, 1992).

La premisa de que la dentadura humana es única para cada individuo está ampliamente aceptada (Keiser-Nielsen, 1980; Sognaes y cols., 1982; Rawson y cols., 1984b; West, Hayne y Barsley, 1992; Pretty, 2003). El dogma central en el análisis de las mordeduras está basado en dos suposiciones: primero que la dentadura humana es única (exclusiva de cada individuo) y segundo que hay suficientes características diferenciadoras entre ellas que posibilitan la identificación. Los dientes son las estructuras más duras del cuerpo humano permaneciendo inalterables pese al paso del tiempo o por la acción destructiva de la descomposición cadavérica y otro tipo de agentes externos (fuego, productos químicos, etc.). Y el proceso de identificación es posible por el altísimo número de combinaciones de características presentes en la dentadura humana: posición de las piezas en la arcada dental, presencia de restauraciones y tratamientos dentales, tipo de las mismas, ausencias dentales, etc. (Adams, 2003a; 2003b). De hecho, se ha estimado que la gran diversidad de características combinadas de

forma diferente en una boca son comparables a la gran variedad de secuencias del ADN mitocondrial (Adams, 2003b).

Por tanto, los odontólogos/as forenses intentan identificar al causante de una mordedura teniendo en cuenta las características individualizadoras presentes en los dientes del sospechoso (Sweet y Leroy, 1993). El análisis de una mordedura incluye el examen de la herida para compararla a los rasgos y características de la dentadura del sospechoso.

La identificación de una lesión por mordedura es un aspecto crucial en la investigación criminal desde el momento en que una identificación puede establecer que el sospechoso estuvo en la escena del crimen y tuvo contacto con la víctima (Irons, Steuterman y Brinkhous, 1983). La identificación del autor de una mordedura se planteará en el ámbito de la jurisdicción penal. Las huellas por mordeduras constituyen, por tanto, un importante indicio físico en un gran número de situaciones criminales (Atkinson, 1998).

El papel de los odontólogos/as forenses (Avon, 2004) es recoger, analizar y conservar las huellas de una mordedura, basándose, tal y como hemos comentado, en la certeza de que el actor de una mordedura puede ser identificado estudiando las características específicas descubiertas en la herida.

Es importante proceder de forma inmediata a la recogida de toda la información y a una adecuada conservación de los indicios, por lo que hay que formar adecuadamente a los/las profesionales que detectan en primer lugar estas lesiones. En la actualidad es preciso contar con personal especializado para llevar a cabo este tipo de procedimientos muy específicos. También hay que insistir en que las fuerzas de seguridad y cuerpos policiales, forenses y odontólogos

generales, tengan la información y formación necesarias en cuanto a cómo recoger, registrar, almacenar y transportar los indicios (Whittaker, Brickley y Evans, 1998) pues en ocasiones por no ejecutar estos pasos de forma adecuada, se puede deteriorar o alterar el indicio dificultando o imposibilitando un examen preciso que permita alcanzar conclusiones convincentes (LeRoy y Sweet, 1993; Bernitz y van Niekerk, 2003).

Las lesiones por mordedura llevan siendo admitidas como prueba en un gran número de casos en los Tribunales de Justicia de los Estados Unidos de América (Pierce, Strickland y Smith, 1990) y también en países como Canadá, o los Países Nórdicos, pero sin embargo en otros, como en el nuestro, es necesario un fuerte impulso para su desarrollo y su aceptación como prueba de convicción en los procedimientos criminales.

1.1. Casos judiciales históricos

La identificación de un individuo por las marcas dejadas por su dentadura, sobre la piel u otro objeto, es un tema que se ha planteado desde antiguo. Uno de los casos históricos de los que se tiene constancia es el de un banquero de San Petersburgo que en el 1890 apareció muerto en su despacho. Junto a su cuerpo se encontró una pipa que inicialmente se creyó pertenecía al banquero. Al observar detenidamente la boquilla de la pipa se vieron unas marcas dentarias que no coincidían con las de la dentadura del banquero. Cuando se procedió al reconocimiento de los sospechosos detenidos se observó que uno de ellos tenía el incisivo lateral superior izquierdo más corto que el contralateral, comprobándose que los dientes coincidían exactamente en las huellas dejadas por las improntas dentarias en la boquilla de la pipa. Este caso fue presentado por Merciolle en la Universidad de Lyon (Francia) en 1891.

Sin embargo, el primer caso en el que se utilizó el análisis de unas marcas por mordeduras para inculpar a un sospechoso de asesinato ante los tribunales data de 1870. Ansil L. Robinson era sospechoso del asesinato de su esposa, Mary Lunsford, en Mansfield, Ohio. Robinson pudo ser inculcado de dicho asesinato al comparar unos modelos de su dentadura con las marcas dejadas por los dientes en el brazo de la víctima. Éste es el primer caso en el que se admitieron como prueba las marcas dejadas por los dientes en los Tribunales de los Estados Unidos.

Otro ejemplo más moderno es el que ocurrió en la noche del 4 de Octubre del 1991 en una zona residencial de Los Ángeles, cuando unos vecinos al escuchar ruidos de una pelea se asomaron a la ventana y vieron a dos hombres que perseguían a un tercero. Cuando la policía llegó encontró a un hombre agonizante que después moriría y a otros dos en las proximidades con manos y ropa ensangrentadas que fueron detenidos. En sus confesiones estos dos hombres G.M. y R.M, declararon que estaban bebiendo cuando vieron a un hombre ser atacado por otro, por lo que se acercaron a prestarle ayuda en espera de que acudieran los servicios médicos de emergencias, pero que al ver a la policía se asustaron y huyeron. La policía dudaba de sus confesiones, pero no tenía pruebas reales de que hubieran sido los responsables del crimen. En la autopsia se descubrió una marca clara de una mordedura sobre el hombro derecho de la víctima; en la que se observaron varias características como por ejemplo, una rotación en el incisivo lateral derecho mandibular. Al estudiar los modelos dentales de R.M. se pudo constatar una alta coincidencia de características entre su dentadura y la huella encontrada en la víctima. A partir de estas pruebas R.M. fue condenado por un delito de asesinato en segundo grado y G.M. como cómplice del delito.

A veces, la identificación de un sospechoso no se produce por las marcas dejadas con su dentadura sobre la piel de su víctima, sino en algún otro sustrato como pueden ser objetos inanimados (comestibles u otros elementos) olvidados que lo relacionarían con su presencia en la escena del crimen. Así ocurrió en un caso más reciente en Sudáfrica, en el asesinato de un granjero. La policía recogió del lugar del crimen una porción de queso que tenía marcas de dientes. El odontólogo forense realizó un modelo con yeso blanco de la zona mordida, así como de las dentaduras de tres sospechosos. El fragmento de queso fue requisado por la policía y siete meses después el caso fue remitido por la unidad de odontología forense a la Universidad de Pretoria donde se hizo un modelo de silicona de las marcas hechas en el queso. Se utilizó un microscopio a una magnificación de 6.3x, para determinar los rasgos individuales, estableciéndose una identificación positiva, que cuando fue confrontada con las características de la dentadura del sospechoso, éste admitió su culpa en su primera comparecencia ante los tribunales.

Existen multitud de casos de condenas de un sospechoso por la identificación de una mordedura. Uno de los más conocidos es el de Linda Peacock, una adolescente de 15 años de Biggar, un pueblo cercano a Edimburgo (Escocia) que en 1967 apareció en el cementerio local medio desnuda y con signos de estrangulamiento; en su seno izquierdo llamaba la atención la marca de una profunda mordedura. Un joven de un reformatorio cercano fue arrestado por sospechoso ya que aparte de otra información, sus dientes casaban con la mordedura, el acusado confesó inmediatamente.

Y el segundo y más famoso mordisco criminal, fue el de Ted Bundy, uno de los mayores asesinos en serie de la historia de EEUU. La tarde noche del 15 de enero de 1978 Bundy entró en el Chi Omega, colegio mayor de estudiantes,

en la Universidad del Estado de Florida. Bundy violó, golpeó violentamente y estranguló a dos jóvenes: Lisa Levy y Margaret Bowman, ambas de 21 años. La policía no encontró ninguna huella en la escena del crimen. Tenían, es cierto, su semen, pero en aquella época todavía faltaban siete años para que el doctor británico Alec Jeffreys aplicara los estudios del ADN como prueba forense. La única línea de investigación eran dos heridas por mordeduras: una en el glúteo izquierdo de Lisa Levy y otra, peor definida, en el seno derecho. Bundy fue detenido poco tiempo después en Pensacola, Florida. Las marcas de los dientes encontradas en el cadáver de Lisa Levy eran compatibles con la dentadura del acusado. Fue declarado culpable y condenado el 23 de junio de ese mismo año (confesó otros veintitrés asesinatos más).

Un caso más próximo, es el ocurrido a principios de 1999 en Cervera, una pequeña población a medio camino entre Barcelona y Lleida. Una joven fue asesinada en la madrugada del 15 de Febrero. La chica fue encontrada muerta entre los dos raíles del tren sin restos de heridas por atropello. La víctima tenía múltiples lesiones, signos evidentes de agresión sexual, y una marca de mordedura sobre el pecho izquierdo. Tras las indagaciones policiales el máximo sospechoso era su novio, un joven de 29 años, el cual tenía una cuartada perfecta; incluso asistió a varios programas de radio y televisión para pedir que se encontrase al culpable del asesinato. Pero justamente por la euforia que le ocasionaba salir en televisión, un día, de vuelta en un taxi con la hermana de su novia, hizo referencia a la lesión por mordedura, así como a otras lesiones que nadie salvo el asesino podía conocer, porque esa información no había sido puesta a la luz pública por la policía. Los Mossos d'Esquadra estaban convencidos de que Cervilla (novio) era el asesino pero no poseían ninguna prueba para acusarle. Parecía el crimen perfecto, y ya habían pasado seis meses. Se pidió al sospechoso si tenía inconveniente en realizarse unas impresiones

dentales para comprobar unas marcas aparecidas en el cuerpo de la chica asesinada, y dado que Cervilla se consideraba intocable accedió sin problemas a la solicitud. El análisis de la mordedura y los modelos del sospechoso arrojaron muchas coincidencias y permitieron la inculpación de Cervilla y su condena por delito de asesinato y agresión sexual. La sentencia fue confirmada por el Tribunal Supremo el 16 de junio de 2002. En 1999, 64 mujeres perdieron la vida a manos de sus parejas. Marina fue una ellas (Berbell, 2003).

A partir de entonces las huellas de mordeduras se han convertido en moneda común en EEUU. El propio Consejo Americano de Odontología Forense (ABFO), órgano que agrupa a los peritos odontólogos forenses, elaboró una guía para que sus asociados sepan cómo ofrecer testimonio forense de este tipo de pruebas comparativas ante los tribunales.

La explicación de por qué los criminales suelen morder a sus víctimas es muy simple. Según John Douglas, ex agente del FBI, miembro fundador de la Unidad de Ciencias del Comportamiento, todo tiene que ver con el concepto del control y la dominación del agresor sobre su víctima. “El morder forma parte frecuentemente de una agresión violenta, ya sea violación o asesinato”, destruyen a su víctima con todas las armas que poseen (Berbell, 2003).

2. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIAS DE PRESENTACIÓN DE LAS MORDEDURAS EN HUMANOS

Los dientes a menudo son usados como armas cuando una persona ataca a otra o cuando las víctimas intentan defenderse de su asaltante (Furness, 1981; Walter, 1985; Wood, Miller y Blenkinsop, 1994; Sweet y Pretty, 2001; Pretty y Hall, 2002; Freeman, Senn y Arendt, 2005). Con frecuencia el agresor intenta

expresar su poder atacando una parte vulnerable del cuerpo de la víctima (Walter, 1984; Whittaker, 2004). La acción de morder es resultado de la necesidad del agresor de dominar mediante la intimidación (Walter, 1985) y como expresión de dominación y cólera (Webb, Pretty y Sweet, 2000). En casos de defensa propia los dientes de la víctima a menudo constituyen la única arma disponible.

Las mordeduras por agresión y las mordeduras de defensa se pueden encontrar en casos de homicidio, homicidio frustrado, agresión sexual, agresiones en general, maltrato doméstico y, en casos de abuso físico y sexual a menores (Cottone y Standish, 1982; Dorion, 1982; Rawson y cols., 1984a; Schweich y Fleisher, 1985; Johnson y Cadle, 1989; Sperber, 1989; Sweet y Leroy, 1993; Rothwell y Thien, 2001; Sweet, 1995; Vale, 1996; Freeman, Senn y Arendt, 2005).

Lowry (1936) en un estudio sobre 122 mordeduras encontró que la localización más frecuente de las mismas era en las extremidades (76%) seguidas de cara y cabeza (8%). Spiers en 1941 confirmó los estudios previos realizados por Lowry, analizando 114 casos donde encontró una localización más frecuente en extremidades (64%) y en cabeza y cara (40%). Harvey (1976a) en un estudio sobre 74 marcas de mordeduras encontró el mayor porcentaje en pechos (31%) y en extremidades (13%). En 1983, Vale y Noguchi sobre 164 casos de mordeduras las encontraron más frecuentes en extremidades superiores (22%) y pechos (10,4%). En el año 2000, Pretty y Sweet sobre 101 casos con un total de 148 mordeduras, encontraron una mayor presencia de marcas en pechos (31,3%), seguidas de los brazos (18,8%). Estas variaciones en cuanto a la distribución pueden deberse a los grupos de personas sobre las que se basaron los estudios. Harvey (1976a) y Vale y Noguchi (1983) utilizaron en su mayoría personas involucradas en casos policiales y por tanto muertas. Sweet y Pretty (2000) tomaron su estudio de casos judiciales de los EEUU.

Recientemente, Freeman, Senn y Arendt (2005) realizaron un estudio sobre la distribución de las lesiones por mordeduras con la información de casos suministrados por 1100 dentistas forenses de 26 países diferentes. El estudio se llevó a cabo fielmente, con 259 personas en las que se habían producido un total de 778 mordeduras. En su estudio llegaron a las siguientes conclusiones.

Con respecto a la víctima:

- Sobre la distribución de las mordeduras en cuanto al sexo y la edad. La mayoría de las víctimas de las lesiones por mordeduras son mujeres (65%) aunque según el patrón de las edades de distribución de las mordeduras por sexo puede variar. De 0 a 10 años la distribución entre sexos es muy parecida, sin embargo, en el rango de los 11 a los 20 años, las mujeres son mordidas 4,16 veces más que los hombres; de los 21 a los 50, 2,75 veces y por encima de los 51 años son 2,4 veces más mordidas las mujeres que los hombres.

- Sobre la distribución de edades y sexo, dependiendo del tipo de crimen. Las mordeduras implicadas en el estudio estaban presentes en un 46,7% en homicidios, 39,4% en agresiones sexuales y en un 32,8% en casos de abuso infantil. El total excede del 100% porque algunos casos de mordeduras involucran varios tipos de delitos. En los casos de agresiones sexuales y homicidios encontramos más mordeduras en las mujeres que en los hombres, especialmente en el rango de edades entre 21 a 50 años.

- Distribución y localización de las mordeduras por edad y sexo en la víctima. De media, entre las mordeduras encontradas en hombres y en mujeres las localizaciones más frecuentes encontradas fueron: brazos (22,7%), espalda (12,1%), piernas (11,7%), cara (10,3%) y pechos (9,3%). Lo que indica que las

extremidades superiores son las zonas más frecuentemente mordidas al combinar las mordeduras de los brazos y manos (26,6%). Sin embargo, si los datos de mujeres y hombres se separan, las áreas más mordidas en hombres son: extremidades superiores (32,4%), piernas (14,6%) y cara (11,1%). Como contraste, en las mujeres encontramos: extremidades superiores (23,2%), espalda (16,3%) y pechos (13,8%). En los casos de abuso infantil apenas hay distinción entre sexos en cuanto a la localización de las marcas por mordedura, encontrándolas en brazos (28,6%), piernas (18,9%), espalda (8,5%), nalgas (7,3%), cara (7,3%), etc. En cualquiera de los supuestos de homicidio, agresión sexual o abuso infantil encontramos más de una mordedura en el 43% de los casos.

Con respecto a los sospechosos de producir las mordeduras:

- Distribución de la edad y sexo según el tipo de delito. El 79% de los agresores causantes de una mordedura eran hombres y el 21% mujeres, este porcentaje en los casos de agresión sexual aumenta aún más a favor de los hombres.

Cuando los agresores son hombres, la edad media oscila entre los 17 y 35 años, cuando son mujeres entre los 19 y 26.

- Casos en los que la víctima mordió a su atacante. La mayoría serían hombres y la distribución de las mordeduras que sufren es, por orden de frecuencia de aparición: brazos, cabeza, cara, etc.

De todo lo expuesto se deduce que:

1. Las mordeduras pueden encontrarse en cualquier localización del cuerpo.

2. La presencia de las mordeduras en un cuerpo puede ser individual o múltiple.
3. Las mordeduras podemos encontrarlas tanto en las víctimas como en los agresores.
4. La presencia de las mordeduras está relacionada con:
 - a. Tipo de delito perpetrado
 - b. Edad y sexo de la víctima
 - c. Si se produce en la víctima o en el atacante (mordeduras de defensa)
 - d. La edad y el sexo del atacante
5. Estudios demográficos de víctimas y sospechosos indican que en toda investigación deben examinarse ambas, pues es posible que presenten varias marcas de mordeduras. En un gran número de casos hay más de una mordedura, por lo tanto si se descubre una hay que buscar, porque puede haber más.

3. LAS MORDEDURAS COMO INDICIO FÍSICO

Las mordeduras humanas se pueden analizar usando métodos similares a los empleados para comparar otros indicios físicos en los que el proceso implica una medida y comparación detallada de los modelos de la huella con los modelos de una determinada herramienta. Algo similar ocurre cuando se comparan las huellas dactilares, o las huellas dejadas por un zapato o el neumático de un coche. Se usan características generales para identificar el origen genérico del objeto que causa la marca (DeForest, Gaensslen y Lee, 1983). Por ejemplo, examinando las características de la impresión dejada por una pisada en la arena puede deducirse que la huella fue realizada por un calzado de caucho y no por

una bota de suela. Rasgos tales como la forma general de la pisada, incluyendo el dedo del pie, la huella del talón y el dibujo de la suela, son fácilmente identificables como las de una zapatilla de deporte.

De igual forma un odontólogo puede determinar que una marca redonda con varias incisiones pequeñas y un área central de equimosis, presenta las características generales de una mordedura y es distinta a una herida causada por cualquier otro objeto (West, Hayne y Barsley, 1992). Las características de *clase* son rasgos o dibujos vistos preferentemente en un grupo dado que indica un origen concreto (DeForest, Gaensslen y Lee, 1983). En el caso de la dentadura humana, el número y la forma de los dientes individuales y el patrón de los arcos dentales superior e inferior, son consideradas características de clase. Por ejemplo, un odontólogo puede determinar que una mordedura fue causada por un adulto y no por un menor comparando el tamaño de los dientes con el tamaño, forma y anchura del arco dental una vez conocidos los patrones generales de las dos poblaciones (Whittaker, Brickley y Evans, 1998). También sería posible usar características de clase para determinar que el tamaño de contusiones, abrasiones o laceraciones en la herida, están en consonancia con el tamaño y la forma de dientes específicos (Sweet, 1995). La presencia de contusiones rectangulares en la línea media del arco de una mordedura es también una característica de clase de incisivo humano. Las características de clase de los incisivos (rectángulos) difieren de la de los caninos (círculos o triángulos). Si nosotros definimos las características de clase de las mordeduras humanas, podemos diferenciarlas de las mordeduras animales. El término características de clase fue aplicado a las marcas de herramientas y su definición ha sido modificada para adecuarlo a las mordeduras.

Las características *individuales* son rasgos, o dibujos que representan una variación individual. Estas imperfecciones o irregularidades son producidas accidentalmente durante la fabricación de una herramienta o causadas por el uso, desuso o deterioro del objeto (Davis, 1958). En el caso de los dientes, las características morfológicas y anatómicas dentales, tales como fracturas del esmalte, crestas marginales prominentes, superficies curvas, dientes rotados, cúspides prominentes, restauraciones fracturadas y otros rasgos distintivos, son reconocidas como características dentales individuales y pueden proveer datos valiosos al odontólogo/a forense con el fin de identificar con precisión cuáles son los dientes del individuo responsable de una cierta mordedura (Butcher y Pugh, 1975; LeRoy y Sweet, 1993; Sweet y LeRoy, 1993).

El valor de la característica individual es que ésta es la diferencia entre individuos y ayuda a identificar al agresor. El número específico y reproducción precisa de estas características individuales determina la fuerza de convicción para asegurar que un sospechoso particular hizo la mordedura, sin embargo, debido a la escasa capacidad de la piel para registrar las características de los dientes, a su elasticidad y flexibilidad, con frecuencia se producen patrones poco definidos o distorsionados en la herida, siendo a menudo, una tarea sumamente ardua.

4. PROBLEMÁTICA MÉDICO-LEGAL EN EL ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS

El análisis de una mordedura incluye el examen cuidadoso y completo de la herida para compararla a los rasgos y características de la dentadura del sospechoso (Sweet, 1995). El hecho fundamental es que las impresiones dejadas

por los elementos duros (dientes) sobre un soporte poseen unas características individualizadoras que pueden ser empleadas para la identificación del sujeto que causó la herida.

En el análisis de las huellas por mordeduras existen varios problemas asociados que lo hacen especialmente complejo. El primer problema es la dificultad del reconocimiento de las mordeduras, que pueden pasar desapercibidas en una primera exploración. En general, se debe sospechar de cualquier marca o contusión redondeada pero, a veces, pueden ser producidas por otros objetos como joyas, juguetes, tacones de zapatos (Harvey, 1976b), desfibriladores cardiacos (Grey, 1989), hebillas de cinturones u otros elementos que puedan simularlas (James y Cirillo, 2004).

La dificultad del reconocimiento también es debida a que los dientes pueden producir diferentes tipos de lesiones y que, clásicamente, se han clasificado en 5 categorías de acuerdo a la intensidad de la agresión. La clase I son eritemas producidos por la presión de los dientes o de los labios, es decir, lo que producen es una congestión superficial. La clase II es cuando se produce una extravasación de sangre a los tejidos (equimosis). La clase III es una erosión en la piel; este tipo de lesiones están producidas por un desplazamiento de los dientes del agresor sobre la piel de la víctima. La clase IV se observa cuando los dientes penetran en la piel produciendo laceraciones y la clase V está reservada para cuando producen pérdida de sustancia.

Otro de los problemas a los que nos enfrentamos es que se trata de lesiones en las que influye sobremanera el tiempo transcurrido desde la agresión hasta la recogida y registro de la huella, tanto si se produce en una persona viva debido a los fenómenos reparativos, como si se produce en un cadáver debido a

su vez a los procesos destructivos. En los sujetos vivos, a veces, cuando transcurre uno o dos días del suceso, las marcas dentales se difuminan y es más difícil estudiar el patrón dejado por los dientes. Sin embargo, en ocasiones si hay mucha inflamación ocurre lo contrario; al pasar unos días y disminuir el proceso inflamatorio, podemos ver con mayor nitidez las marcas dejadas por los dientes. Debido a que estos procesos van cambiando es preciso ir analizándolos y documentarlos fotográficamente en días sucesivos, tal y como se describirá más adelante. En los cadáveres no sólo se alteran las lesiones por los procesos de putrefacción sino que también influye el efecto de la gravedad pudiéndose acumular líquidos en la mordedura, es lo que se conoce con el nombre de distorsión secundaria (Sheasby y MacDonald, 2001). Además, en ocasiones podemos encontrar marcas sobre las huellas de la mordida producidos por ataque de animales al cadáver (Patel, 1994).

Otro problema que se nos plantea cuando analizamos este tipo de huellas es que pueden adoptar formas y patrones múltiples, ya que se trata de la agresión producida por un instrumento móvil como es la boca, que incide sobre una superficie generalmente también móvil como es el individuo que también se mueve con la intención de librarse de su agresor (distorsión dinámica) (Sakoda y cols., 2000). En un 60% de los casos de sujetos vivos mordidos se describen expansiones lineales por movimientos de la víctima o de la mandíbula (DeVore, 1971).

Si la agresión es sobre la piel, el problema puede ser aún mayor ya que es un material inadecuado para mantener las marcas debido a su elasticidad y flexibilidad (distorsión de tejidos), además de no ser un buen soporte para la posterior toma de impresiones. Otros factores como el grado de elasticidad, espesor de la piel o presencia de hueso bajo el área de mordida también pueden

determinar diferentes tipos de huellas. Además, los tejidos humanos a menudo son curvos y pueden distorsionar la impresión real (Sheasby y MacDonald, 2001).

Estos aspectos no invalidan la utilidad del análisis pero enfatiza la necesidad de un reconocimiento rápido de las mordeduras, una técnica impecable de recogida de las mismas, y un análisis cuidadoso y completo de todas las huellas.

Un último problema que merece la pena discutir se refiere a si realmente tenemos datos científicos que nos permitan discutir que las dentaduras humanas son únicas para cada sujeto y diferentes entre sí. La determinación de la unicidad de la dentadura humana es un tema de interés forense que aunque ha centrado la atención de los investigadores en las dos últimas décadas, en el área de la odontología forense, sigue siendo controvertido no existiendo un acuerdo unánime entre la comunidad científica (Pretty y Turnbull, 2001). Y es que establecer la individualidad de una dentadura es extremadamente difícil, porque aún desconocemos qué rasgos dentales pueden contribuir de forma definitiva a una identificación positiva. La probabilidad de que más de una persona puedan producir una mordedura similar o idéntica en un caso específico, es el reto en cada caso de mordeduras y en algunos casos de identificación. Esta posibilidad de identificación es debido a que los tamaños, formas y bordes en que los dientes anteriores se sitúan en las arcadas dentales superior e inferior de forma específica y única, siendo diferentes en cada individuo. Ésto, en parte, tiene su origen en la secuencia de erupción de los dientes anteriores y posteriores. Los caninos deben hacer fuerza en su camino hacia el arco dental lo que a menudo se traduce en rotaciones, y desplazamientos de los otros dientes. La presencia de desgastes, fracturas o restauraciones de los dientes es válida también como rasgo de unicidad. La distribución de las diferentes piezas dentales de la dentadura,

produce un dibujo identificable, incluso entre gemelos (Sognaes y cols., 1982) que puede ser comparado con dibujos similares encontrados en víctimas de agresiones o en objetos inanimados mordidos.

No obstante el reconocimiento de estas huellas dentales tiene su problemática debido a que la piel es un material de registro pobre, desde el momento en que es altamente variable en relación a su localización anatómica, la musculatura subyacente, la cantidad de tejido graso, la curvatura e incluso la pérdida o adherencia de tejidos subyacentes. La piel es altamente visco-elástica lo que permite el movimiento de los dientes sobre la misma en cualquier proceso de mordedura incluso cuando se procede a tomar muestras de la huella.

El primer trabajo de investigación que aportó una estadística de la unicidad dental fue publicado por MacFarlane, MacDonald y Sutherland en 1974. Los autores comienzan por diferenciar entre rasgos positivos y negativos de la dentadura. Un rasgo positivo fue descrito como la presencia de un diente con una cierta rotación o cualquier otro rasgo de individualidad. Un rasgo negativo era la ausencia de un diente. Este estudio se concentra en los rasgos positivos que concurren en los dientes anteriores (de canino a canino, maxilar y mandibular). Los análisis se realizaron sobre modelos dentales en los que no se valoraron otro tipo de datos como la presencia o ausencias. Algunas características, como la rotación mesio-palatina de los incisivos centrales maxilares mostraron un alto grado de significación, de forma que podría ser considerada como un rasgo individualizador.

Rawson y cols., (1984b) examinaron 397 mordeduras y aplicaron una teoría estadística de probabilidad a los resultados en un intento de proveer finalmente la unicidad del segmento anterior de los dientes humanos. Se realizó el

trazado de los bordes de los dientes, y se determinó a partir de un punto central de cada diente el eje x y el eje y, así como la angulación de cada uno de los dientes. Se determinó que el número mínimo de posiciones que un diente puede ocupar es de 150 y los grados 239,9. Estas cifras fueron determinadas multiplicando el número de posiciones (en el eje de coordenadas x/y) por los ángulos observados. Rawson eligió el número 150 como el número de posibles posiciones de cada diente representado en una escala. Basándose en esta premisa, la probabilidad de encontrar dos conjuntos de denticiones iguales incluyendo las seis piezas anteriores maxilares o mandibulares con las piezas dentarias en la misma posición era de 1.4×10^{13} . Asumiendo que la población mundial es de 4 billones (4×10^9) Rawson, manifestó que una coincidencia de cinco dientes en una mordedura debería ser suficiente evidencia en la identificación positiva de un individuo como mordedor para excluirlo de todos los otros, y por tanto se concluye que cada dentadura es única. En este estudio se asumía que la posición de cada uno de los dientes era enteramente independiente de la posición de los otros, extremo que no es totalmente cierto por lo que los resultados hay que interpretarlos con prudencia.

En la actualidad existen estudios que han demostrado la individualidad de la dentadura, para ello han utilizado bases de datos de personas a los que se le realizaron odontogramas, y a partir de éstos se asignaron una serie de valores a cada pieza dependiendo de cuál fuera la superficie que estuviera tratada, o si el diente estaba o no presente, etc. Observaron que la posibilidad de combinaciones posibles diferentes según las piezas presentes y los tratamientos recibidos en ellas eran tan altas como las encontradas en el ADN mitocondrial, por lo tanto, esto establecería la individualidad de la dentadura humana (Adams, 2003a). Estos datos tienen una gran trascendencia porque nos permitiría identificar a los individuos mediante la valoración de los registros dentales. El método utiliza un

programa de ordenador llamado OdontoSearch, que es similar en cuanto a funcionamiento al usado en los trabajos de identificación de ADN mitocondrial. Así se determinó que, a veces, incluso un número pequeño de características dentales son suficientes para la identificación debido al vasto número de posibles combinaciones de características que están presentes en la dentadura humana, y que son un medio excelente para la identificación personal (Adams, 2003b).

En el proceso de identificación de un individuo por el estudio del ADN se puede estimar un porcentaje de coincidencia porque el ADN es en principio, inalterable e inmutable; un individuo tiene uno en particular durante toda su vida. Sin embargo, no ocurre lo mismo en los tratamientos odontológicos porque un sujeto puede estar sometido a múltiples intervenciones (extracciones, coronas, obturaciones etc.) a lo largo de su vida y por tanto, la identidad de un individuo podría variar ya que entre el momento en que se realizó la mordedura a otra persona y el momento en el que lo han detenido ha podido estar sometido a diversos tratamientos que cambian la imagen de la mordida.

5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS

Existe un debate considerable con respecto a las exigencias a las que deben someterse el análisis de las huellas de mordedura y, en última instancia, a su valor forense (Pretty y Sweet, 2000). El procedimiento más común de comparar heridas de mordedura y dientes de un sospechoso consiste en la comparación de fotografías de tamaño real de la herida en la piel, con los modelos en yeso de los dientes del actor. Aunque no existe un consenso general en relación con la evaluación y comparación de las huellas de mordeduras para obtener

conclusiones convincentes con un mayor o menor grado de certeza, tanto las normas para la recogida de huellas, como la toma de las impresiones de los sospechosos, se deben de realizar de acuerdo a un protocolo razonablemente aceptado como es el de la Comisión Americana de Odontología Forense (American Board of Forensic Odontology, ABFO, 1986; 1995). De acuerdo a este protocolo el proceso de comparación de las mordeduras se ha de desarrollar en tres fases: 1) reconocimiento de la mordedura y su posterior análisis en la piel de la víctima o sobre el objeto inanimado; 2) recogida de las muestras del sospechoso, y 3) comparación de la huella de la mordedura con las muestras del sospechoso.

5.1. Reconocimiento y análisis de la herida por mordedura

El reconocimiento de una huella por mordedura depende de que la marca se impresione en una sustancia o medio que retenga la forma de la mordedura y que permita analizarla posteriormente. Hay dos lugares específicos donde podemos observar huellas por mordedura. La primera es en objetos inanimados. La segunda, y más frecuente localización es la piel humana.

En un primer examen, lo primero que tenemos que ver es si se trata realmente de una mordedura o no y, en segundo lugar, si es humana (Whittaker, Brickley y Evans, 1998). En general, se debe sospechar de cualquier marca o contusión redondeada. Pero una huella por mordedura humana típica aparecería como una lesión de forma redondeada, ovalada o elíptica con un patrón de doble arco (dos arcos opuestos con forma de U, separados en sus bases por espacios abiertos que representan la parte posterior de la boca) y que estaría compuesta por las siguientes zonas de fuera a dentro: área difusa de hematoma, causada por los labios; marcas dejadas por los dientes anteriores; y equimosis o contusión

central causada por la presión de los dientes que rompen pequeños vasos o por la presión negativa debida a la succión producida por la lengua (Figuras 1 y 2).

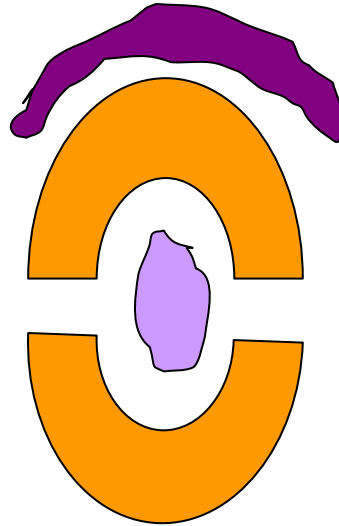


Figura 1. Esquema de una mordedura típica.

En esta imagen podemos ver dos arcos opuestos en forma de U donde se ubicarían las marcas dejadas por los dientes (color ocre), equimosis dejadas por los labios (color morado) y contusión central (color malva).

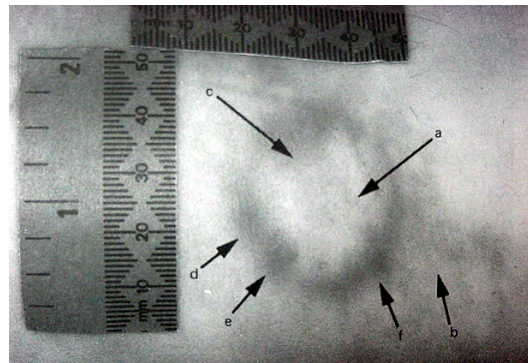


Figura 2. Fotografía de una mordedura humana típica. (Tomado de Ciapparelli y Hughes, 1992). En la parte central y señalado con la letra “a” se observa una zona de equimosis producida por la presión de la lengua. La flecha “b” señala una zona difusa equimótica producida por los labios. La flecha “c” nos indicaría las marcas producidas por la superficie palatina (interna) de los incisivos superiores, las flechas “d, e, f” indican características específicas de las marcas dentales.

En la mayoría de las huellas por mordeduras se observan las marcas producidas por los dientes. La huella dejada por los incisivos es superponible a un rectángulo alargado; los caninos dejan una impronta de forma triangular; los premolares pueden adquirir una forma variable que puede ser triangular, doble triángulo, o forma adiamantada; y, por último, los molares, que no suelen aparecer en la huella por su posición tan posterior en el arco dentario pero, si lo hacen, tienen forma de rectángulos anchos.

A veces, el patrón de mordida típico puede verse modificado, encontrándonos variaciones, éstas incluyen:

1. Rasgos adicionales

Son elementos que podemos encontrar añadidos a las características típicas como son:

- Abrusiones lineales. El término abrasiones lineales es comúnmente usado para describir el movimiento entre los dientes y la piel.

- Doble mordedura. En ocasiones un agresor puede morder a su víctima de forma repetida en un mismo lugar dando lugar a imágenes de mordeduras superpuestas las unas sobre las otras o cuando el agresor muerde a su víctima y esta se mueve produciendo una segunda mordedura en el mismo sitio (Bundy, 1986).

- Dibujos a través de los tejidos o ropa interpuesta. En ocasiones la mordedura puede aparecer incompleta, debido a que parte de la piel donde se produjo la misma estaba cubierta por ropa impidiendo por lo tanto que se impresionaran bajo esa zona las marcas dentales.

- Equimosis periférica. A consecuencia de las heridas producidas por las piezas dentales, se produce una extravasación sanguínea que va a ir confluyendo de unas a otras, produciendo una imagen en forma de arco y exterior al contorno de la mordedura.

- Mordeduras parciales. Son mordeduras en las que no se presentan las marcas típicas de los dos arcos dentales enfrentados entre sí, de manera que faltan elementos de lo que sería una mordedura normal. Podemos encontrarlos:

- Un arco (media mordedura). A veces porque había ropa interpuesta.
- Uno o pocos dientes. Por falta de presión o ausencia de los mismos.
- Marcas unilaterales (un lado) debido a una dentadura incompleta, presión desigual, torcida o distorsionada.

2. Mordeduras poco definidas/ descoloridas (desvanecida)

Debido a los fenómenos de extravasación sanguínea que acontecen a toda mordedura, a veces, y cuando éstos son muy intensos pueden provocar tal hemorragia, que produzcan un dibujo que difiera de lo que es una mordedura

normal (arcos enfrentados entre sí con las marcas de las piezas de forma individualizada). Así podemos encontrar:

- Arcos fusionados. La presión colectiva de los dientes deja arcos en forma de anillo sin presentar marcas de los dientes individuales.
- Mordedura sólida. El dibujo en anillo no aparece porque el eritema o contusión llena el centro entero, dejándolo lleno, descolorido, es como una marca circular.
- Arcos unidos. El maxilar y arco mandibular no están separados, están unidos por sus bordes.
- Latente. Vista sólo con técnicas especiales de imágenes. A veces la intensidad de la mordedura puede ser muy leve o haberse producido hace tiempo, en cualquiera de los casos siempre se producen pequeñas roturas de vasos sanguíneos y del tejido circundante que puede observarse con procedimientos que utilizan luces especiales bajo las cuales se visualizan estas marcas.

3. Mordeduras avulsivas

En este tipo de mordeduras se producen pérdidas de sustancia, pérdida de tejido implicado en las mismas, debido a que se trata de mordeduras que se han realizado con una gran intensidad y que provocan desgarros con lo que perdemos información sobre las marcas que hubieran dejado la piezas dentales. Esto suele ser frecuente en mordeduras producidas sobre la nariz, orejas, etc.

A pesar de las características típicas que pueden aparecer en las mordeduras humanas, tenemos que tener en cuenta las diferentes modificaciones que podemos encontrarnos, por ello es necesario tener un conocimiento detallado de la forma de la arcada humana, la morfología de cada diente, y las modificaciones que hayan podido producirse por la propia dinámica de la mordedura. Es por toda esta dificultad inherente a la propia herida por lo que en la

mayoría de las ocasiones, si esto fuera posible, se debe oír el criterio científico de un odontólogo/a forense.

Una vez que sabemos que se trata de una huella por mordedura humana, la mayoría de los odontólogos/as forenses están de acuerdo que el protocolo a seguir sería el siguiente:

1. Recogida de saliva si hubiera.
2. Fotografiar la lesión y
3. Toma de impresiones de esa zona de la piel para obtener posteriormente un modelo. En el caso de que la víctima fuera un cadáver, el protocolo también podría incluir la disección de la piel en el lugar de la mordedura.

5.2. Recogida de restos de saliva en la lesión por mordedura

Desde el momento que se asume que una mordedura no puede realizarse sin el depósito de saliva en el sitio de la herida, se comprende el interés que tiene la recogida de dicho indicio biológico. La muestra de saliva del lugar de la mordedura debe ser obtenida siempre que sea posible. Obviamente ciertas circunstancias como el lavado previo de la zona pueden impedir la toma de las muestras de saliva.

Las técnicas más tradicionales de análisis de la saliva con fines de identificación se basan en el estudio de los grupos sanguíneos. Los serólogos estiman que el 80-85% de la población secreta aglutininas en sus fluidos corporales (saliva, líquido seminal, lágrimas, sudor), las cuales pueden ser utilizadas para determinar el grupo sanguíneo al que pertenece (Clift y Lamont, 1974; Rutter y Whitehead, 1977; Sperber, 1986; Johnson y Cadle, 1989). En

algunos casos también se puede estudiar la presencia de marcadores polimórficos convencionales de saliva (isoenzimas y proteínas polimórficas) presentes en la saliva o en objetos manchados por ella y recogidos en el lugar de los hechos (Gaensslen, 1983). Además se pueden analizar otras sustancias presentes en la saliva mediante el empleo de determinaciones específicas como la del ion tiocianato, el ion nitrito, la fosfatasa alcalina y la amilasa salivar (Willott, 1974; Whitehead y Kipps, 1975; Kipps, Quarmby y Whitehead, 1978; Rushton y cols., 1979; DeForest, Gaensslen y Lee, 1983).

No obstante el empleo de estas técnicas tradicionales ha sido desplazado por el análisis de ADN, por su alta capacidad de discriminación entre individuos. De hecho, se ha demostrado que la saliva depositada contiene células epiteliales descamativas de la cara interna de los labios y de la mucosa oral, y leucocitos de los fluidos gingivales y tejidos. Estas células permiten el estudio genético molecular (ADN) para la identificación del agresor (Gill, Jeffreys y Werret, 1985; Giusti y cols., 1986; Kanter y cols., 1986; Hochmeister y cols., 1991; Walsh, Varlaro y Reynolds, 1992; Hopkins y cols., 1994; Sweet y cols., 1997; Sweet y Hildebrand, 1999).

El tiempo de recogida de la saliva es crítico ya que durante las primeras 24 h la concentración de ADN va disminuyendo rápidamente, para posteriormente mantenerse estable entre las 24 y 48 h (Sweet y cols., 1997). Para una mejor recuperación de las células epiteliales descamadas y de los leucocitos, los cuales en su mayor parte, suelen estar deshidratados tras secarse en la superficie de la piel, en el Departamento de Medicina Legal de la Universidad de Granada el Dr. David Sweet desarrolló una técnica nueva que permite obtener los mejores rendimientos de recuperación de la saliva, cuantificación del ADN y su posterior amplificación. Dicho método es conocido como del doble hisopo o método

húmedo/seco (Sweet y cols., 1997). En este procedimiento el primer hisopo se sumerge en agua destilada, se aplica sobre la piel realizando movimientos circulares con una presión moderada. Con esto se persigue rehidratar y soltar la mayoría de las células epiteliales, que se encuentran en la saliva reseca que ha sido depositada en la piel. El hisopo se deja secar completamente al aire libre, entre 30 ó 40 minutos, para evitar contaminaciones posteriores del fluido recogido. El segundo hisopo que se utiliza no está humedecido y mediante un sistema similar al anterior en cuanto a presión y movimientos, se persigue la máxima recogida de la zona previamente humedecida. Igualmente, y tras finalizar la operación descrita se deja secar al aire libre. Con este segundo algodón aplicado, las células de la saliva son capaces de adherirse más fácil porque están rehidratadas después de aplicar el primer algodón. Este procedimiento se realiza de la misma manera en una zona diferente a la que se produjo la mordedura para tenerla como control. Cada muestra se etiqueta, especificando el origen de la misma (control o no), la fecha, hora y las iniciales del investigador. De los dos hisopos, se puede extraer, cuantificar y amplificar el ADN de la saliva depositada. Esta técnica aumenta la cantidad de ADN recogido de las muestras de saliva encontradas en cualquier superficie de la escena del crimen.

Cuando se está limpiando la zona con el hisopo, hay que tener cuidado de no contaminar la muestra con sangre o restos procedentes de la zona lesionada. Por eso es aconsejable tomar una muestra control de una zona anatómica similar en la que no haya lesión por mordedura (por ejemplo, si la mordedura se localiza en el hombro derecho se toma muestra control del hombro izquierdo).

Se estima que la cantidad de saliva depositada en una mordedura es pequeña 30-40 μ l y distribuida en un área de 20 cm^2 (Clift y Lamont, 1974), lo que

justifica el empleo de métodos como el mencionado anteriormente, que permitan recoger y recuperar la mayor cantidad posible de células salivares y que minimicen el potencial de contaminación de células de la piel de la víctima.

Nunca se ha de olvidar que las mordeduras humanas se han de considerar como una evidencia física y biológica y que siempre se ha de intentar recoger el ADN aunque la cantidad de saliva presente se considere a priori mínima (Sweet y Shutler, 1999).

A pesar de que el ADN salivar es una evidencia muy importante, no siempre está disponible ya que hay casos en los que la mordedura se produjo a través de la ropa, el lugar de la herida se lavó, transcurrió mucho tiempo entre el incidente y la recogida de muestra, algún fallo en la recogida con el algodón o por su alto coste (Sweet y Pretty, 2001) y, por tanto, es necesario proceder a la comparación morfológica.

Para realizar un estudio comparativo adecuado de los perfiles genéticos (ADN) de la víctima y del presunto agresor o agresores, es imprescindible tomar una muestra biológica de la víctima (por ejemplo sangre recogida sobre un soporte de papel de filtro adecuado) y, como veremos más adelante, muestras biológicas (saliva o sangre) de los agresores.

5.3. Análisis fotográfico de la lesión por mordedura

Está ampliamente aceptado que la realización de fotografías es uno de los mejores métodos disponibles para analizar y documentar las mordeduras (Robinson y Wentzel, 1992). La técnica debe ser lo más depurada posible,

incluyendo una serie amplia de proyecciones y condiciones fotográficas (Golden, 1996). Por tanto, deben tomarse proyecciones generales en las que se recoja la orientación de la lesión con distintas estructuras anatómicas, así como proyecciones cada vez con más detalle del área lesionada. La resolución de las fotografías debe de ser de alta calidad. Se debe realizar fotografías con y sin escala (lineal plana, o autoadhesiva) o regla homologada (como la que propugna la ABFO nº2, Lightning Powder Co., Inc., Salem Oregon), la escala debe estar adyacente a la mordedura y en el mismo plano que ésta. La cámara fotográfica debe colocarse sobre la lesión, de tal manera que el plano de la película sea paralelo al plano de la escala para evitar distorsiones producidas a este nivel (Rawson y cols., 1986a).

La serie fotográfica debe incluir fotografías realizadas con flash (el flash debe utilizarse en posición oblicua y desde diferentes ángulos para iluminar distintas áreas de la lesión) como con luz ambiente y deben utilizarse tanto películas fotográficas en color como en blanco y negro (Wright, 1998). También podemos usar flash anular para mejorar algunos detalles de la fotografía. Para la realización de estas fotografías podemos utilizar un trípode u otros dispositivos que nos permitan colocar el film de la cámara paralelo a la mordedura. En ocasiones se han utilizado fuentes de luz de banda estrecha para observar mejores detalles (West, Hayne y Barsley, 1992) o incluso otro tipo de luces especiales (Krauss y Warlen, 1985; Barsley, West y Fair, 1990; David y Sobel, 1994; Golden, 1994). La fotografía ultravioleta, es usada como herramienta de investigación para fotografiar fluidos del cuerpo tales como orina, semen, sudor o como para registrar heridas y huellas digitales. Este tipo de luz ayudaría a incrementar detalles observados en heridas sobre la piel e incluso cuando éstas ya no son visibles al ojo humano. El espectro de la luz visible va de 400 a 700 nm,

el espectro de la luz UV es de 200 a 400 nm, y aunque la luz UV no es visible al ojo humano, es reactiva con materiales fotográficos.

Debido al cambio que sufren estas lesiones con el paso del tiempo, sería deseable repetir la serie fotográfica a intervalos de tiempo regulares; se recomienda cada 24 h durante un periodo de 3 a 5 días.

El objetivo del estudio fotográfico es conseguir una verdadera reproducción de los dientes del agresor (1:1) por tanto, es necesario minimizar, en la medida de lo posible, todos los factores que puedan distorsionar la realidad para conseguir una correcta interpretación de los resultados (Bowers y Johansen, 2001). Es en este apartado es donde existe la mayor disputa entre los diferentes expertos en fotografías de mordeduras (Rawson y cols., 1986a). Esta distorsión se debe a tres factores:

a) Distorsión inherente a las marcas en sí mismas debido a los mecanismos propios de producción de la mordedura y a las propiedades físicas y biológicas de la piel y estructuras subyacentes (Sheasby y MacDonald, 2001). Una mordedura rara vez es una reproducción exacta de los dientes porque se puede ver afectada por una serie de variables tal y como hemos descrito con anterioridad.

b) Distorsión por intentar representar las marcas que están en tres dimensiones en fotografías que las reduce a dos dimensiones. Cuanto mayor es la curvatura de la piel, mayor es la imprecisión. Por eso la película fotográfica ha de estar lo más paralela a la lesión. Rawson y cols., (1986a) hicieron un trabajo en el cual exponían que la imprecisión obtenida no era significativa, siempre y cuando se fotografiara paralelo al film de la cámara. Con las precauciones oportunas,

objetos de tres dimensiones pueden ser representados en imágenes en dos dimensiones y realizar un análisis preciso (Ebert, 1988).

c) Distorsión producida por la magnificación en la película fotográfica. Debido a la curvatura de la piel y a que se trata de marcas en tres dimensiones, cuando hacemos una fotografía de una mordedura, es difícil que la imagen obtenida sea de un tamaño real, generalmente suele haber una magnificación de la foto obtenida. Para intentar resolver este problema de la magnificación es preciso utilizar una escala en la fotografía (Hyzer y Krauss, 1988). De esta forma, como nosotros conocemos el tamaño exacto de la escala utilizada podemos modificar la fotografía hasta obtener un tamaño real (proporción 1:1) de la imagen de la huella por mordedura (Krauss, 1984). Hay diferentes escalas: la lineal, la adhesiva y la de la ABFO nº2. Cada una tiene sus adeptos y detractores debido a sus ventajas e inconvenientes que se describen a continuación.

La escala lineal plana tiene la ventaja de que puede ser muy bien alineada con la película de la cámara de fotos, sin embargo su mayor desventaja es que se adapta mal a las superficies curvas y su contacto con la piel es pequeño con lo que no da indicación del grado de curvatura de la piel. Como no se puede determinar el punto exacto de contacto de la regla con la piel la relación 1:1 de la fotografía es más que nada una fiel reproducción de la escala y no de la mordedura. A la escala adhesiva se la considera un poco imprecisa pues tiende a estirarse, sin embargo es muy cómoda de utilizar. Además ocurre que debido a que se adapta perfectamente al contorno de la piel, no produce un efecto de vacío como ocurre con las escalas rígidas. Al adherirse a la piel es un fiel reflejo de las zonas curvas y, por tanto, se puede estimar mejor la distorsión inherente a la curvatura anatómica. Para algunos autores si se colocan dos escalas adhesivas en ángulo recto, es la mejor opción para el análisis fotográfico, debido a que nos

da una idea de qué zonas son las más curvas y, por tanto, donde puede haber más o menos distorsión dentro de la imagen fotográfica.

La escala ABFO nº 2 es lineal, rígida, con forma de L y con tres círculos pintados en sus extremos. La incorporación de estos círculos a la escala fue propuesta por la American Board of Forensic Odontology para permitir valorar con precisión el ángulo de la fotografía y permitir corregir en el proceso de impresión cualquier distorsión causada por una angulación inadecuada.

Hay escuelas que propugnan unas técnicas rígidas en cuanto a la realización de las fotografías de las mordeduras (Kraus, 1984; Hyzer y Kraus, 1988). Otros tienen una aproximación más pragmática en cuanto a la distorsión fotográfica y su interpretación (Ebert y Campbell, 1985; Ebert, 1988). Autores más recientes consideran que una aproximación rígida al tema podría excluir muchos casos del análisis de las mordeduras. Cada odontólogo/a forense ha de decidir por sí mismo cuál de las técnicas fotográficas usa cuando se involucra en un caso, ya que ningún método es superior a otro sólo depende de la experiencia y familiaridad de cada uno.

A pesar de que pongamos todo nuestro empeño en evitar la distorsión fotográfica, ésta estará presente en casi todos los casos. Actualmente se dispone de medios informáticos a través del programa Adobe® Photoshop® para poder corregirla y a partir de ahí obtener imágenes a tamaño real de la mordedura en cuestión (Johansen y Bowers, 2000; Bowers y Johansen, 2002).

En la actualidad se están utilizando mucho las cámaras digitales para la realización de los procedimientos fotográficos, ya que ofrecen imágenes de muy alta calidad, además tienen otras muchas ventajas sobre las cámaras

convencionales y es que las imágenes obtenidas podemos borrarlas en el momento de hacerlas si no quedáramos contentos con el resultado obtenido y hacer otras de nuevo. Otras ventajas sobre las cámaras fotográficas convencionales es la rapidez de poder realizar el estudio comparativo pertinente, ya que las fotos obtenidas pueden introducirse al ordenador de forma inmediata sin tener que escanearlas previamente.

5.4. Toma de impresiones para la obtención de modelos de la huella por mordedura

Si la mordedura presenta perforaciones en la piel o tiene indentaciones obvias, se debe tomar una impresión de dicha área. Tanto en los casos de mordeduras producidas en sujetos vivos como en cadáveres, se puede obtener un modelo preciso de la lesión utilizando materiales dentales de impresión.

El material dental de impresión que se utiliza se debe caracterizar por tener una gran precisión y buena estabilidad a largo plazo como el vinil-polixilosano de media y baja densidad (Ciesco y cols., 1981; Lacy y cols., 1981; Dailey, Shernoff y Gelles, 1989).

Para reforzar el material de impresión y contrarrestar los cambios dimensionales es necesario utilizar un mecanismo de soporte que además reduce el riesgo de distorsión inherente a la curvatura de la zona anatómica (Sperber, 1981). Los criterios que debe seguir este dispositivo es el de rigidez y estabilidad, para así mantener el contorno anatómico de la impresión una vez es separado de la piel. Cada odontólogo/a forense está familiarizado con algún dispositivo en particular, como mallas de alambre, soportes de resina acrílica o mallas ortopédicas termoplásticas.

El tiempo de fraguado del material de impresión oscila, según los fabricantes entre 5-7 minutos bajo circunstancias normales. Este tiempo puede ser significativamente mayor cuando se trata de cadáveres, ya que la temperatura corporal es mucho menor, alcanzando tiempo de fraguados de 20 ó 30 minutos e incluso superiores. Posteriormente, en la impresión se vierte el yeso dental y se obtiene el modelo de la mordedura de forma que se pueda así obtener el positivo de la huella original. Cuando la piel no está perforada, un método alternativo es el mismo que el utilizado en las huellas dactilares: impresionando la huella sobre un papel adhesivo tras la aplicación del polvo de revelado sobre la lesión (Rao y Souviron, 1984).

En ocasiones y en el caso de que la víctima sea un cadáver puede ser importante extirpar la lesión de la mordedura para conservarla y estudiarla por transiluminación (Dorion, 1982; Dorion 1984; Dorion 1987). Es imprescindible para que no se deforme la mordedura, colocar un anillo de plástico (Sweet y Bastien, 1991) alrededor de la misma, adaptándola bien a la curvatura anatómica de la piel. Este anillo se moldea en un baño de arena o de sal (a una temperatura de 106 °C) y se adapta a la piel uniéndolo a ésta con pegamento de cianocrilato y sutura discontinua (Sweet y Bastien, 1991). Una vez adaptado, pegado y suturado el anillo se llena su interior con silicona fluida, que nos servirá de impresión. Cuando fragüe el material de impresión, recortaremos el tejido unos 2 cm por fuera del arco incluyendo la dermis y el tejido subcutáneo. El fragmento de piel hay que fijarlo en formaldehído al 4% unas 10 horas. Con el material de impresión retirado se procederá al vaciado del mismo con yeso dental para obtener el modelo de la mordedura. Una vez fijado el tejido puede ser analizado con técnicas de transiluminación, de interés sobre todo en lesiones por mordeduras con marcas difusas.

5.5. Recogida de muestras del sospechoso

Para una comparación posterior es imprescindible recoger las muestras del o de los sospechosos. Se debe incluir: un examen clínico completo (intraoral y extraoral), fotografías, la toma de impresiones para la obtención de modelos dentales de estudio, registro interoclusal, y muestras de saliva o sangre. Previamente a la exploración o recogida de muestras del sospechoso, es necesario informarle del motivo de la visita y obtener su consentimiento por escrito y firmado.

5.5.1. Examen clínico completo

Se comenzará con un examen extraoral en el que observaremos y registraremos cualquier factor en los tejidos orales, duros o blandos (cicatrices faciales, secuelas de tratamientos quirúrgicos), que puedan influir en la dinámica de la mordida del sospechoso o la capacidad de apertura y movimiento de la mandíbula. Se valorará el estado de la articulación témporo-mandibular (ATM), asimetrías faciales, el tono y la masa muscular, así como la presencia de vello facial, por la posibilidad de que se pudiera encontrar algún pelo en la mordedura. En la exploración intraoral se debe ser muy minucioso realizando un odontograma completo, anotando cualquier característica individualizadora que pueda permitirnos la posterior identificación, también tenemos que valorar el estado periodontal, sobre todo la movilidad de piezas por la posible variación en la posición de los dientes. Se realizará, además, un estudio oclusal (resaltes, sobremordidas, etc.) y se incluirá una exploración de la lengua (alteraciones del tamaño o del movimiento). Además, hay que asegurarse si el agresor ha recibido o no más tratamientos dentales desde el incidente hasta el momento de la exploración.

5.5.2. Documentación fotográfica

Es necesario realizar una serie fotográfica al sospechoso, en la que se incluyan las siguientes proyecciones.

1. Fotografías extraorales de frente (con los dientes cerrados en oclusión céntrica y borde a borde) y de perfil.

2. Fotografías intraorales. Se realizarán diferentes proyecciones con ayuda de espejos intraorales (Sweet y Leroy, 1993). En todas las fotografías se debe incluir una escala de la ABFO nº 2.

5.5.3. Toma de impresiones y obtención de modelos

La técnica de toma de impresiones no varía de la que se realiza en la práctica clínica habitual empleando cubetas convencionales. El material que se debe utilizar es aquél que permita obtener un modelo lo más preciso posible, así que es preferible el vinil-polixilosano. El único inconveniente que tiene es su tiempo de fraguado por lo que, en personas que no cooperan mucho, se puede plantear utilizar el alginato como material de impresión, que aunque no es tan preciso tiene un tiempo de fraguado más rápido. Las impresiones se vacían con yeso blanco (preferiblemente el utilizado en ortodoncia debido a su dureza) y es recomendable obtener dos juegos de modelos; el primero se debe guardar sin manipular y el segundo es el que se utiliza para el análisis. Hay que anotar el lugar, el tipo de material usado, material de vaciado y marcar la base del modelo con un número de identificación y fecha.

5.5.4. Registro interoclusal

Sería conveniente obtener del sospechoso un registro interoclusal en cera en oclusión habitual o máxima intercuspidad tomando las arcadas superior e inferior de forma independiente. Es importante en este registro que los dientes se hundan con la suficiente profundidad en el material de cera como para que queden registradas todas las superficies oclusales y bordes incisales pero que no atraviesen y perforen la plancha de cera. Sobre los modelos en cera del registro interoclusal se puede añadir material radiopaco y radiografiarlo o bien realizar una toma de impresiones sobre las indentaciones dejadas en la cera.

5.5.5. Recogida de muestra de saliva

Si se ha recogido saliva de la mordedura es necesario obtener una muestra de saliva del sospechoso. Se recoge la muestra utilizando un hisopo que se presiona con movimientos circulares sobre el vestíbulo y de esta manera se recoge tanto saliva como células epiteliales descamativas. Este registro debe hacerse en ambos lados de la boca, dejar las muestras secar al aire en lugar seguro. Una vez seco se etiquetan y se guardan en frío hasta su posterior análisis. Con las muestras obtenidas tanto del sospechoso como de la mordedura se puede proceder al análisis comparativo de ADN.

5.5.6. Recomendaciones generales

La exploración que se debe realizar en el sospechoso depende del grado de cooperación de la persona, por tanto, en situaciones en la que la cooperación no sea la adecuada, deberemos priorizar aquellas pruebas que son

indispensables para nuestra investigación: fotografías, modelos de estudio y recogida de saliva. En algunos casos los sospechosos que en principio se mostraban colaboradores posteriormente cambian de parecer en el transcurso de los procedimientos. Dos aspectos hay que tener en cuenta en la obtención de pruebas de los sospechosos. En primer lugar, tenemos que obtener su consentimiento para poder realizarles todas estas pruebas y, en segundo lugar, no hay que avasallar al sospechoso con procedimientos que no sean absolutamente necesarios.

5.6. Comparación de la huella de la mordedura con las muestras del sospechoso

Es el último paso en el análisis de las huellas por mordeduras y consiste en comparar la mordedura desconocida encontrada en la víctima o en un objeto con la del sospechoso. Los indicios con los que contamos para llevar a cabo el proceso de comparación de la mordedura, pueden ser variados: por parte del sospechoso podemos disponer de fotografías de su dentadura, de modelos de su boca y de un registro interoclusal de su mordida en cera. De la víctima disponemos de las fotografías de la mordedura y de los modelos obtenidos de la toma de impresión de la lesión. Todos ellos son factibles por el proceso de comparación, sin embargo, el más utilizado en la actualidad es la comparación entre la fotografía de la huella por mordedura y los modelos dentales del sospechoso.

El proceso de comparación de una huella por mordedura se realiza en dos grandes apartados: el primero comprende la medida de los rasgos y características específicas, conocido como análisis métrico; y en segundo lugar, la asociación de patrones, es decir, la comparación de la forma y el patrón de la

herida con los que presenta los dientes del sospechoso. De esta manera, se valora el grado de concordancia entre ellos.

5.6.1. Análisis métrico

En el análisis métrico estudiaremos, en primer lugar, la forma de la mordedura porque ésta depende de la superficie de tejido afectada por la mordedura. Si la forma es elíptica nos indicaría que se ha cogido poca cantidad de piel y que sólo han participado los dientes anteriores, cuando actúan también los premolares la forma de la mordedura es circular (MacDonald, 1974; Jakobsen y Keiser-Nielsen, 1981).

El siguiente problema es analizar qué arco de los dos posibles existentes está producido por los dientes superiores y cuál por los inferiores. Generalmente, el arco producido por los dientes superiores es más ancho (medimos el perímetro o distancia intercanina). Sin embargo, tenemos que tener cuidado, porque en el caso de una mordida cruzada anterior (en una clase III de Angle) podría ser justamente al contrario. Una vez definido este aspecto, podemos calcular dónde están las líneas medias de cada arco y así conocer la posición de la mandíbula en el momento de la mordedura, es decir, si estaba centrada con respecto al maxilar superior o estaba en una posición oblicua hacia la derecha o hacia la izquierda.

A continuación, mediremos la longitud, anchura y profundidad de las indentaciones, las cuales, representarían los bordes incisales de los dientes del sospechoso, que son las marcas más estables de este tipo de lesiones. En ellos podemos observar algunas características individualizadoras como rotaciones, fracturas, ausencias o alteraciones oclusales (si una marca de un diente anterior

no aparece puede ser debida a que el diente no esté o que tenga una posición oclusal en la arcada en un plano inferior). También mediremos la distancia intercanina, el espacio entre las marcas de los dientes y el diámetro mesio-distal de los dientes en los modelos del sospechoso (nos indicarían la presencia de diastemas, ausencias o posiciones inferiores del plano oclusal), las rotaciones en la forma normal del arco (indicándonos la existencia de rotaciones dentarias), y malposiciones de los dientes. Estas mediciones se harán tanto para la huella de mordedura de la víctima fotografiada a tamaño real como para el material procedente del sospechoso (normalmente sus modelos). La comparación de ambos datos nos puede dar una idea del grado de concordancia entre el tamaño y forma de las marcas dejadas en la lesión y los dientes del sospechoso. Para realizar estas medidas es muy útil el empleo de un compás de punta seca, si es posible que tengan un tornillo de ajuste para que pueda mantener de manera precisa las mediciones.

5.6.2. Asociación de patrones

Una vez se han obtenido los datos más relevantes tanto de la víctima como del sospechoso, comenzamos con el proceso de comparación de los patrones. Muchos han sido los métodos presentados para poder establecer comparaciones entre las mordeduras y los dientes de los perpetradores de las mismas. Para una más clara exposición los vamos a dividir en métodos directos e indirectos.

Métodos directos

El método directo consiste en colocar los modelos del sospechoso directamente sobre las fotografías, y así ver los puntos concordantes. Una ventaja

de este método es que los modelos pueden moverse sobre la fotografía y permiten ver la dinámica de la mordedura, mostrando los deslizamientos y rascaduras.

West y Frair (1989) usaron directamente los modelos dentales de un sospechoso de haber asesinado a una mujer, colocándolos sobre uno de los pechos de la víctima en la que se halló una mordedura. De esta forma los arrastraron a través de la piel demostrando que las marcas habían sido producidas por los dientes del sospechoso. El procedimiento entero fue fotografiado, y grabado en video y expuesto como prueba. Furness (1968) describió un método similar usado por la policía con las huellas digitales y que consiste en la búsqueda de puntos de coincidencias entre los modelos dentales y las marcas de los dientes. Esta técnica tiene la ventaja de que detalles como las marcas dejadas por los cíngulos prominentes de algunos incisivos pueden ser tenidos en cuenta como características individualizadoras. La desventaja es que esta técnica no puede ser utilizada en casos de marcas gruesas distorsionadas, donde las líneas podrían no estar diferenciadas nítidamente.

Los métodos directos, aunque usados en los inicios del desarrollo de la investigación de las huellas por mordeduras, han sido desbancados por los métodos indirectos.

Métodos indirectos

Los métodos indirectos son los más utilizados. Para comparar el patrón de los dientes del sospechoso con la mordedura, se obtiene una imagen de los bordes incisales de los dientes anteriores superiores e inferiores del sospechoso en una transparencia (papel de acetato) a tamaño real. De esta manera, nos

permite comparar los patrones de los dientes del sospechoso con una fotografía de la mordedura que se haya tomado a tamaño real (1:1). El análisis es posible porque la fotografía de la mordedura se puede visualizar a través de la transparencia donde están recogidos los bordes incisales de los dientes del sospechoso y además, se puede mover en cualquier dirección. Este método fue utilizado por primera vez por Sorup en 1924, y citado por Ström (1963). Posteriormente, Cameron y Sims (1974) describieron un método usando un film de acetato adaptado al modelo y trazando sobre él las superficies de los dientes. Sin embargo, no es recomendable utilizarlo en todos los casos ya que el trazado hecho a mano, puede inducir a errores.

Otro método descrito consiste en impresionar una lámina de cera con los modelos, según la técnica descrita por Luntz y Luntz (1973) para producir una impresión de los bordes incisales y caras oclusales de las piezas dentarias. Posteriormente, se coloca una transparencia encima de la cera y se traza con un lápiz fino el perímetro de las marcas producidas. Una variante de este método es que una vez que hemos realizado las marcas sobre una lámina de cera con los modelos dentales, los rellenamos con un material radio opaco. Para ello mezclamos 600 mg de polvo de amalgama con 30 μ l de alcohol isopropílico, vamos colocando la mezcla en los huecos de las marcas, el alcohol en unos cinco minutos se evaporará, y lo que queda nos marcará la forma, el tamaño y la posición anatómica de las piezas dentales. Haremos una radiografía y la imagen obtenida la importamos a un programa informático de análisis de imágenes (Adobe® Photoshop®) en el que invertimos el color de la imagen (comando inverso), de manera que obtendremos un fondo blanco con bordes negros delimitando el área de los dientes (Sweet y Bowers, 1998).

Uno de los métodos que se ha venido utilizando hasta ahora consiste en obtener la transparencia de la mordida del sospechoso fotocopiando los modelos dentales (Dailey, 1991). Este método era el más utilizado y el procedimiento consiste en:

1. Calibrar la fotocopidora de manera que obtengamos imágenes a tamaño real (magnificación 1:1).

2. Colocar los modelos del sospechoso en la fotocopidora, de manera que estén como si estuvieran con la boca abierta, con sus bordes incisales y caras oclusales contactando con la superficie del cristal. Además hay que colocar la escala de la ABFO nº 2 boca abajo y en el lado izquierdo del modelo inferior, para facilitarnos la orientación adecuada de los modelos durante el resto del procedimiento.

3. La fotocopia obtenida, se coloca sobre una caja de luz para ver la imagen fotocopiada a través del papel. Cuidadosamente, en el reverso de la hoja fotocopiada se delinear los bordes incisales y caras oclusales de los dientes que se desean comparar. Asimismo, se delimita la escala de la ABFO. De esta imagen haremos una fotocopia con papel de acetato para la comparación posterior con la fotografía de la mordedura.

De esta manera, se procede a la comparación de la mordida del sospechoso en la transparencia de acetato con la fotografía de la huella de mordedura en la víctima, ambas a escala real. Este método tiene como ventaja el ser un método fácil, barato y permite orientar la mordida del sospechoso en diferentes posiciones (Dailey, 1991).

En la actualidad, se ha desarrollado un método que permite obtener la huella de mordida de los modelos dentales del sospechoso al detectar áreas de píxeles similares. El método consiste en escanear los modelos dentales de yeso en un escáner de dos dimensiones. La imagen digital obtenida es procesada en un programa de análisis de imágenes (Adobe® Photoshop®) y así se obtiene una imagen de la huella dental, que viene representada como el perfil de los dientes implicados en una mordedura al detectar áreas de píxeles similares. Esta huella puede ser comparada con la fotografía de la mordedura, superponiéndose a ella, ya que la fotografía podemos una vez escaneada importarla también al programa, o bien si se utiliza fotografías digitales se descargan las imágenes directamente al Adobe® Photoshop®. El programa también dispone de medios para poder hacer mediciones lineales y angulares de las marcas observadas en las fotografías de las huellas. De esta manera podemos ver la existencia o no de coincidencias de tamaño de arco, posición de los dientes, número de los mismos, etc. Los detalles de este método y su procedimiento se describen en el capítulo de Material y Métodos de esta tesis doctoral.

A pesar de que los métodos indirectos para el análisis de las huellas por mordeduras son utilizados en la actualidad, es necesario, mejorar ciertos aspectos como la objetividad, precisión y versatilidad de estos métodos, por lo que es necesario profundizar en la investigación de este campo.

5.6.3. Técnicas complementarias

Aunque las técnicas anteriormente descritas son las más utilizadas actualmente en la práctica, se han desarrollado otros procedimientos fruto del desarrollo de otras líneas de investigación en este campo. Una de las técnicas que se están desarrollando es el uso de la **fotografía ultravioleta**. Este tipo de

fotografías presenta ventajas como que se observan mayor número de detalles en la lesión debido a su mayor longitud de onda. Además, refleja una mayor claridad de líneas debido a la posibilidad de observar cambios pigmentarios que ocurren tras la lesión y que son invisibles a la vista. Incluso semanas o meses después de tener lugar la mordedura pueden obtenerse datos lo suficientemente evidentes, ya que persisten lesiones observables (David y Sobel, 1994). La **xerografía** y **transiluminación** (Rawson y cols., 1979) son técnicas que han sido utilizadas en el análisis de las mordeduras. Ambas técnicas requieren la disección y extracción del tejido afectado por la mordedura. En la técnica de la xerografía se utiliza una capa de contraste de yodo y sólo es aplicable cuando las indentaciones están presentes. La transiluminación del tejido con una fuente de luz permite realzar la visión de los cambios tisulares ocasionados por la hemorragia producida y la consecuente infiltración sanguínea perilesional. Este procedimiento es especialmente útil cuando la marca es muy difusa.

El uso del **microscopio electrónico** de barrido es otra de las técnicas complementarias usadas. Con el análisis de las mordeduras se intenta descubrir el causante de las marcas dejadas sobre la piel o algún otro material por parte del agresor. Esto conlleva la comparación de uno o más conjuntos de dientes con las marcas en cuestión. Es importante obtener el mayor número de datos y es aquí donde el microscopio juega un papel crucial (Bang, 1976; David, 1986; Lightelm, Coetzee y van Niekerk, 1987) porque la microscopía electrónica es capaz de detectar características individuales debido a su alto nivel de resolución (Solheim y Leidal, 1975; Vale y cols., 1976).

Las **marcas de mordeduras experimentales** han sido utilizadas como ayuda en las comparaciones. Estas pueden ser producidas bajo ciertas circunstancias. Vale y cols., (1976) hicieron un modelo de caucho de una nariz

que había sido mordida y sobre él intentaron reproducir con los modelos del sospechoso la mordida.

El uso de la piel de algunos animales para producir mordeduras simuladas está bien establecido en la odontología forense. La piel del cerdo se la considera de análogo parecido a la humana, a la hora de establecer patrones de comparación de mordeduras (Zhang y Monteiro-Riviere, 1997). Otros estudios han usado piel de cerdo postmortem (Whittaker, 1975; Kouble y Craig, 2004), piel de perros antemortem (Rawson y cols., 1986b) y piel de oveja antemortem (Ligthelm y DeWet, 1983).

Harvey (1976b) realizó un experimento en el cual se mordió a una persona viva y analizaron durante una semana la herida describiendo que los cambios más notables ocurrieron en las primeras 24 h.

Con estos estudios experimentales pueden demostrarse el mecanismo de producción de huellas, así como determinados rasgos inusuales de la dentadura.

Los métodos complementarios descritos suponen una ayuda para la resolución de ciertos casos pero no constituyen hasta la actualidad un método fiable que desbanque a los métodos indirectos en el análisis de las huellas por mordeduras.

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Tal y como ha quedado ampliamente expuesto en el capítulo de Introducción y antecedentes de esta tesis doctoral, el análisis médico-forense de las heridas por mordeduras humanas es un problema complejo, de gran actualidad dentro del campo de la odontología forense. También se han expuesto los métodos y técnicas disponibles en la actualidad para el análisis comparativo entre una huella de mordedura humana dejada impresa sobre la piel de una víctima y las huellas dentarias generadas, por cualquiera de los procedimientos descritos, e impresas en papel transparente de acetato.

La principal limitación que presentan los métodos de generación de transparencias de las huellas dentarias es su falta de objetividad por necesitar, en todos los casos, la interacción y participación del perito en el diseño de la forma de la huella dentaria. Además, la metodología existente hasta el momento presente necesitaba transformar los bordes incisales dentarios de las piezas implicadas en la mordedura en imágenes en dos dimensiones lo que implica una pérdida de información y distorsión al tratarse de imágenes originales en tres dimensiones.

Por estos motivos, y ante la necesidad de diseñar y proponer nuevos métodos de generación de transparencias de las huellas dentales que mejoraran los existentes se ha realizado este trabajo de investigación con los siguientes

OBJETIVOS:

Primero: Diseñar, elaborar y desarrollar una nueva herramienta informática empleando las nuevas tecnologías de imágenes en tres dimensiones para la mejora del análisis forense de las huellas por mordeduras humanas.

Segundo: Analizar la validez del nuevo método en relación a la reproductibilidad de sus determinaciones para un mismo observador y entre varios observadores.

Tercero: Estimar la precisión del método en cuanto a sensibilidad y especificidad en la estimación de la identidad de una huella dental.

Cuarto: Comparar los resultados del nuevo método con los obtenidos empleando un método de generación de huellas de mordida en dos dimensiones, Adobe[®] Photoshop[®].

III. MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL

Para este estudio se han utilizado 61 modelos dentales (superior e inferior) de tres procedencias diferentes. Un grupo de modelos procede de pacientes atendidos en clínicas dentales privadas (17 modelos), un segundo grupo procede de clínicas dentales especializadas en ortodoncia (25 modelos) y en tercer lugar, de las clínicas dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Granada (19 modelos). De la totalidad de la muestra, 22 modelos pertenecen a hombres, 37 a mujeres y en dos casos se desconocía el sexo. El rango de edades de la muestra está comprendido entre 6 y 70 años, distribuidos en 13 casos de niños (de 6 a 17 años) y 48 casos de adultos (de 21 a 70 años). En la Tabla 1 se describen las características de la muestra, incluyendo el número del caso, el sexo y la edad.

Tabla 1. Características de la muestra (modelos dentales) utilizada en el presente trabajo de investigación.

Nº de caso	Sexo biológico	Edad (años)
1	Hombre	40
2	Mujer	50
3	Hombre	25
4	Mujer	32
5	Mujer	26
6	Mujer	25
7	Hombre	31
8	Mujer	25
9	Mujer	23
10	Hombre	21
11	Mujer	30
12	Mujer	35
13	Mujer	38
14	Mujer	25
15	Hombre	24

16	Mujer	32
17	Mujer	50
18	Hombre	22
19	Mujer	27
20	Mujer	25
21	Hombre	28
22	Mujer	17
23	Hombre	24
24	Mujer	21
25	Mujer	37
26	Mujer	9
27	Mujer	30
28	Mujer	17
29	Mujer	31
30	Mujer	42
31	Mujer	31
32	Mujer	21
33	Mujer	26
34	Mujer	16
35	Desconocido	niño
36	Mujer	31
37	Hombre	70
38	Mujer	43
39	Mujer	23
40	Hombre	6
41	Mujer	10
42	Desconocido	Adulto
43	Hombre	33
44	Hombre	57
45	Hombre	35
46	Mujer	27
47	Hombre	35
48	Mujer	29

49	Hombre	11
50	Mujer	22
51	Hombre	7
52	Hombre	35
53	Mujer	22
54	Hombre	8
55	Hombre	10
56	Hombre	63
57	Mujer	22
58	Hombre	10
59	Mujer	8
60	Mujer	22
61	Hombre	23

Tras la toma de impresiones, éstas se vaciaron en yeso blanco (Selenor Speciale Ortodoncia, tipo III) siguiendo las pautas de dosificación de agua y yeso que indica el fabricante. Este yeso es de gran dureza y así se evita que puedan deteriorarse fácilmente las piezas dentarias. El color blanco de los modelos dentales es importante en esta investigación, pues permite un mejor contraste.

MÉTODOS

1. PROCEDIMIENTOS ACTUALES PARA LA OBTENCIÓN DE HUELLAS DE MORDIDA A PARTIR DE LOS MODELOS DENTALES

Se presentan a continuación dos métodos diferentes para generar huellas de mordida a partir de los modelos del sospechoso. El primer procedimiento permite generar una huella a partir del escaneado de los modelos en dos dimensiones empleando el programa Adobe® Photoshop®. El segundo procedimiento genera la huella pero partiendo de una imagen escaneada de los modelos dentales del sospechoso en tres dimensiones y empleando el programa DentalPrint©, específicamente diseñado en este trabajo de investigación. La

metodología experimental empleada en el presente trabajo de investigación se puede estructurar en tres grandes apartados:

- Generación de huellas de mordida por técnicas en dos dimensiones.
- Generación de huellas de mordida por un nuevo método en tres dimensiones.
- Proceso de comparación de las huellas dentales y las fotografías de las mordeduras.

1.1. Generación de huellas de mordida a partir de imágenes de los modelos dentales escaneados en dos dimensiones y empleando el programa Adobe® Photoshop®

Sintéticamente, el procedimiento consiste en escanear los modelos dentales del sospechoso o actor de la mordedura en un escáner de dos dimensiones. Posteriormente, la imagen obtenida es importada al programa de análisis de imágenes Adobe® Photoshop®, donde se genera una imagen de la huella de la mordida del sospechoso al seleccionar áreas de píxeles similares. La imagen obtenida se compara con la fotografía de la mordedura de la víctima (Sweet, Parhar y Wood, 1998; Sweet y Bowers, 1998; Johansen y Bowers, 2000; Bowers y Johansen, 2001; Pretty y Sweet, 2001).

1.1.1. Requisitos técnicos

El ordenador utilizado en esta técnica ha sido un PC Intel® Pentium 4 CPU, 1.50 GHz, 524 Mb RAM, tarjeta gráfica NVIDIA Geforce4 MX 440 128MB, monitor de color de 17 pulgadas (Trinitron® Color Computer Display, Sony Corp., Tokio, Japan) escáner Hp scanjet 5470c, impresora photosmart 7350printer (Hewlett-Packard Comp., CA, USA), y el sistema operativo Windows Millenium (Microsoft Corp., Redmond, WA).

1.1.2. Escaneado de los modelos en dos dimensiones

Los modelos del sospechoso, se realizan en yeso blanco y se posicionan sobre la plataforma del escáner de forma que exista el mayor número posible de contactos de los bordes incisales dentales con el cristal del escáner. Junto a los modelos se coloca un testigo métrico, como es la escala de la ABFO nº 2. Uno de los brazos de la regla se colocará próximo a los incisivos del modelo inferior y el otro brazo sobre su lado izquierdo (Figura 3). Esto lo hacemos así para tener una referencia que nos permita siempre orientar la huella de la mordedura. Para evitar la luz externa que afecta la calidad de la imagen escaneada, se cubren los modelos con una caja de cartón forrada interiormente de cartulina negra.

Es importante colocar los modelos de forma que la luz del escáner, al leer la imagen, se desplace de lingual a bucal, pues de esta forma se perfila mejor la imagen de los bordes incisales (el contraste es mayor). Esto habrá que comprobarlo previamente pues en todos los escáneres la dirección del haz de luz no es la misma. En el escaneado se pretende, además, obtener imágenes de la mejor calidad y un adecuado tamaño por lo que se recomienda emplear una resolución de 300 ppi (píxeles por pulgada) y en escala de grises (Johansen y Bowers, 2000; Sweet y Bowers, 1998; Sweet, Parhar y Wood, 1998).

La imagen escaneada se importa al programa de análisis de imágenes Adobe® Photoshop®, posteriormente, el modelo superior habrá que rotarlo 180 grados para colocarlo en la posición adecuada para continuar el trabajo.

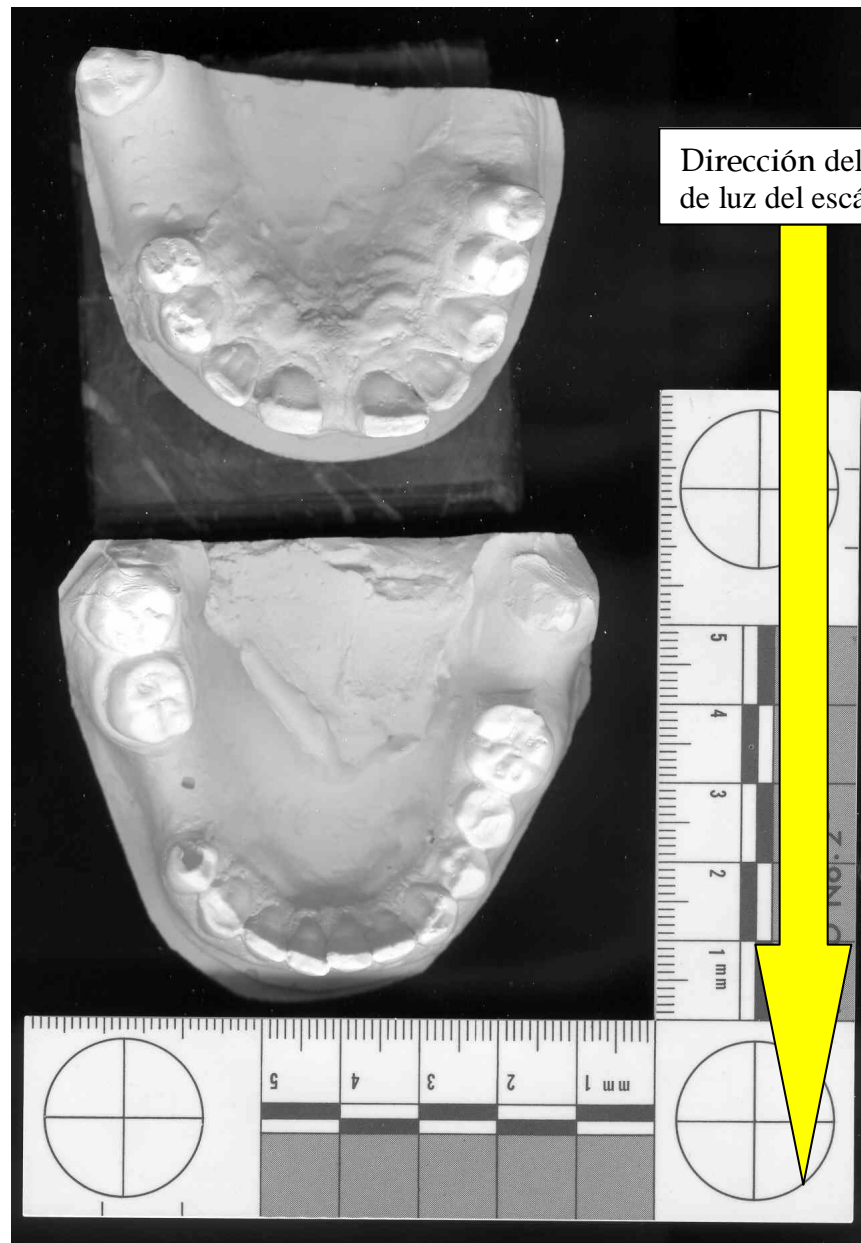


Figura 3. Posición de los modelos dentales del sospechoso en el escáner Hp scanjet 5470c. Para que los modelos sean escaneados de lingual a vestibular, es necesario colocarlos según muestra la imagen. En la figura vemos también como se ha colocado la escala de la ABFO nº 2.

1.1.3. Obtención de la imagen en el programa Adobe® Photoshop®

Este programa trabaja con imágenes constituidas por diferentes capas y que pueden superponerse o sustraerse unas de otras. La imagen de los modelos dentales escaneados y la escala de la ABFO es importada al programa

Adobe® Photoshop®. El programa al abrir esta nueva imagen crea automáticamente una primera capa que se denomina fondo. Es recomendable duplicar la imagen de los modelos dentales y guardar una copia de la imagen original sin modificación alguna.

1.1.4. Orientar de forma correcta la escala de la ABFO al eje x/y de la imagen de la imagen

En primer lugar se alinea la imagen con respecto al eje x e y, trazando una horizontal sobre el brazo inferior de la escala de la ABFO (Figura 4). De esta forma, la escala quedará orientada de forma correcta con relación al eje x/y, esto es importante porque la herramienta de medición sólo trabaja sobre ese eje. Se activa la función de medición y se traza una línea recta horizontal entre las dos circunferencias del brazo inferior de la escala. En el ángulo superior derecho de la pantalla aparecen los grados positivos o negativos que sitúan a la horizontal trazada por encima o por debajo del eje x de la imagen. La desviación detectada se puede corregir de forma automática.

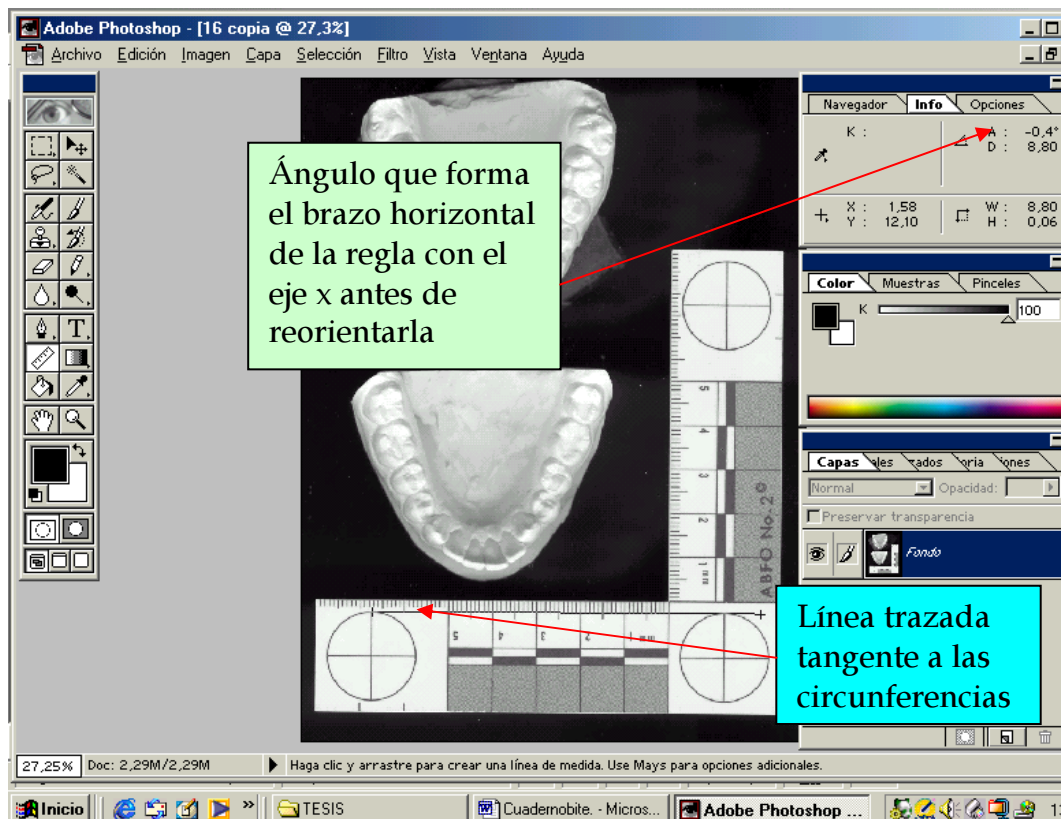


Figura 4. Proceso de orientación adecuada de la escala.

1.1.5. Rotar el modelo superior

Como se mencionó antes, los modelos superior e inferior han sido escaneados con una dirección del haz de luz de lingual a bucal, de forma que es necesario rotar 180° el modelo superior y así lograr una posición correcta para la generación de la huella de mordedura (Figura 5).

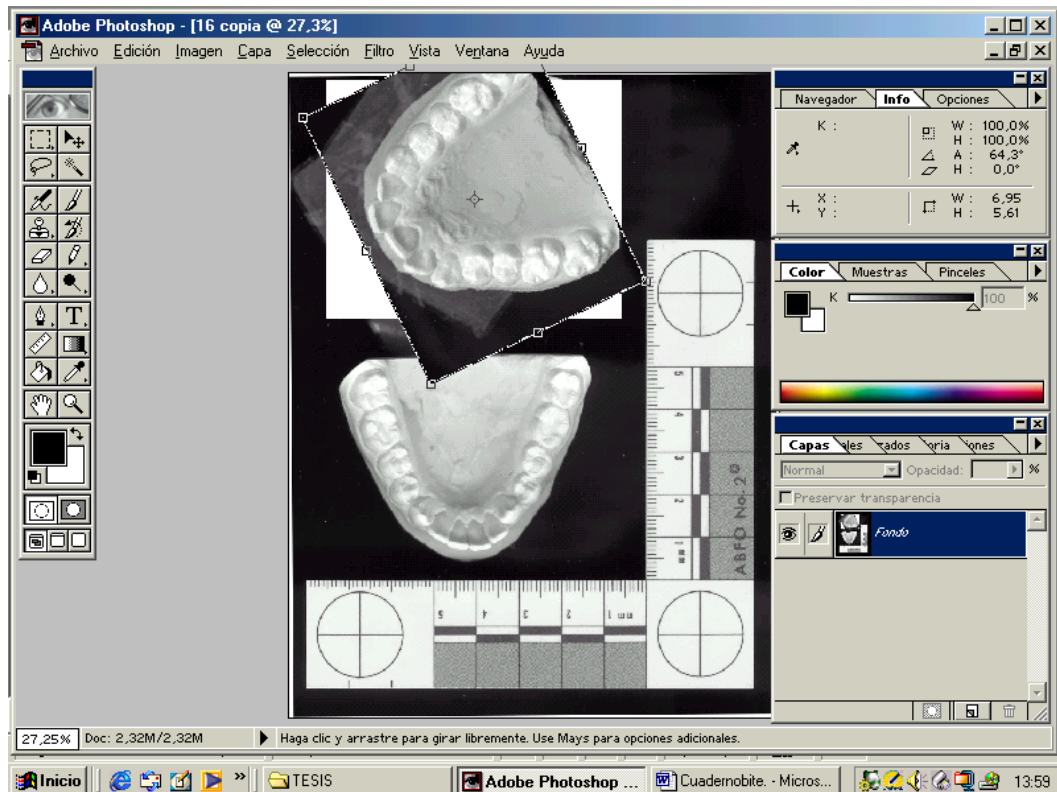


Figura 5. Rotación del modelo superior.

Para realizar este proceso, se utiliza la herramienta marco rectangular, que permite seleccionar un área alrededor del modelo del maxilar. Con el botón izquierdo del ratón pulsado y sin soltarlo, se sitúa el cursor en el ángulo superior izquierdo de la imagen del modelo superior y, deslizándolo hacia el ángulo inferior derecho, se marca el área seleccionada. Para rotar el área, se selecciona **Edición > Transformación libre**, de forma que el recuadro se transforma y pasa de ser una línea de puntos estática a una línea de puntos en movimiento con ocho puntos a lo largo de su perímetro, que no se deben tocar para no distorsionar la imagen. Se sitúa el cursor en alguna de las esquinas del recuadro hasta que aparezca una flecha curva; se activa con el cursor y sin soltar se gira la imagen

180°. El último paso consiste en situar la imagen en el lugar adecuado, alineado con el modelo inferior. Esto se consigue activando el cursor en cualquier parte de la imagen del modelo superior, moviéndola arriba, abajo, a derecha o izquierda. Una vez que esté situada en el lugar correcto presionamos la tecla **Enter** para completar la transformación y luego **ctrl + D** para deseleccionar el modelo superior. Por último, se graba la imagen completa de los dos modelos en posición correcta.

1.1.6. Pintar de negro las áreas no deseadas

Todas las áreas que hayan quedado blancas al mover el modelo, así como todas aquellas que no nos interesen para la creación de las huellas de mordedura (como el paladar y zona lingual) se han de **pintar de negro** (Figura 6). Esto nos dará un mayor contraste en los pasos siguientes para un mejor resultado final. Para ello, en la **herramienta cuentagotas** se elige el color negro y con la herramienta **pincel**, procedemos al relleno. Magnificamos la imagen con la herramienta **zoom** o con el **navegador** (zona superior derecha) para ver mejor los detalles, y usamos un tamaño de pincel grande. Ahora procedemos a pintar la zona palatina y lingual de los modelos, y todas aquellas irregularidades que existan en el fondo de la imagen. Debemos dejar sólo sin pintar lo que son las piezas dentales (Figura 6).

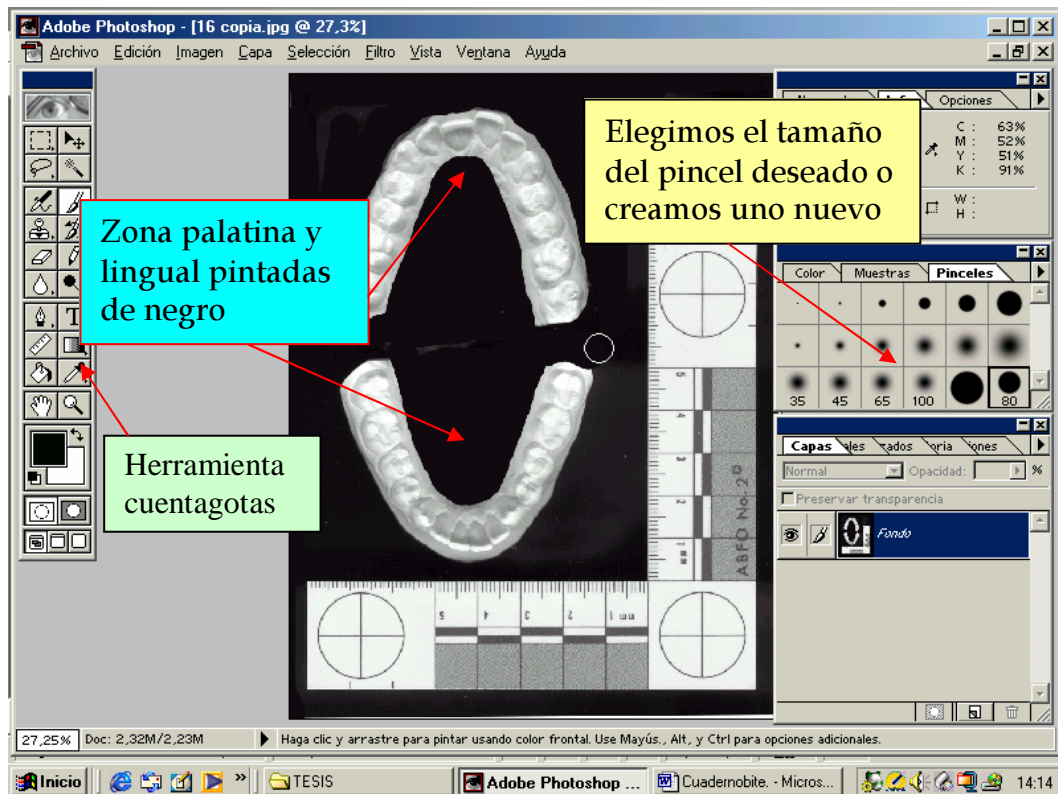


Figura 6. Pintado en negro de áreas no deseadas. Con la herramienta pincel pintaremos de negro las zonas que no nos interesen para la creación de las huellas de mordida. En la ventana de los pinceles elegiremos el tamaño adecuado del mismo para el relleno, nos interesará tomar uno de gran grosor para rellenar de una manera rápida la imagen.

1.1.7. Selección de los bordes de los dientes

En este paso vamos a determinar los bordes incisales de los dientes al seleccionar áreas de píxeles similares, que son zonas de los arcos dentales que tienen un mismo color, tono e intensidad. El programa dispone de una herramienta denominada **varita mágica** con la que es posible seleccionar aquellas áreas de píxeles similares.

Previo a seleccionar la herramienta varita mágica tenemos que modificar la tolerancia. Éste es un parámetro que podemos modificar en el programa, y que hace referencia a la capacidad que tiene éste de poder distinguir entre diferentes colores (píxeles diferentes). Así pues para mejorar el funcionamiento de la herramienta de la varita mágica es conveniente trabajar a

una tolerancia de 18 y desactivar la casilla de suavizado (Bowers y Johansen, 2001). De manera que, cuánta más baja sea la tolerancia más discrimina el programa entre tonos de un mismo color (blanco y grises en este caso) (Figura 7).

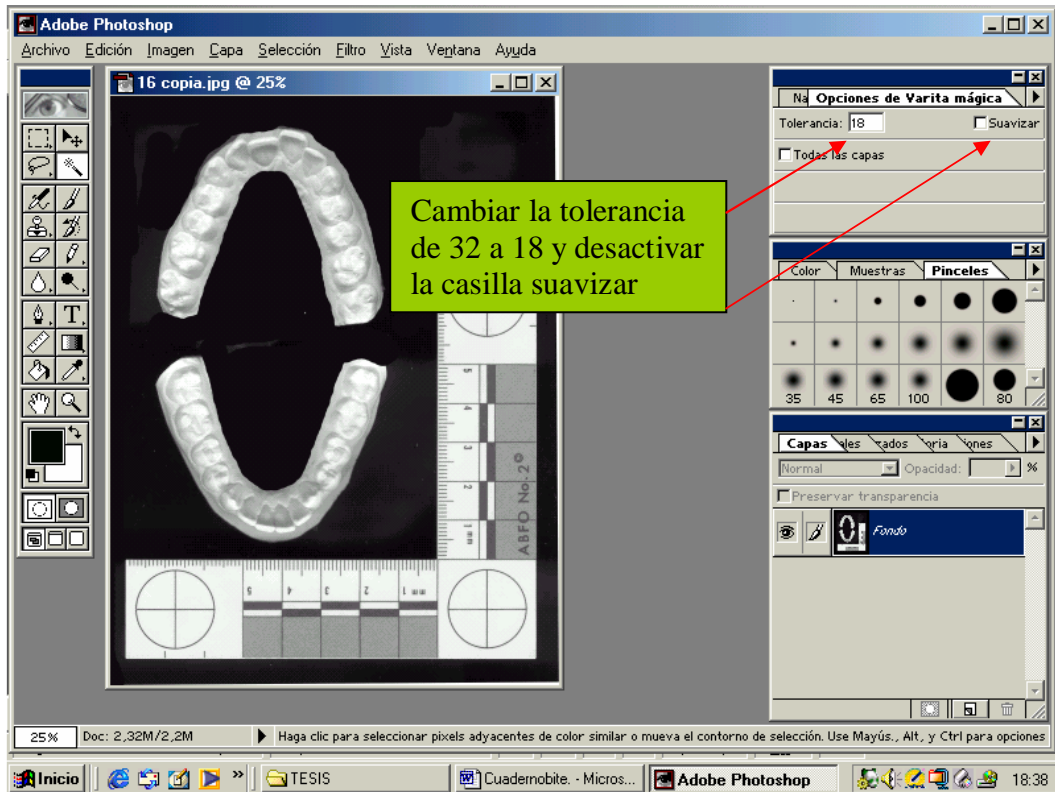


Figura 7. Selección del valor de la tolerancia.

En el siguiente paso es recomendable aumentar la imagen con el zoom a un 50% ó 100% . Activada la herramienta varita mágica, colocamos el cursor encima del borde de un diente y pulsamos el botón izquierdo del ratón. A partir de esta primera selección se van seleccionando paulatinamente todas aquellas áreas de los dientes que tengan valores de píxeles similares. Estos son usualmente los tonos más claros, más iluminados, que coinciden con los puntos de los dientes más próximos al cristal del escáner cuando fueron colocados (Figura 8).

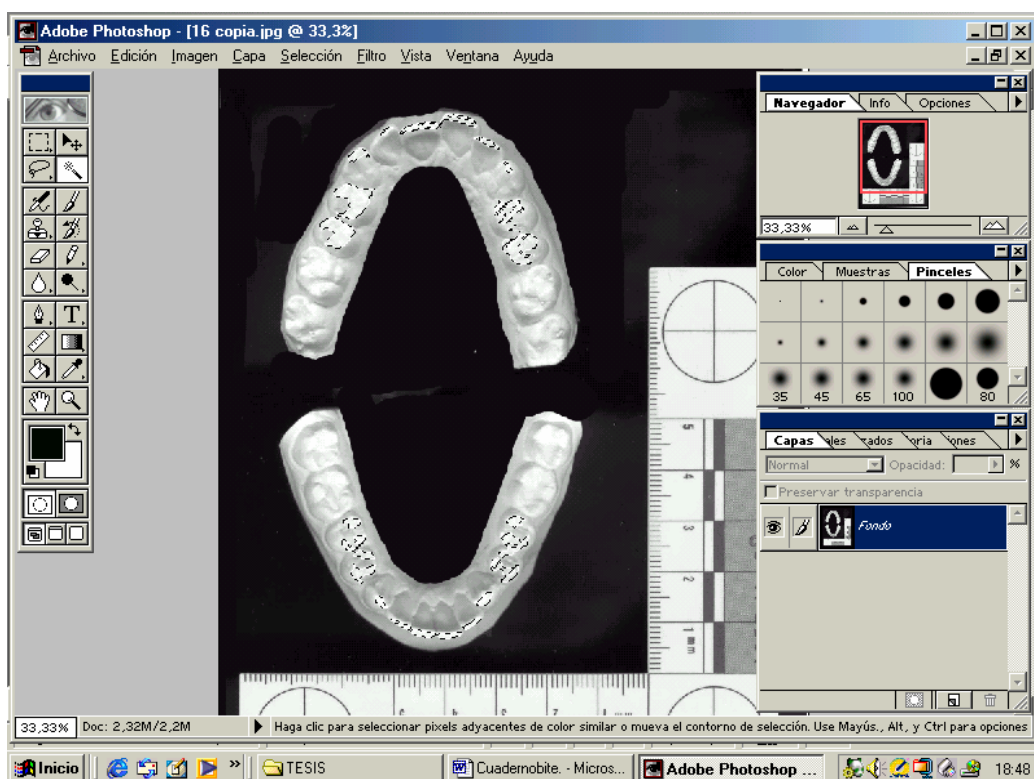


Figura 8. Selección de los bordes incisales con la herramienta varita mágica.

El proceso implica la selección progresiva de los bordes incisales de las piezas dentarias hasta incluir los premolares. Una vez seleccionado el primer borde incisal y determinado su valor de píxeles, pulsamos la tecla **shift** y sin soltarla, se va tocando con la varita mágica otros bordes incisales de dientes diferentes, de esta forma se irán añadiendo las diferentes zonas seleccionadas entre sí.

Continuamos hasta tener seleccionados en ambos maxilares todos los bordes incisales de los dientes del grupo anterior (incisivos centrales, laterales y caninos) y los dos premolares. Estas selecciones de los bordes de los dientes deberían reflejar una representación de la huella de mordida.

1.1.8. Construcción del perímetro de la huella de los bordes incisales

El perímetro o contorno de cada uno de los bordes incisales de los dientes que se han visto implicados en la superficie de mordida constituye la

huella de mordida del sospechoso (Figura 9). Para obtener el contorno de los bordes incisales implicados en la mordedura es necesario crear previamente una nueva capa. En la zona inferior derecha del programa y en el icono que aparece bajo las capas creadas, seleccionamos **crear nueva capa**. Para cambiar la denominación de la capa hacemos doble clic en cualquier sitio de la misma y así se abre una ventana donde podemos cambiarle el nombre a ésta, la llamaremos **Transparencia** y pulsamos sobre **OK**. La capa está ahora activada y renombrada. Por tanto tenemos dos capas, una llamada **Fondo**, donde están los modelos y otra, llamada **Transparencia**, donde tendremos la huella de los bordes de los dientes. Posteriormente, se obtiene el contorno de los bordes incisales seleccionados mediante la opción **contornear** del menú edición. Al contorno le asignaremos un valor de 2, que será la anchura del trazado del perfil (Figura 9).

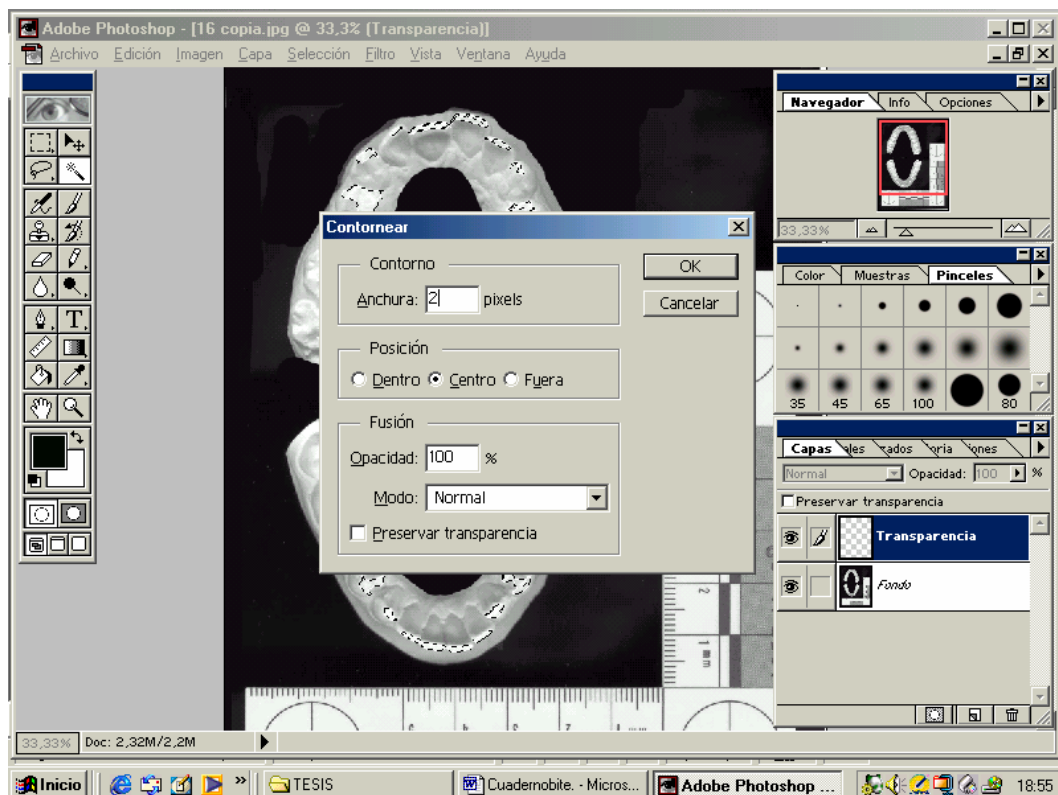


Figura 9. Construcción del perímetro de los bordes incisales.

1.1.9. Borrado de los píxeles no deseados

Cuando hacemos el contorneado de los bordes incisales de los dientes implicados en la huella de mordida, obtenemos un área que no es limpia, sino que

presenta algunos artefactos dentro de las huellas dentales, que es necesario borrar. Para ello se activa la capa transparencia, se amplía la imagen a un 300 ó 400 % y empleando la **herramienta Borrador** (a la cual le hemos asignado un tamaño previo en la paleta de pinceles) se borran esos artefactos que aparecen dentro de los perímetros de los dientes. El resultado que se pretende es el de una imagen clara, sin artefactos dentro de los borde incisales. Hay que tener especial cuidado en no tocar el perímetro formado por la huellas de los bordes de los dientes (Figura 10). Cuando se esté satisfecho con el contorneado de los bordes incisales volveremos a un tamaño de imagen más pequeño para continuar el proceso.

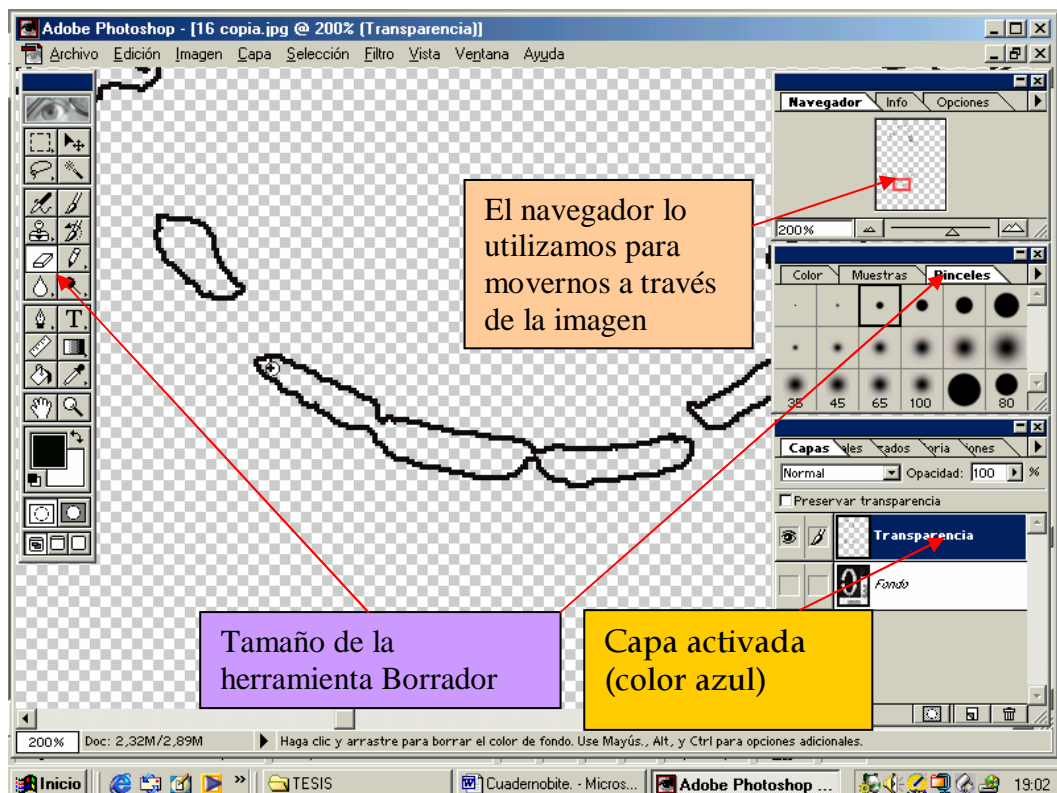


Figura 10. Borrado de los píxeles no deseados. Para el borrado tenemos que trabajar a gran aumento, con lo que para movernos a lo largo de la imagen tendremos que utilizar el navegador que se encuentra en la parte superior derecha. Para poder trabajar con una capa, ésta tiene que estar activada (en azul).

1.1.10. Añadir la escala

Con la finalidad de medir distancias reales en las huellas de mordida, vamos a crear una nueva capa donde se copie la escala de la ABFO nº2. Se trabaja con la herramienta **marco rectangular** y estando activada la capa de fondo (color azul), seleccionamos uno de los brazos de la regla. Posteriormente, presionamos la tecla **Shift** y sin dejar de presionarla, seleccionamos el otro brazo de la escala, de esta forma se añaden las dos zonas seleccionadas. El último paso consiste en crear una nueva capa a la que llamamos **Escala**. Una vez activada esta nueva capa, copiamos la imagen de la escala de la ABFO nº2. Para ello seleccionamos **Edición > Copiar combinado > Pegar**. Ahora tendremos, por tanto, tres capas: **Fondo, Transparencia y Escala**. Sólo podremos trabajar a la vez en una capa que será aquella que tengamos activada en ese momento y que aparecerá en color azul; las demás capas aunque puedan estar visibles (activado el icono del **ojo**) no permiten trabajar sobre ellas, salvo que pulsemos sobre alguna de ellas, con lo que cambiarán de color blanco al azul para indicarnos que están activas.

Sintetizando, en la capa fondo tendremos la imagen de los modelos dentales, en la capa denominada transparencia la huella de mordida y en la capa escala el testigo métrico (escala de la ABFO nº2).

1.1.11. Incluir texto a la transparencia

El texto de una transparencia de la huella de mordida debería incluir: el nombre del caso y/o número de referencia, fecha, lado derecho e izquierdo, zonas maxilar y mandibular. Cada vez que añadamos un ítem de texto se creará una nueva capa. Para realizar esta operación es preciso activar la **herramienta texto**. Se crearán tantas capas como líneas de textos añadamos (Figura 11).

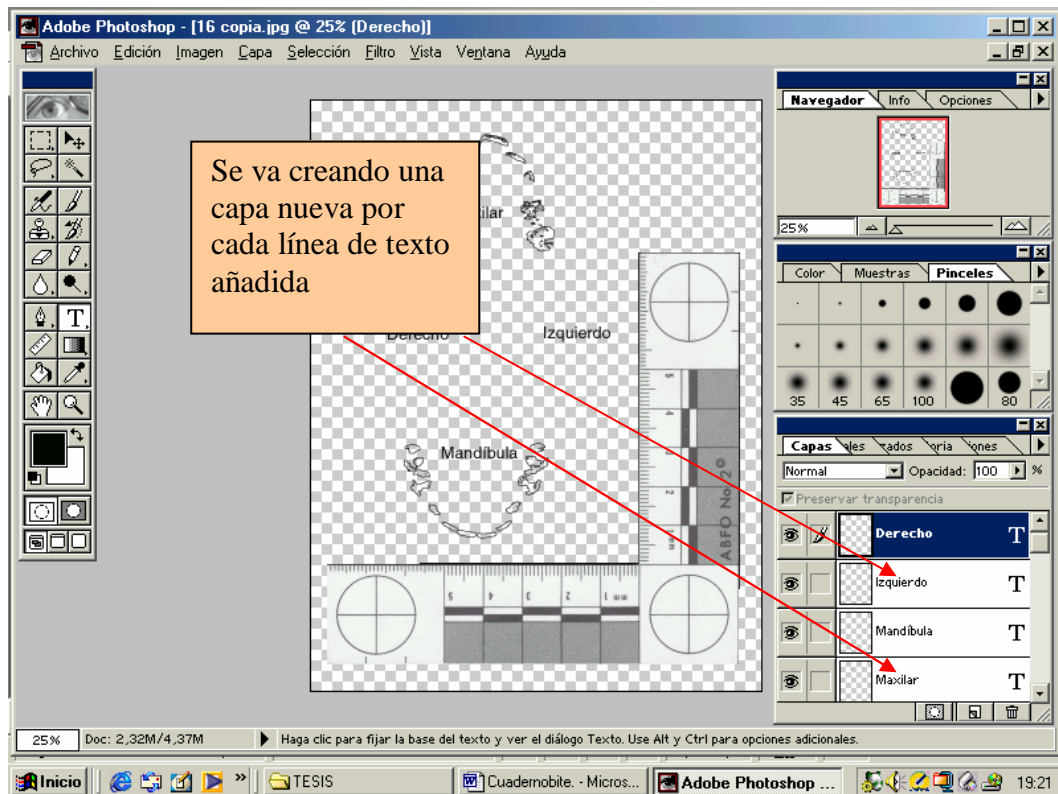


Figura 11. Añadir texto a la imagen

1.1.12. Imagen de los perímetros de la huella de mordida

De la imagen completa obtenida se pueden sustraer los modelos dentales simplemente desactivando el icono **ojo** de la capa de fondo. De esta manera, no se visualizarían los modelos dentales y habremos obtenido una imagen transparente en la que se observa el perímetro de los bordes incisales de los dientes y que podemos superponer a la fotografía de la mordedura (Figura 12).

Esta imagen obtenida podemos imprimirla en papel de acetato y así proceder a realizar la comparación manual de ésta con la fotografía de la mordedura, colocándola sobre la misma. Como en la transparencia tenemos los perfiles de los dientes dibujados los colocaremos sobre la fotografía para ver si existen coincidencias de anchura de arco, forma, número de piezas presentes, etc.

Otra posibilidad es proceder a la comparación de la huella por mordedura (transparencia) con la fotografía de la mordedura con el programa, Adobe® Photoshop® (Johansen y Bowers, 2000). Este procedimiento es el que hemos seguido para la comparación en esta tesis doctoral.

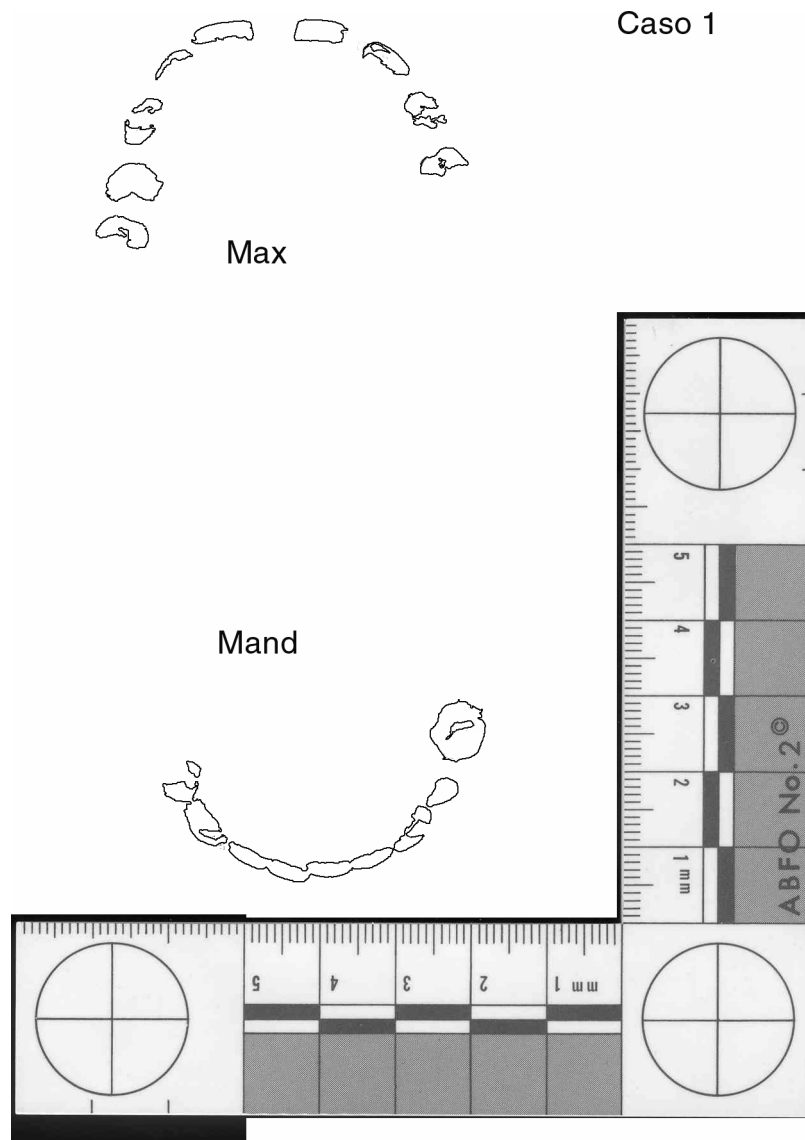


Figura 12. Imagen de la transparencia de la huella de mordida obtenida de los modelos dentales del sospechoso. Se incluye, además, la escala de la ABFO n°2 y el texto de con la referencia del caso.

1.2. Generación de huellas de mordida a partir de imágenes escaneadas de los modelos dentales en tres dimensiones empleando el programa DentalPrint©

Este procedimiento de mordeduras parte de imágenes digitales de modelos dentales escaneados en tres dimensiones. DentalPrint© es un programa diseñado y desarrollado en la Universidad de Granada (Departamento de Medicina Legal y Forense, y Departamento de Lenguajes Informáticos), el cual es capaz de crear de forma automatizada huellas de mordida a partir de imágenes digitales en tres dimensiones de modelos dentales. El programa es capaz de analizar los modelos dentales escaneados en tres dimensiones empleando un escáner de contacto Picza (Picza 3D, modelo Pix-3, Roland DG corp., Japón). Las imágenes digitalizadas se almacenan en un programa suministrado por la casa comercial llamado Dr. Picza y, posteriormente, estas imágenes se incorporan al programa DentalPrint©. Las huellas dentales generadas por el programa DentalPrint© pueden imprimirse en transparencias de papel de acetato y concluir con el proceso de comparación con las fotografías de mordeduras de forma manual. Pero también las huellas de mordida pueden almacenarse como un formato de imagen (bmp) y continuar el proceso de comparación de manera informatizada. Con este programa se puede hacer una precisa y objetiva selección de los bordes incisales de los dientes del sospechoso. Además puede producir diferentes transparencias de comparación por medio de una serie de herramientas que simulan presiones o desviaciones de la mordedura.

1.2.1. Requisitos técnicos

El ordenador utilizado en este procedimiento ha sido un PC Intel® Pentium III CPU, 866 MHz, 515 Mb RAM, tarjeta gráfica GEFORCE 4 MX 440, 128 MB DDR, AGP, disco duro 30GB, monitor de color de 17 pulgadas SVGA 1280X1024, (Samsung Electronics Co., Ltd.), escáner de tres dimensiones (Picza 3D modelo PIX-3, Roland DG Corp., Japón), impresora photosmart 7660 (Hewlett-Packard Comp., CA, USA) y el sistema operativo Windows Millenium operating system (Microsoft Corp., Redmond, WA).

1.2.2. Escaneado de los modelos en tres dimensiones

Los modelos se colocan individualmente con los bordes incisales de los dientes hacia arriba en un escáner de contacto que registra las formas del modelo mediante el contacto de una aguja de metal situada sobre un brazo móvil (la longitud de esta sonda es de 40 mm, y su diámetro en la punta de 0,08 mm). Este escáner puede escanear objetos con un tamaño máximo en longitud (eje X) de 152,4 mm, anchura (el eje Y) de 101,6 mm y altura (el eje Z) de 40,65 mm, desde una altura mínima de 10 mm desde la parte superior de la superficie de trabajo. Es un escáner capaz de escanear puntos sobre el objeto que estén tan próximos como 0,025 mm en el eje Z y 0,05 mm en los ejes X e Y.

Se define la resolución del escaneado marcando la distancia en milímetros que queremos que exista entre dos puntos contiguos del modelo en ambos ejes de coordenadas (eje x y eje y). Para obtener la suficiente precisión en las imágenes para su análisis posterior, se ha optimizado las características del escaneado realizando varias pruebas de escaneado. Se recomienda emplear un paso de exploración de 0,10 mm en ambos ejes, con una profundidad (eje Z) de 15 mm (Figura 13).

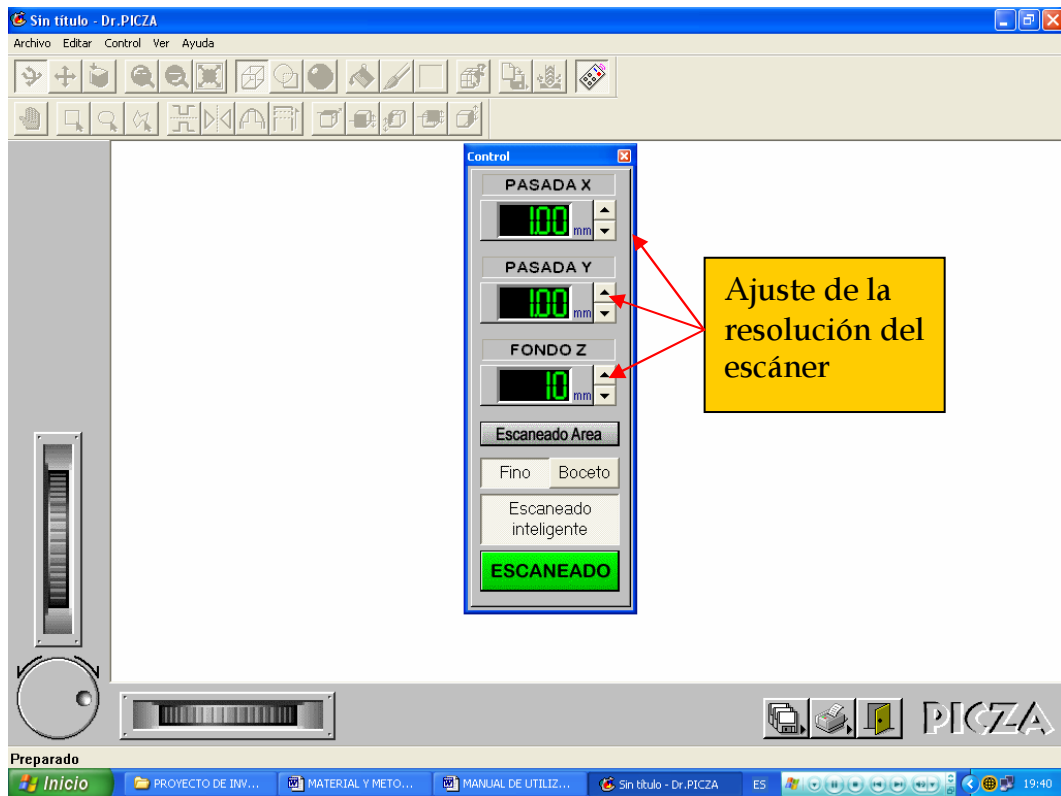


Figura 13. Imagen de la ventana principal del programa Dr. Picza. En la columna central se ven tres casillas que corresponden con los ajustes de resolución del escáner en los tres ejes espaciales.

En la exploración hemos incluido desde los incisivos hasta los segundos premolares, dejando fuera del área de escaneado los molares ya que éstos generalmente no están implicados en la mordedura (Figura 14). El proceso de escaneado puede tardar de 10 hasta 14 horas, según el tamaño de los modelos dentales.

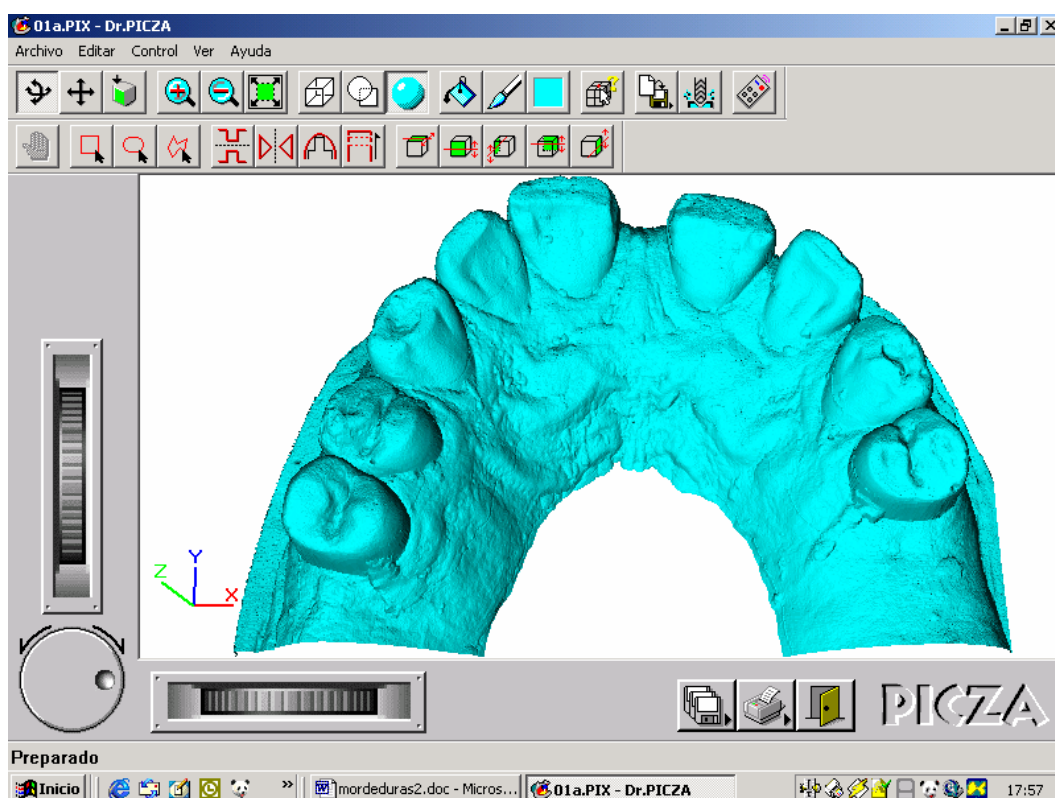


Figura 14. Imagen del modelo escaneado en el escáner 3D. La imagen se visualiza dentro del programa Dr. Picza.

1.2.3. Generación de las transparencias de las huellas dentales con el programa DentalPrint©

Las imágenes de los modelos escaneados se incorporan en el programa DentalPrint©. La finalidad del programa es la creación de las huellas dentales a partir de imágenes en tres dimensiones de modelos dentales. Sintéticamente, el programa es capaz de detectar las partes más altas del modelo que van a coincidir con bordes incisales y cúspides, y crear así de forma imaginaria una malla que vendría determinada por esos puntos más altos. Cuando la malla va descendiendo sobre el modelo, se van creando huellas de mordida diferentes que reflejarían diversas intensidades de mordida. También es posible simular distintos grados de angulación que reflejarían la inclinación de la mordida. De cada modelo se pueden, por tanto, crear o generar distintas huellas de mordida reflejando profundidades e inclinaciones de las diferentes mordeduras. El programa

DentalPrint©, está disponible en la siguiente dirección electrónica:
<http://www.ugr.es/~stella/dentalprint/>

El primer paso en el proceso de generación de las mordeduras consiste en abrir el archivo con la imagen escaneada en tres dimensiones (Figura 15). Cuando el modelo dental se incorpora al programa, aparece de manera automática junto al modelo la escala nº 2 de la ABFO, que siempre se colocará en el lado izquierdo del modelo. Es posible cambiar la regla de posición lo que habrá que hacer en todos los casos con los modelos superiores ya que por defecto siempre aparece en el lado derecho del modelo, aunque izquierdo de la imagen (Figura 16).

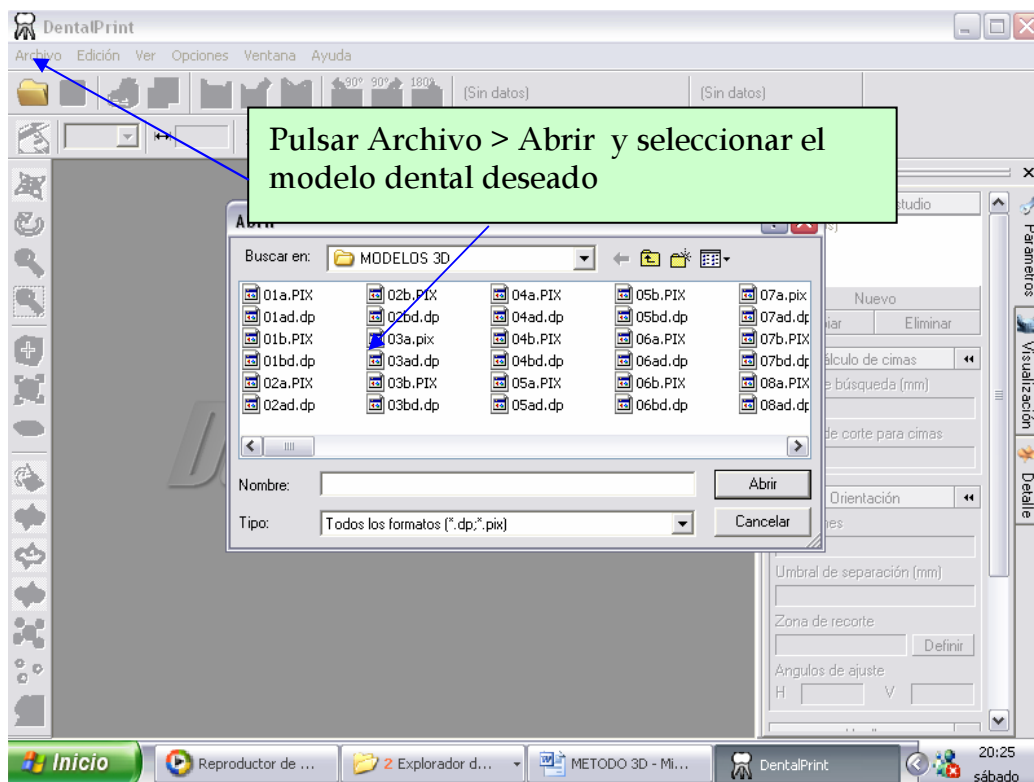


Figura 15. Selección del modelo e incorporación de la imagen en tres dimensiones.

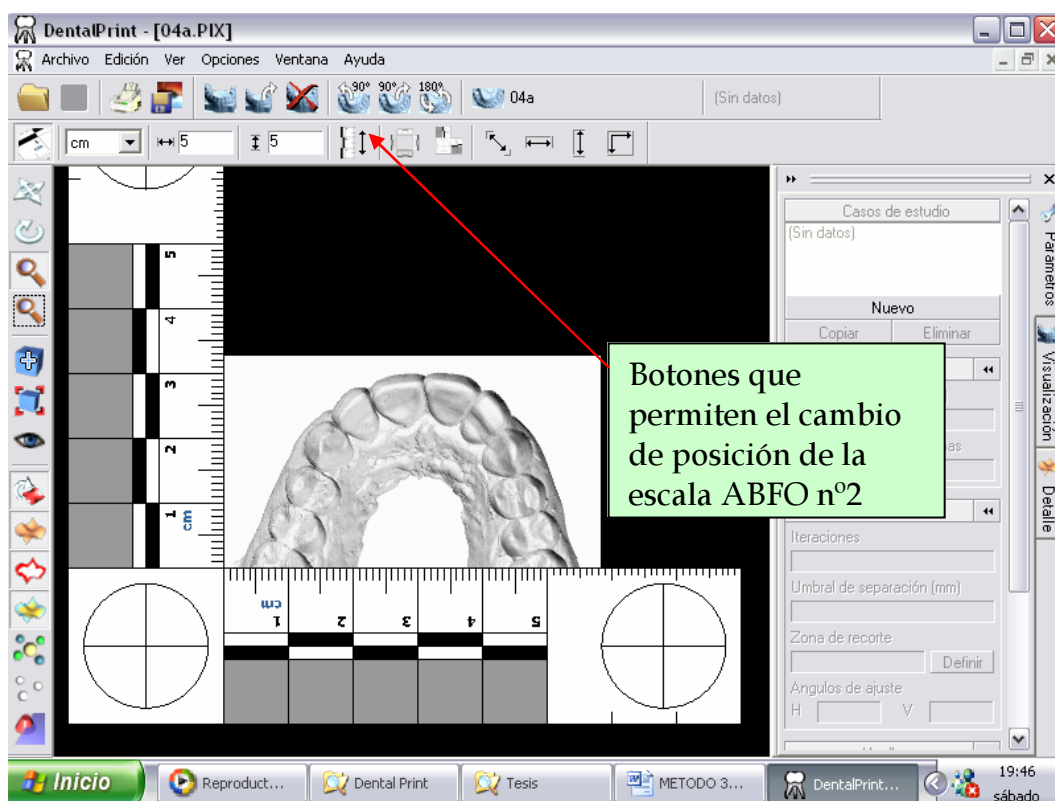


Figura 16. Posicionamiento correcto de la escala de la ABFO. El brazo lateral de la regla tiene que estar en el lado izquierdo del modelo dental.

Las imágenes en tres dimensiones de los modelos dentales tienen múltiples opciones de visualización en el programa, como distintas posiciones espaciales (arriba, frontal, posterior, derecha, izquierda), además podemos inclinar los modelos sobre el eje x ó y, incluso el programa nos permite hacer un zoom sobre una zona concreta del modelo para verlo con más detalle. Las diferentes opciones y herramientas del programa DentalPrint© pueden ser consultadas en el Manual de Usuario que presentamos en el Anexo I de la presente tesis doctoral.

Los pasos que tenemos que seguir para la generación de la huella de mordedura son los siguientes:

1. Selección del área de mordida

El proceso se inicia con la creación de un estudio nuevo, para lo cual basta con pulsar sobre **Nuevo** en el panel de parámetros. El programa nos creará

de forma automática e inmediata (en base a unos parámetros que por defecto se le han asignado en la confección del mismo) una huella dental. Cada vez que se pulse Nuevo, obtendremos otro estudio al que podemos ir cambiando los parámetros que deseemos mediante la herramienta **Realizar Cambios**. Los casos de estudio aparecen en orden numérico. El número más alto corresponde al último en ser creado.

El programa puede crear la huella de mordida a partir de la información aportada por todos las piezas dentarias del modelo o se puede tener la opción de acotar un área de trabajo en la que incluyéramos sólo los dientes que han podido estar implicados en la mordedura, de esta manera, creará la huella dental a partir de esa información. Para seleccionar un área de trabajo determinado, activamos la herramienta **zona de recorte** y se crea pulsando con el botón izquierdo del ratón en el ángulo superior izquierdo del área que queremos seleccionar y sin soltarlo lo arrastramos hacia abajo y a la derecha, englobando el área deseada (Figura 17).

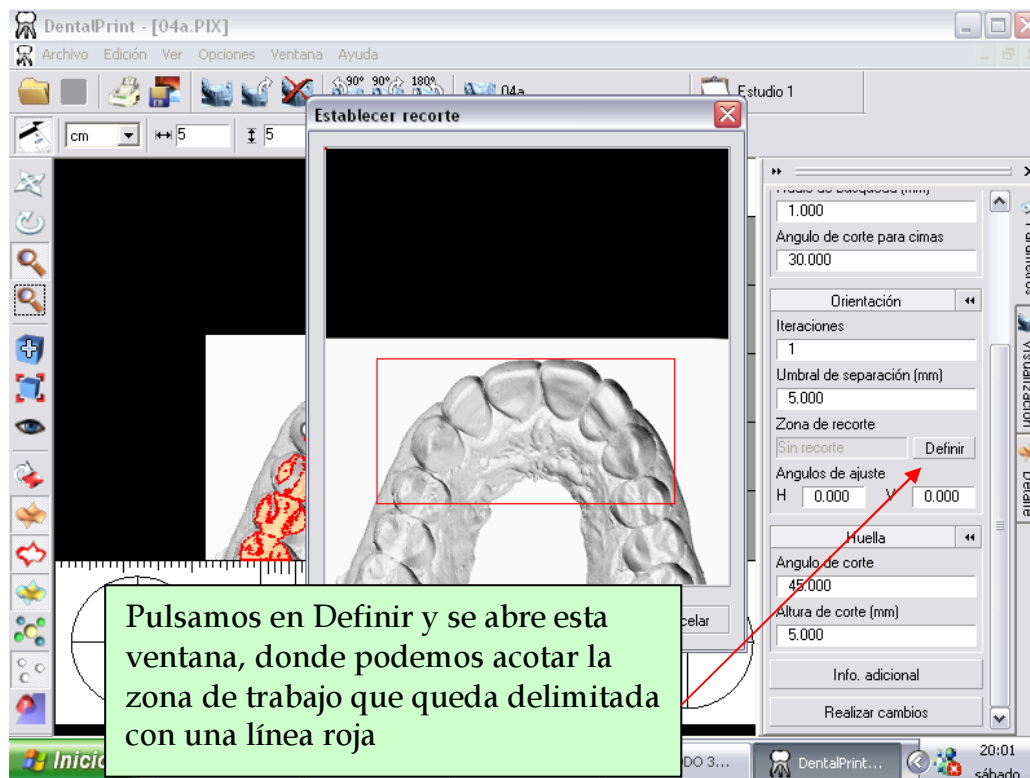


Figura 17. Selección del área de recorte.

2. Creación del plano de contacto

Para la creación del plano de contacto es necesario nivelar el modelo dental. Si, por ejemplo, se coloca el modelo sobre una mesa, de forma que los dientes contacten con algunas de sus cúspides sobre la superficie, el plano que forma la mesa sería equivalente al que la aplicación informática va a generar de una forma automática. Este plano recibe el nombre de **plano de contacto**.

El programa trabaja mediante parámetros estrictamente geométricos marcando todos los puntos más elevados del modelo tridimensional. El programa DentalPrint© realiza una búsqueda por toda la superficie del modelo detectando todos los puntos más altos (**máximos locales**) para después seleccionar los 3 más elevados entre ellos (**cimas principales**) que determinarán el plano de contacto (Figura 18). Esta búsqueda la realiza en áreas circulares que va solapando unas con otras para evitar perder información. El **radio de búsqueda** determina la amplitud de la zona donde se define cada máximo local. Cuanto mayor sea, más rápidos serán los cálculos y menos cimas aparecen. En cada punto máximo de la superficie detectada se define una pendiente respecto del plano base, si el ángulo de inclinación supera el umbral establecido (**ángulo de corte**), el máximo local será descartado.

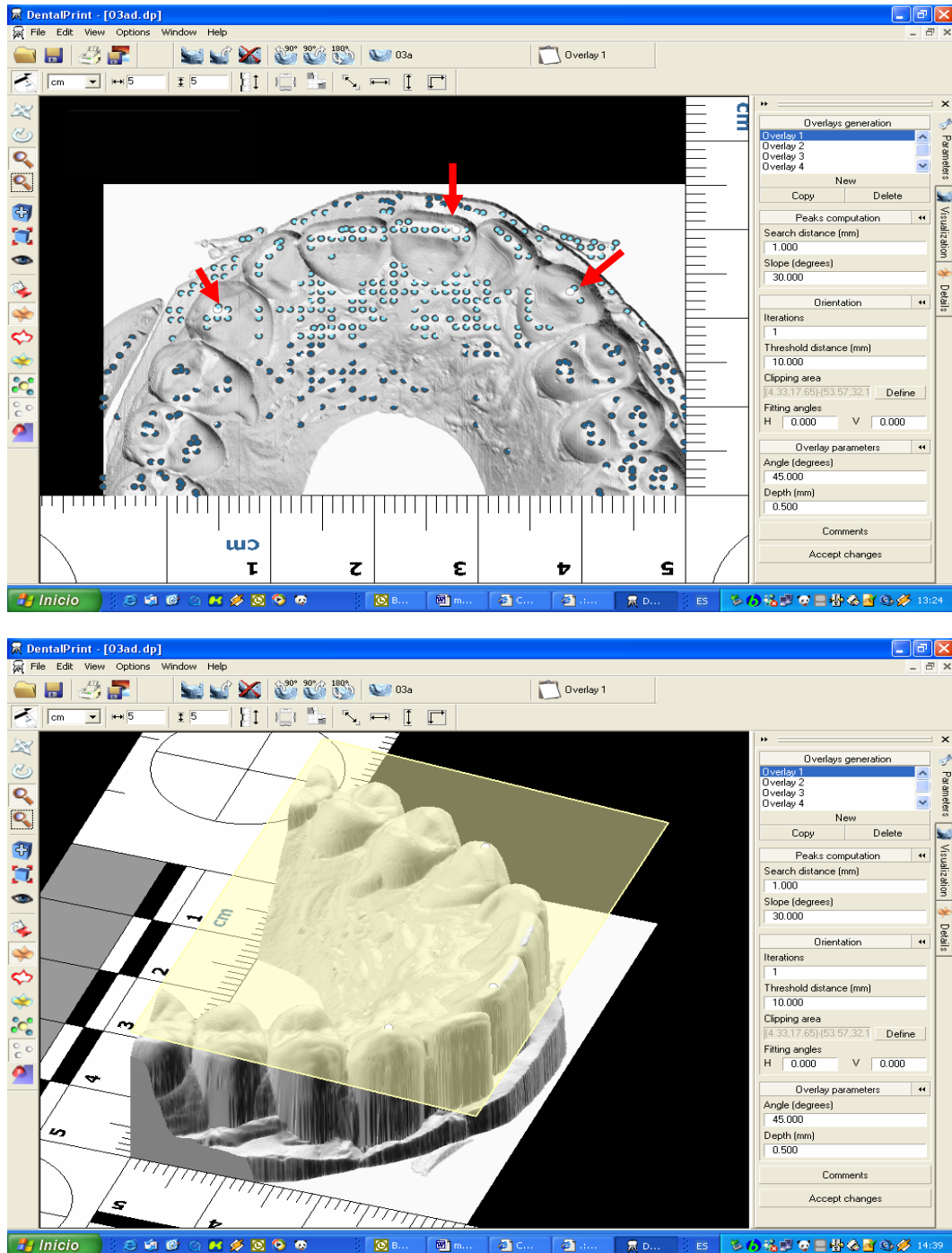


Figura 18. Imagen superior: selección automática de los máximos locales (puntos azules) y las tres cimas principales (puntos blancos señalados con las flechas de color rojo). Imagen inferior: a partir de las tres cimas principales se crea el plano de contacto.

Hay que tener en cuenta que los 3 puntos de calibración (cimas principales) contactan directamente con la superficie donde se supone que se realiza la mordida. Esto quiere decir que, si uno de estos puntos aparece en un molar que seguramente no interviene en la mordida, el plano resultante será conceptualmente incorrecto. Debido a esta circunstancia, es necesario definir la zona de la dentadura que más probabilidades tiene de intervenir en la mordida. En segundo lugar, puede ocurrir que aparezcan las cimas principales demasiado próximas, por ejemplo, si existe una pieza extruída, lo que produce resultados incorrectos. Para evitarlo, es necesario definir un **umbral de separación**, que fuerza una distancia mínima entre las cimas principales (por defecto la distancia mínima entre las cimas principales es de 5 mm).

Además, es posible angular o inclinar el plano de contacto creado, en sentido horizontal o vertical, mediante la opción **ángulos de ajustes**, de forma que puede ajustarse a alguna situación concreta, como la simulación de una mordedura en la que existiera mucha angulación entre los dientes del agresor y la piel de la víctima o en los casos en los que la víctima se moviera para defenderse.

3. Obtención del perfil de la huella de mordida

Una vez que se ha calculado el plano de contacto y la dentadura está orientada, sólo falta obtener la huella dental. Gráficamente, podemos imaginar el siguiente proceso como que el plano de contacto definido es una malla que se va a extender en profundidad incluyendo las superficies que se encuentra por debajo (Figura 19).

Los parámetros implicados en la creación de la huella de mordida en este último paso son:

Ángulo de corte: La huella se crea a partir del plano de contacto (definido por las 3 cimas principales) que se extiende hacia abajo, incluyendo las zonas en las que la pendiente de la superficie supera el ángulo umbral de corte. Por defecto se le asignó al programa un valor de 45° pero es modificable según las características del caso en cuestión. Creemos que este valor es adecuado ya

que aquellos puntos que estén situados del eje x (horizontal) a una inclinación de más grados de 45, ya no formarían parte de zonas elevadas de piezas dentales sino que se encontrarían en zonas que no intervienen normalmente en la mordedura, por situarse en planos verticales (eje y: caras vestibulares y linguales).

Altura de corte: Para evitar que la huella supere cierta profundidad, se acota mediante este parámetro. La altura de corte se mide desde el plano de contacto hacia abajo. Existe la posibilidad de definir la distancia deseada entre los distintos estudios, generándose una huella de mordida diferente en cada caso.

La variación de los diferentes parámetros implicados en la generación de la huella de mordida con el programa DentalPrint© permite obtener diferentes huellas (estudios) para cada caso (modelo dental) lo que se ajusta más a la realidad de los casos prácticos de mordeduras.

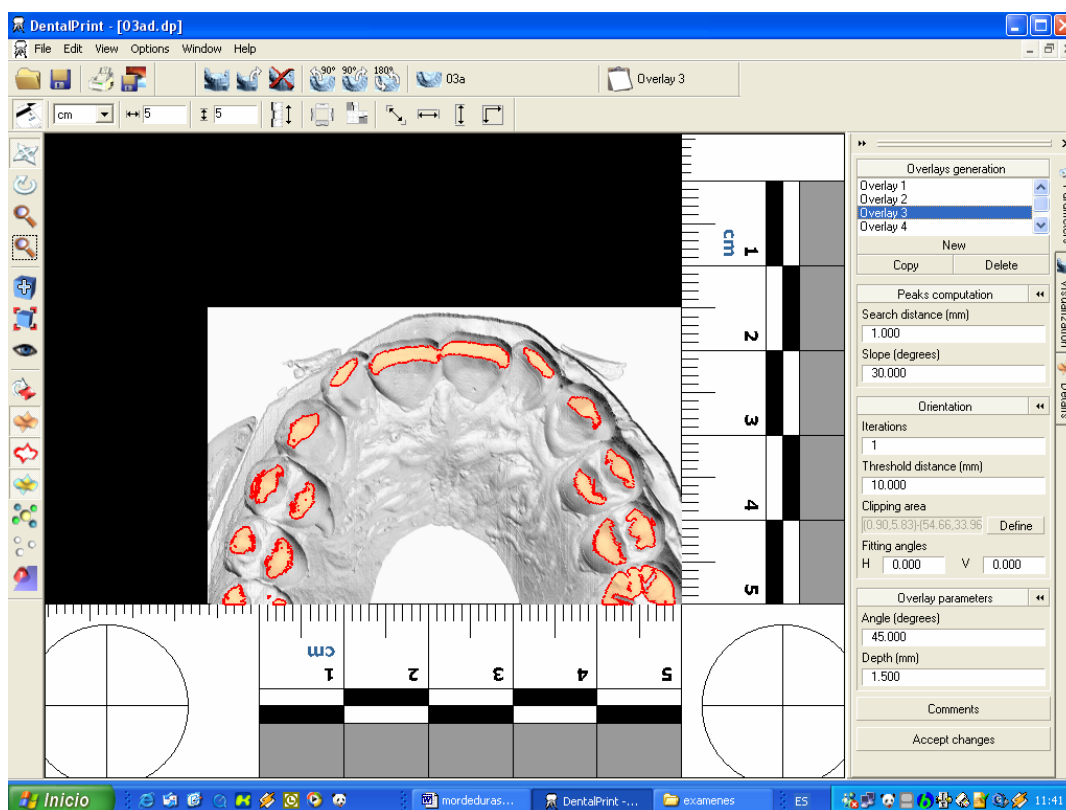


Figura 19. Generación de la huella de mordida con el programa DentalPrint© a partir de imágenes de modelos dentales escaneados en tres dimensiones.

4. Impresión de las huellas de mordida

Las huellas obtenidas en el programa DentalPrint© a partir de imágenes en tres dimensiones de los modelos dentales pueden ser impresas en papel de acetato. Estas transparencias con la huella dental del sospechoso se pueden superponer a la fotografía de la mordedura. Las posibilidades y opciones de impresión con el programa son múltiples (anexo 1) (Figura 20, 21). La huella del maxilar y de la mandíbula pueden ser impresas juntas o por separado en la transparencia, incluir la escala o no, mostrar los modelos dentales o sólo las huellas dentales, etc.

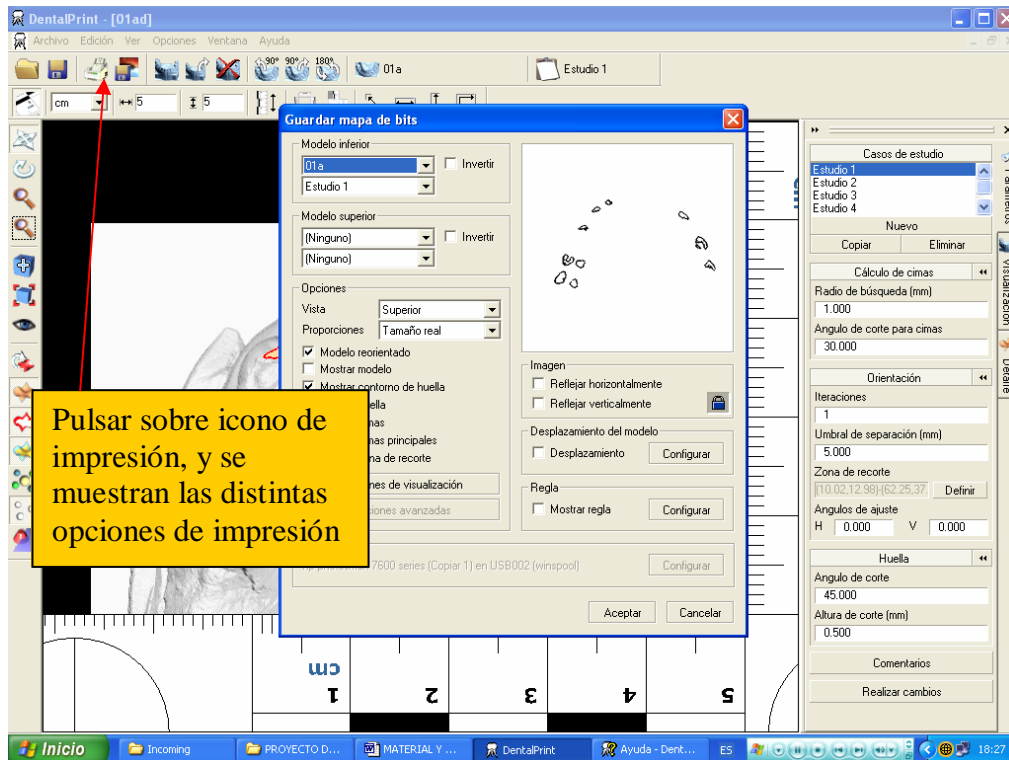


Figura 20. Proceso de impresión de las huellas en papel de acetato.

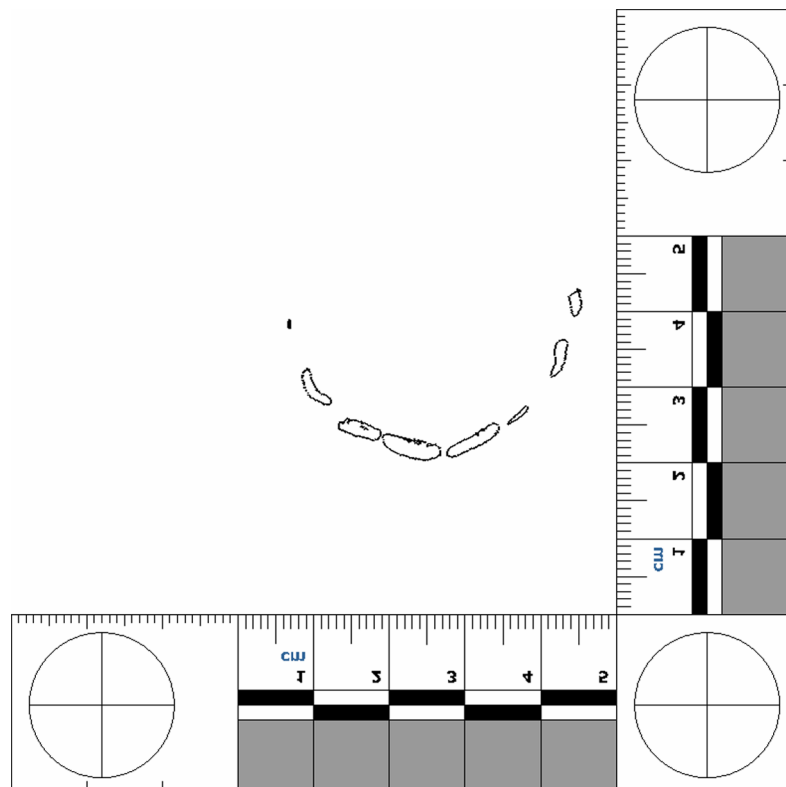


Figura 21. Impresión de la huella de la mordida en papel de acetato. Imagen de la huella de un modelo superior a una resolución de 300 dpi.

El programa DentalPrint© nos ofrece un amplio abanico de posibilidades en cuanto a la visualización e impresión de las huellas de la mordida, de manera que podemos incluir en la transparencia datos referentes a las dimensiones de la huella, nombre del modelo, valores de los parámetros utilizados en la creación de la huella, etc. Incluso es posible imprimir los modelos en tres dimensiones junto con las huellas dentales que producen, en definitiva podemos tener muchas variantes de impresiones, aspecto éste que no ofrece ningún programa hasta la fecha, no sólo aportando información sino también pudiendo utilizar estas imágenes para una presentación en los tribunales de justicia (Figuras 22 y 23).

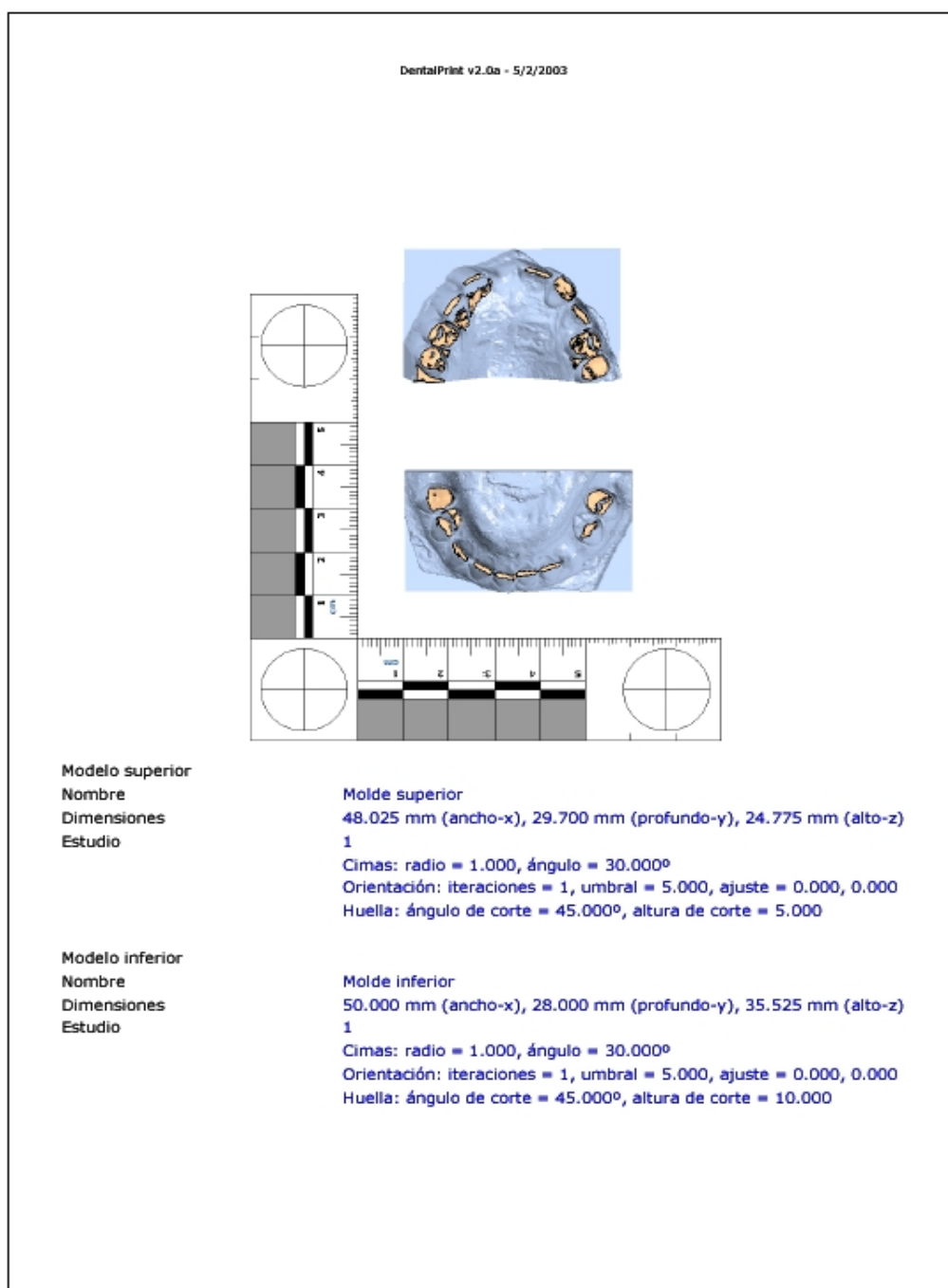


Figura 22. Transparencia impresa de la vista superior de la huella de mordida con los dos modelos presentes.

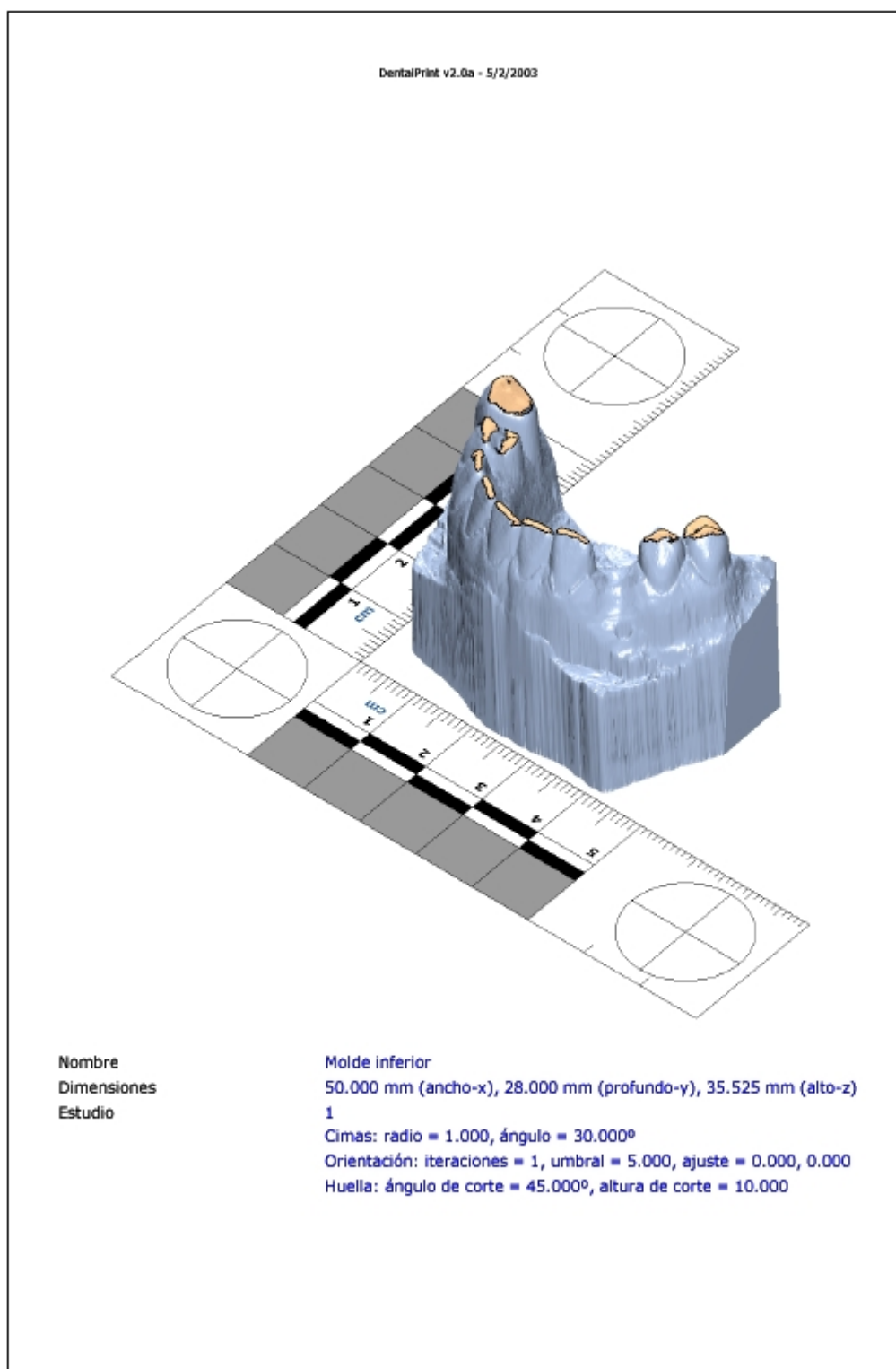


Figura 23. Ejemplo de impresión de un modelo dental inferior en tres dimensiones con la huella de mordida.

Otra posibilidad que nos ofrece este programa es poder almacenar la huella de mordida generada en formato de imagen (mapa de bits). Esta imagen con el perfil de la huella de mordida puede ser exportada al programa Adobe® Photoshop® para continuar el proceso de comparación con la fotografía de la mordedura de manera informatizada.

La ventana de impresión en mapa de bits es la misma que la utilizada para la impresión normal, aunque en esta ocasión se desactiven los controles asociados con la configuración de la impresora. Esta opción nos permite guardar y exportar la imagen de la transparencia a otros programas de gráficos como Adobe® Photoshop®, y poder hacerlo a diferentes resoluciones (Figura 24). Si se selecciona la impresión a escala real, el parámetro que determina las dimensiones finales de la imagen (en píxeles) es la resolución en puntos por pulgada (ppi). Es lógico pensar que, para obtener una impresión a tamaño real del bitmap con otro programa de tratamiento de imágenes, éste debe utilizar la misma resolución en puntos por pulgada que el bitmap (Figura 24).

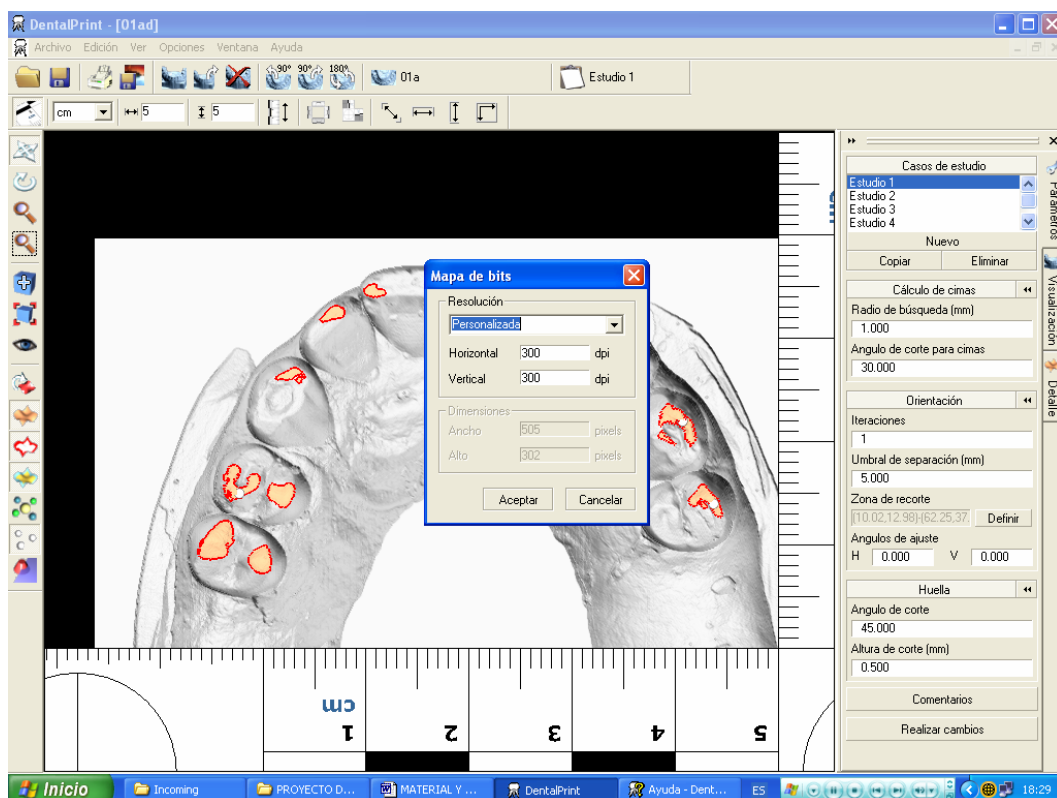


Figura 24. Impresión en mapa de bits de la huella dental generada. Cuando se pulsa sobre aceptar para imprimir en mapa de bits nos aparece una ventana que permite configurar el tamaño final de la imagen en píxeles.

2. PROCESO DE COMPARACIÓN DE LAS HUELLAS DE MORDIDA Y LA FOTOGRAFÍA DE LA HERIDA POR MORDEDURA

Una vez que hemos creado la transparencia de la huella de la mordida hay que realizar la comparación con la fotografía de la mordedura y evaluar la presencia o no de coincidencias. Este proceso podemos hacerlo de forma manual, colocando la transparencia encima de la fotografía de la mordedura o, aún mejor, realizar la comparación de manera automatizada con el programa Adobe® Photoshop®. Por ser un procedimiento más preciso, hemos elegido este último en este trabajo de investigación.

2.1. Detección y corrección de la distorsión angular de la fotografía empleando el programa Adobe® Photoshop®

En todo proceso de comparación necesitaremos disponer de una fotografía de una mordedura y una transparencia de la huella de mordida ambas a escala real (1:1). Antes de iniciar cualquier proceso comparativo, será preciso realizar determinados procedimientos que nos permitan corregir la posible distorsión de la fotografía de la mordedura, así como su conversión a tamaño real.

Una fotografía es una representación gráfica de objetos en el rango de las lentes de una cámara. El grado en el que este gráfico reproduce exactamente estos objetos está influenciado por muchas variables. Cuando las mordeduras son fotografiadas como indicios, hay que controlar con mucho cuidado las variables que intervienen en la posible distorsión fotográfica con el objeto de obtener una representación precisa de la mordedura para el análisis posterior. Desafortunadamente estos esfuerzos no siempre son satisfactorios y la distorsión a menudo se introduce en la imagen producida.

Lo ideal, es que la imagen de la mordedura recibida para el análisis tuviera las siguientes características:

- Una escala presente (o al menos un dispositivo de medida) orientado en el mismo plano que la mordedura.
- La fotografía de la mordedura debe hacerse perpendicular a la escala. El plano de la película fotográfica estará entonces paralelo a la mordedura y nos asegurará que no haya distorsión fotográfica por la inclinación de la cámara.
- Que no haya distorsión de paralelismo de la escala causada por un disparalelismo entre la escala y la mordedura.

A pesar de tomar las precauciones anteriores, la distorsión angular fotográfica se produce y puede ser corregida, al menos en parte, con el programa de análisis de imágenes Adobe® Photoshop®. Los pasos a seguir para corregir la distorsión se describen a continuación.

2.1.1. Rotación simple de la imagen de la mordedura

El primer paso consiste en alinear con relación al eje x la imagen de la mordedura. Para rotar la imagen activamos la herramienta **Medición** de la barra de herramientas y dibujamos una línea tangente a las referencias circulares a lo largo del eje horizontal de la escala (Figura 25). El siguiente paso sería pulsar **Imagen >Rotar lienzo >Arbitrario**, pulsamos OK y la imagen rota. Una vez que hayamos hecho esto pulsamos con el ratón en cualquier parte de la línea tangente dibujada y sin soltar la arrastramos fuera de la pantalla.

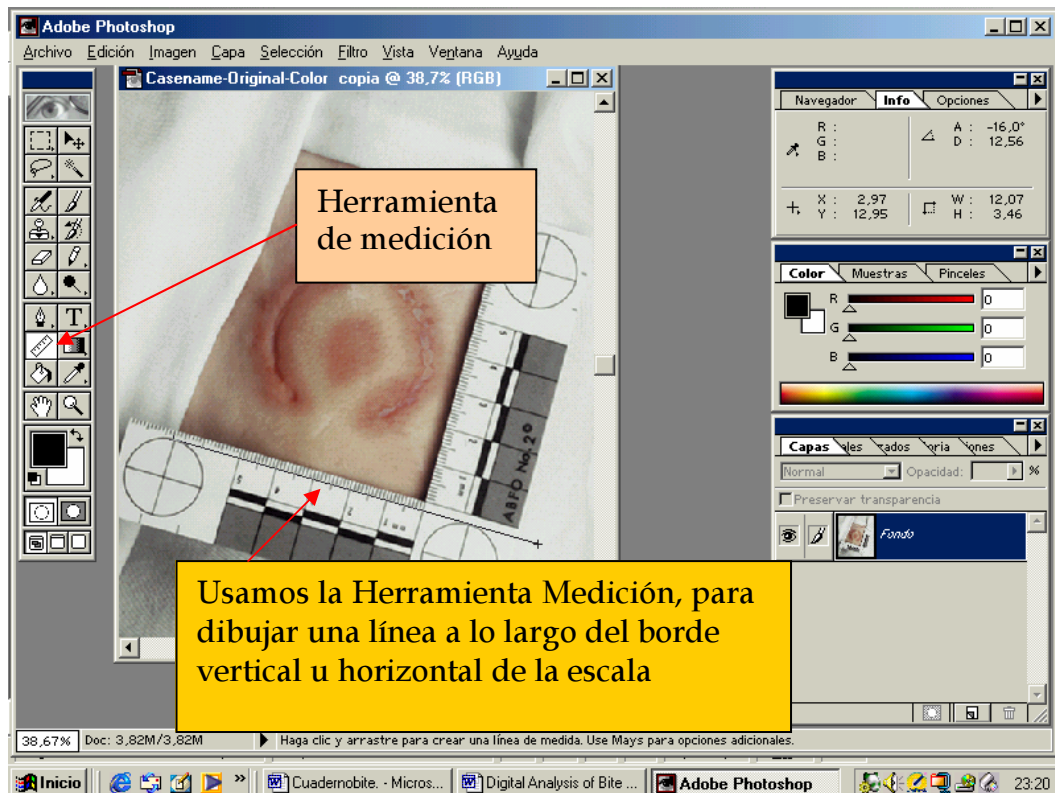


Figura 25. Rotación de la imagen. Con la herramienta de medir trazamos una línea a lo largo de uno de los brazos de la regla como paso previo para la rotación de la imagen.

2.1.2. Recortado de la imagen

Si queremos que la imagen ocupe menos memoria (Megabytes) y facilite el proceso, podemos recortar la imagen eliminando zonas que no nos interesen para su posterior análisis (Figura 26).

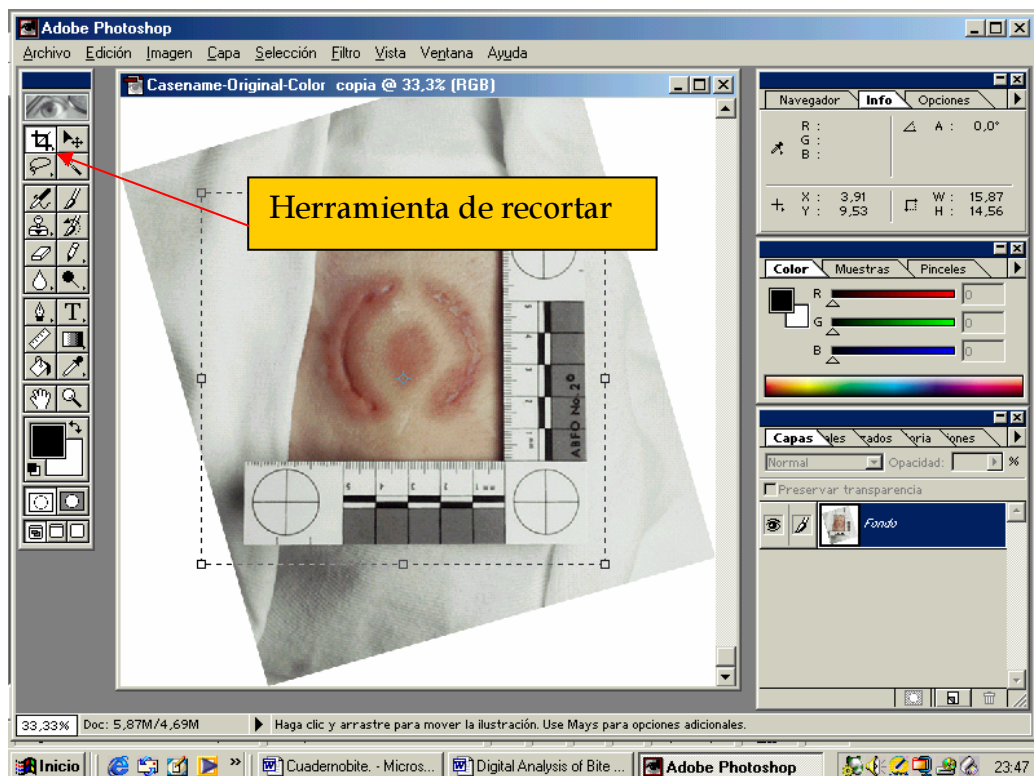


Figura 26. Recortado de la imagen. Para recortar la imagen creamos un recuadro alrededor de la misma, dejando la zona que no nos interesa fuera.

Una vez que tenemos esta imagen la grabamos como **Imagen Rotada y Recortada-Color (o Blanco y negro)**. A continuación tenemos que determinar si existe o no distorsión en la imagen.

2.1.3. Determinación de la distorsión de la Imagen

Para comprobar el grado de distorsión preliminar de la imagen podemos superponer una cuadrícula y evaluar los lados de la regla, sus líneas incrementales y los ángulos para el paralelismo. Los lados de la escala o regla

deben ser paralelos, y las líneas incrementales perpendiculares a estos lados, e iguales los espacios existentes entre ellos, si está presente una referencia circular en la regla, ésta debe ser redonda en su forma y no oval. Si la escala tiene dos dimensiones, el ángulo formado por los dos lados debe ser de 90° . Para corregir la distorsión fotográfica en estos términos es de gran ayuda la escala de la ABFO n^o2.

Para insertar la cuadrícula haremos lo siguiente: pulsaremos en la barra de herramientas **Vista > Mostrar Cuadrícula**. Aparecerá una cuadrícula por encima de la imagen de la mordedura, que nos va a servir como referencia para con la imagen de la mordedura de fondo ver si existe distorsión o no en los términos que hemos descrito antes (Figura 27).

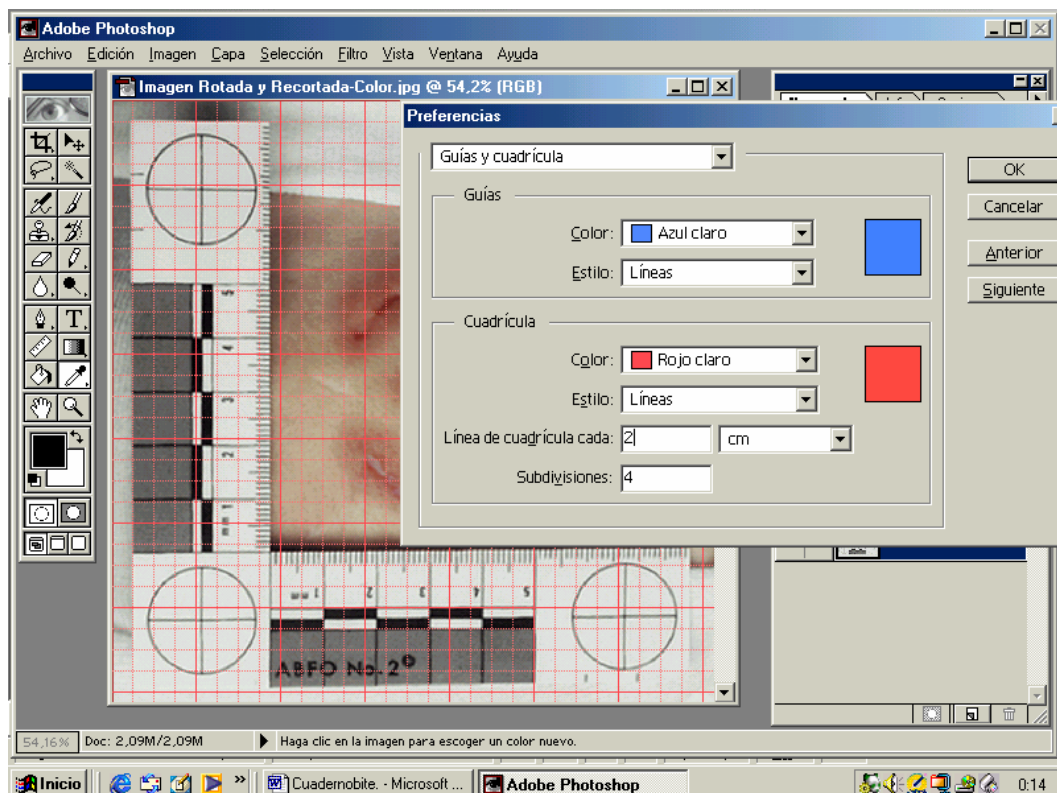


Figura 27. Superposición de la cuadrícula. En el apartado de preferencias, dentro de guías y cuadrículas, podemos cambiar el color de las líneas y anchura de las mismas.

1. Distorsión fotográfica

El siguiente paso en la evaluación de la fotografía de una mordedura es asegurarnos de que cualquier referencia redonda, presente en la escala o regla, lo sea realmente. La presencia de formas elípticas indicarían que el ángulo de la cámara a la hora de tomar la fotografía fue incorrecto. Al ángulo formado respecto de la vertical se le denomina theta (θ). Esta distorsión angular se crea cuando la cámara no está perpendicular a la escala fotografiada. La cantidad de distorsión puede ser medida. Para comprobar si la imagen está distorsionada dibujaremos unas circunferencias sobre las referencias redondas de la regla (Figuras 28 y 29) si coinciden perfectamente, podremos concluir que no existe distorsión fotográfica y podremos proceder, al cambio de tamaño de la imagen a tamaño real 1:1 que se exponen más adelante para la comparación con las transparencias. Si resulta que no hay coincidencias porque las referencias redondas son ovales o elípticas tendremos que pasar al proceso de corrección de la distorsión angular.

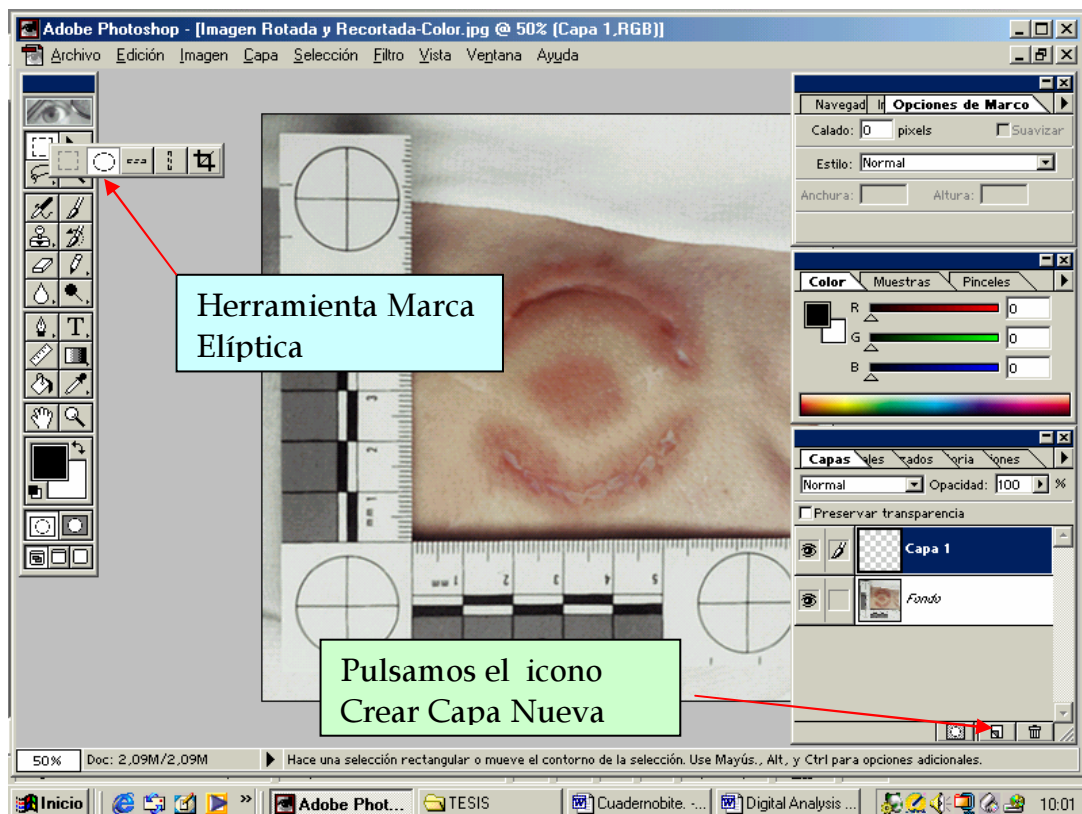


Figura 28. Creación de marcas circunferenciales que nos ayudarán a compararlas con las presentes en la regla. Antes de crear las referencias circulares tenemos que crear una nueva capa.

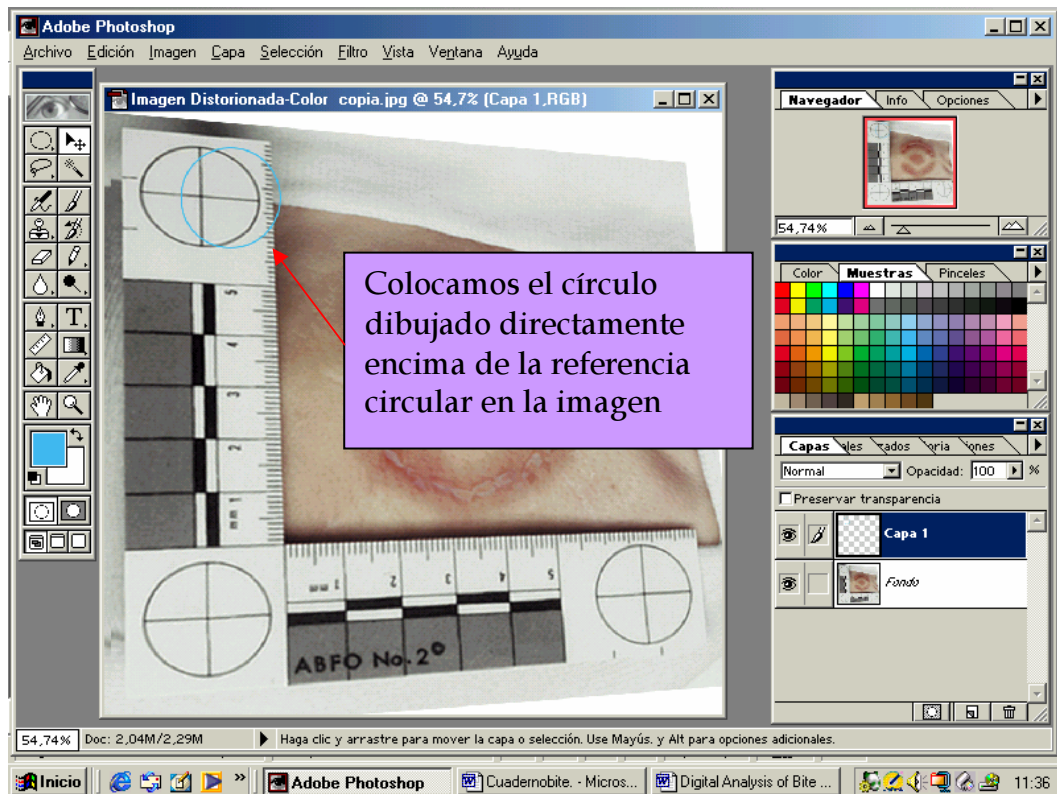


Figura 29. Comprobación de la presencia de distorsión fotográfica. La referencia circular la colocamos sobre las marcas redondas de la regla y vemos si coinciden, si lo hacen no hay distorsión fotográfica.

2. Determinación del ángulo Theta

Usando la imagen que tenemos, escogemos la herramienta de **Medir** y dibujamos una línea a lo largo de la distancia más larga (eje mayor B) de la forma de una de las referencias circulares. Miramos en las opciones de la paleta de la herramienta de medida y anotamos la distancia (**D**) de la línea medida. Haremos otra línea perpendicular a ésta que la cruce en la dimensión más pequeña de la referencia (eje menor A) y anotamos la distancia.

Estos valores relativos determinan el ángulo Theta según la siguiente ecuación.

$$\text{Cos}(\text{Theta}) = A/B$$

El ángulo Theta puede determinarse resolviendo la ecuación

$$\text{Theta} = \text{Cos}^{-1}(A/B)$$

El ángulo resultante debe incluirse en el informe forense final. Cuanto mayor sea el ángulo, mayor distorsión existirá en la fotografía.

3. Corrección de la distorsión fotográfica

Si se ha determinado que existe una distorsión significativa, debe corregirse antes de cambiar de tamaño la fotografía de la mordedura. Sólo entonces podremos completar el estudio con un cuidadoso análisis comparativo. Algunos tipos de distorsión no pueden ser corregidos sin afectar adversamente a la mordedura por lo que hay siempre que identificar el tipo de distorsión presente en el original de la fotografía de la mordedura.

La distorsión presente en la escala de la imagen, básicamente, se puede deber a tres causas:

- La fotografía fue tomada con un ángulo de la cámara diferente a la perpendicular respecto de la mordedura.
- La escala no está en el mismo plano que la mordedura. Usualmente, en este caso, la escala está en un plano que no es paralelo al plano de la mordedura. Hay una distorsión de la perspectiva de la escala. Con una escala de dos dimensiones ambos lados de la escala pueden estar distorsionados.
- La escala puede estar curvada o torcida.

De las causas anteriormente descritas se desprenden las diferentes distorsiones:

Distorsión tipo I: La escala y mordedura están en un mismo plano pero el ángulo de la cámara no es perpendicular. Generalmente, si la escala y la mordedura están en el mismo plano o un plano paralelo nosotros podemos corregir la distorsión angular causada por la posición inadecuada de la cámara. Cuando la imagen de la escala se rectifique y vuelva a su tamaño y forma original, la imagen de la mordedura también se rectificará. Asumimos que la escala está en un mismo plano y no hay una distorsión de la perspectiva relativa respecto de

la mordedura. Bowers y Johansen (2002) hicieron un estudio en el cual demostraron que distorsiones de hasta 50° (θ) podían corregirse con éxito.

Distorsión tipo II: La escala no está en el mismo plano que la mordedura. Si la escala no está en el mismo plano que la mordedura, rectificar la escala provocaría una distorsión de la mordedura. La cantidad de distorsión de la perspectiva presente afectará obviamente a la precisión de los resultados. El peso dado a los resultados contribuirá a ultimar la decisión en el caso. El investigador debe decidir cuánta cantidad de distorsión es aceptable para producir una comparación significativa. En este caso no es posible la corrección usando la escala.

Distorsión tipo III: Cuando sólo un lado de la escala está distorsionado. Parte de la escala no está en el mismo plano de la mordedura, en cuyo caso solo utilizaremos la porción de la escala que esté en el mismo plano, aunque esto suponga utilizar la escala como si tuviera un solo lado.

Distorsión tipo IV: La escala está doblada, usaremos sólo como referencia la zona que no está doblada. Cuando parte de la escala aún estando en el mismo plano que la mordedura está doblada o torcida, esto ocurre a veces por la presencia de conformaciones anatómicas que hacen que al colocarla esta se deforme, en cuyo caso sólo utilizaremos la zona de la escala que esté junto y en el mismo plano que la mordedura, para ello necesitamos unos 5 cm al menos. Esta es una de las distorsiones más a menudo vista en las fotografías de mordeduras.

4. Corrección de la distorsión de tipo I

Este tipo de distorsión aparece cuando la escala y mordedura se encuentran en un mismo plano pero el ángulo de la cámara es incorrecto; ambos lados de la escala están distorsionados pero no hay una distorsión de la perspectiva relativa de la mordedura. La finalidad de este proceso es conseguir que cada lado de la escala y cada una de las referencias circulares presentes en ésta vuelvan a su estado original de tamaño y forma. Para corregir esta distorsión

necesitamos que al menos un lado de escala esté orientado a lo largo del eje x/y. Para ello procedemos a colocar unas reglas a lo largo de los bordes de la pantalla de trabajo (Figura 30) seleccionando **Vista > Mostrar Reglas** o presionar **ctrl + R**. Las reglas aparecerán en la parte superior y lado izquierdo de la pantalla. Se comprobará que las unidades de medida de las reglas coinciden con las de la escala pudiéndose hacer los cambios oportunos en **Archivo > Preferencias > Unidades y Reglas**.

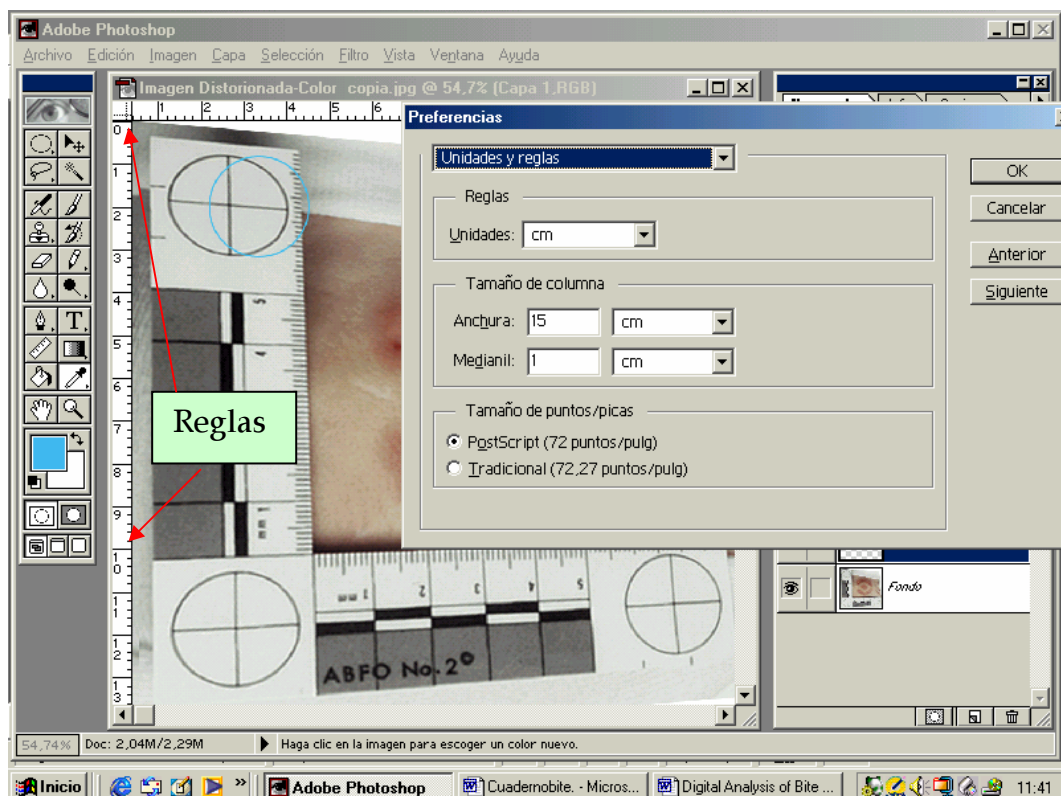


Figura 30. Ajuste de las reglas.

Cuando pulsamos con el botón izquierdo del ratón en cualquier parte de una de las reglas y sin soltarlo lo arrastramos, aparecerá una guía a lo largo del eje correspondiente, que se puede posicionar en cualquier lugar de la imagen. De esta forma se arrastran tantas guías verticales y horizontales como deseemos a lo largo de los bordes de la escala. Estas guías se usarán como referencias cuando comencemos a rectificar la imagen (Figura 31).

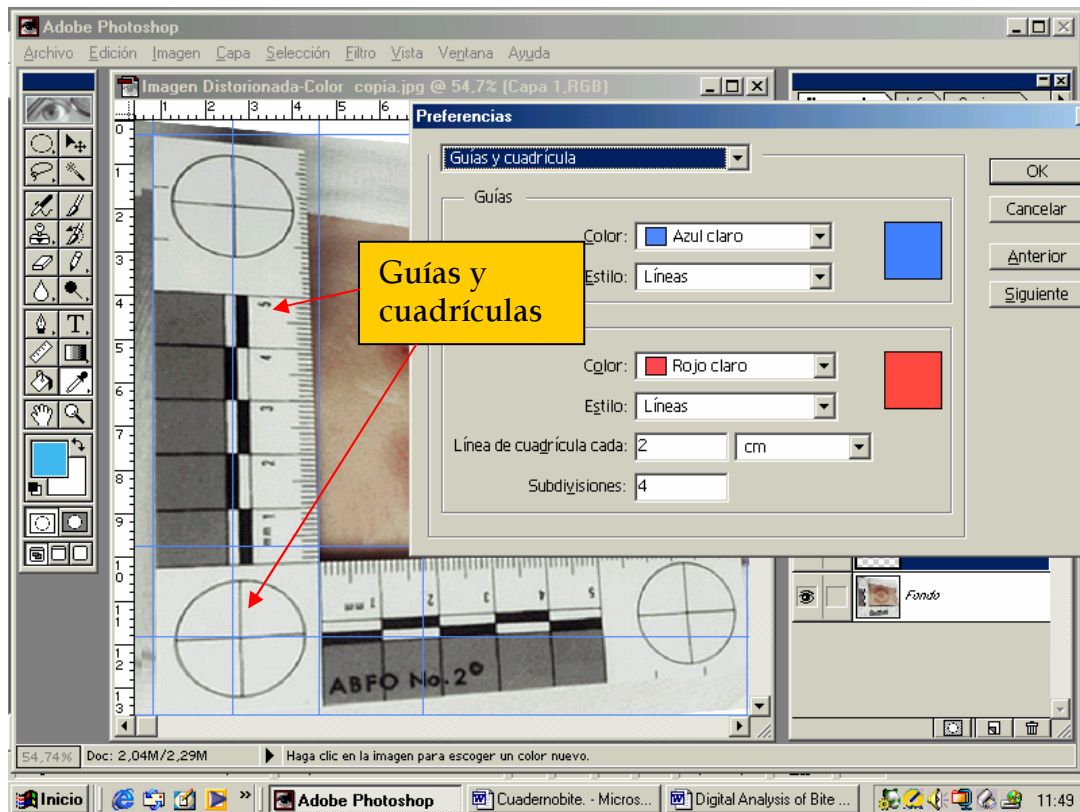


Figura 31. Posicionamiento de las guías. Son líneas verticales y horizontales que podemos colocar en la posición que deseemos de la imagen.

2.1.4. Rectificación de la imagen de una mordedura

Siempre hay que trabajar con el zoom lo más grande que se pueda en nuestra pantalla. Activaremos la capa denominada fondo pulsando sobre ella. La selección de la imagen completa se realiza pulsando en la barra de herramientas **Seleccionar > Todo** o presionando **ctrl + A**. A continuación seleccionamos **Edición > Transformación > Distorsionar**. Aparecerá en la imagen un recuadro con ocho puntos a lo largo de los ejes. Los puntos que hay a mitad de los lados se usan para encoger y escalar la imagen, mientras que los que hay en las esquinas son para ajustar la perspectiva (Figura 32). Hay que usar los puntos (soportes) de las esquinas para ajustar la imagen donde la escala esté alineada lo máximo posible a lo largo de las guías. No hay que preocuparse si la alineación no es perfecta, ya que nosotros podemos repetir este proceso tantas veces como queramos hasta que sea correcto. Cuando hayamos realizado este paso presionamos **Enter**, para transformar la imagen. Con este procedimiento la escala debería volver a su forma original.

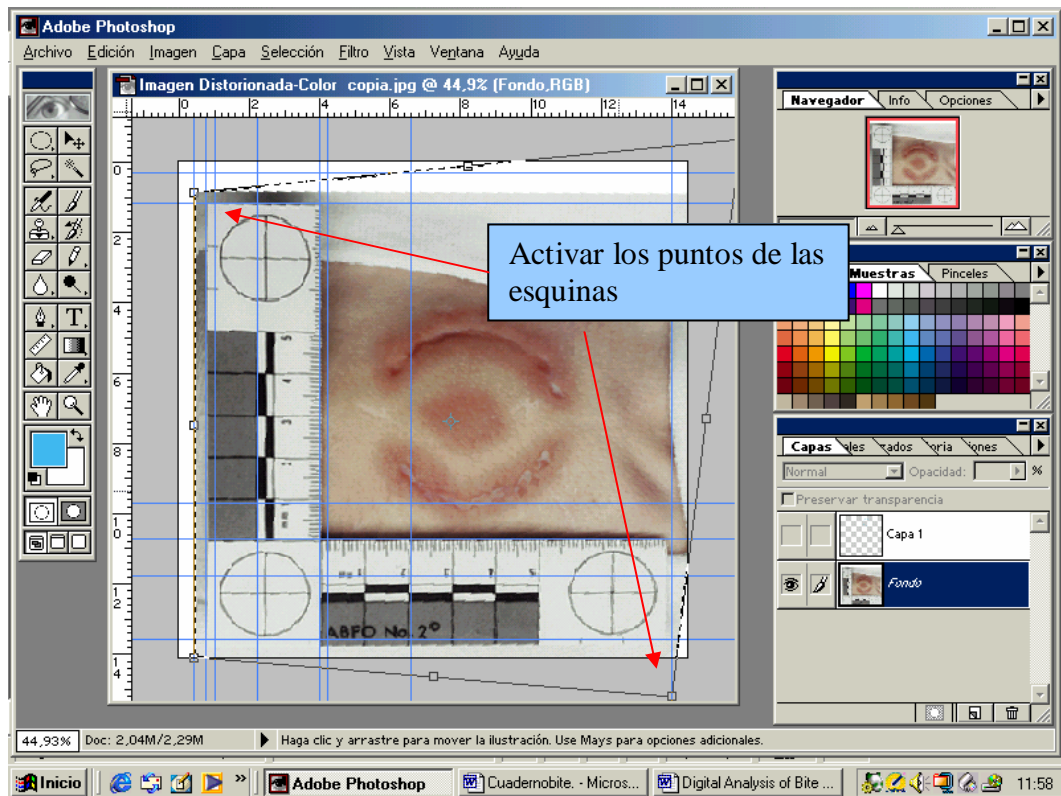


Figura 32. Rectificación de la distorsión de la imagen. Las líneas trazadas como guías nos servirán como referencia a la hora de corregir la distorsión de la imagen.

Para comprobar si ya hemos corregido la distorsión tenemos que colocar una circunferencia sobre las referencias circulares de la escala y ver si coinciden. Si no fuera así, tendremos que volver atrás para rectificar la imagen de nuevo mediante la herramienta distorsionar usando sólo los puntos (soporte) de la mitad de los lados, hasta que consigamos obtener una forma circular, en los extremos de la regla que coincidan con las referencias circulares. Ahora de nuevo volvemos a la capa de fondo y añadimos más guías a lo largo de cada línea incremental en ambos lados de la escala vertical y horizontal.

Cuando todas las guías estén correctamente alineadas y todas las formas de referencias sean circulares, la imagen estará rectificada y la distorsión angular se habrá corregido. Como paso final y para estar seguro de que cualquier distorsión ha sido rectificada, colocar la cuadrícula de nuevo en la fotografía. Cambiamos el tamaño de la cuadrícula y le ponemos la misma distancia que existen entre las líneas incrementales en la escala de la fotografía y han de

coincidir (Figura 33). Para determinar esta distancia, usaremos la herramienta de **Medir** y dibujaremos una línea de medida entre dos líneas incrementales y anotamos la distancia (D) presente en la Información de la Paleta para esta herramienta (Figura 34). Introducimos la distancia (D) en **Archivo > Preferencias > Guías y cuadrícula** en el apartado de cada **Línea de cuadrícula**. De esta forma ya podemos poner la cuadrícula sobre la imagen rectificadas. Activamos la herramienta **Mover** y con los cursores arriba, abajo, derecha e izquierda movemos con suavidad la imagen de la fotografía dentro de la posición correcta bajo la gradilla, para ello pulsamos en cualquier parte de la imagen con el botón izquierdo del ratón y sin soltar la movemos.

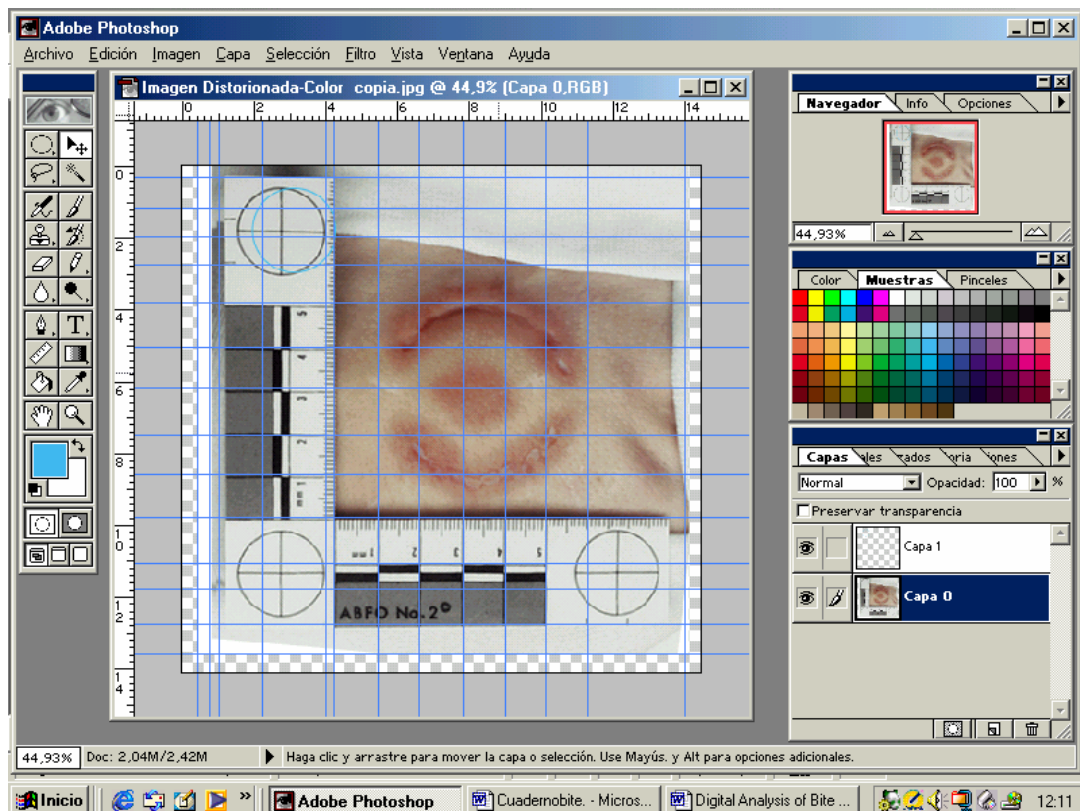


Figura 33. Aplicación de líneas incrementales. La intersección de estas guías en la imagen rectificadas debería formar cuadrados perfectos (no trapezoides) con las dimensiones de las líneas incrementales de la escala.

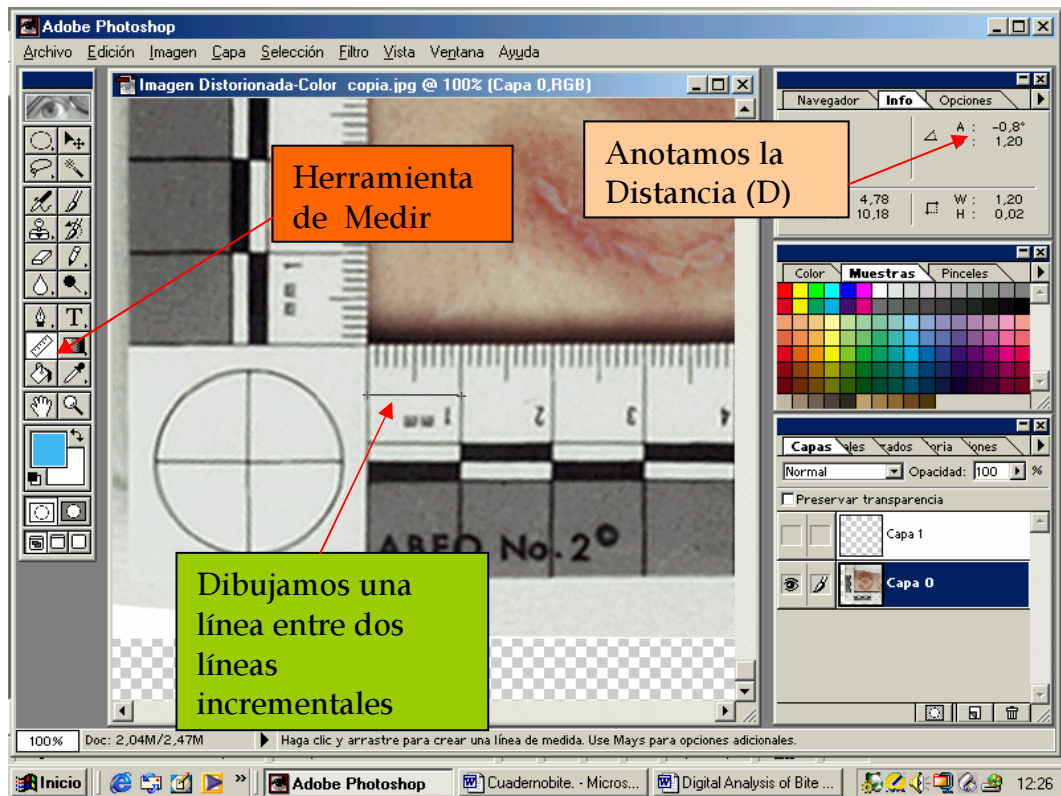


Figura 34. Medición de la distancia entre líneas incrementales.

No hay que preocuparse si sólo uno de los lados de la escala de dos dimensiones se encuentra bajo la gradilla. Es de esperar que sólo un lado coincida. Si hay coincidencia en las distancias de la gradilla con las líneas incrementales de la escala es que la perspectiva de la distorsión ha sido corregida, Theta habrá sido eliminado (Figura 35). Se graba la imagen como **Imagen Rectificada- Color (o Blanco y Negro)**.

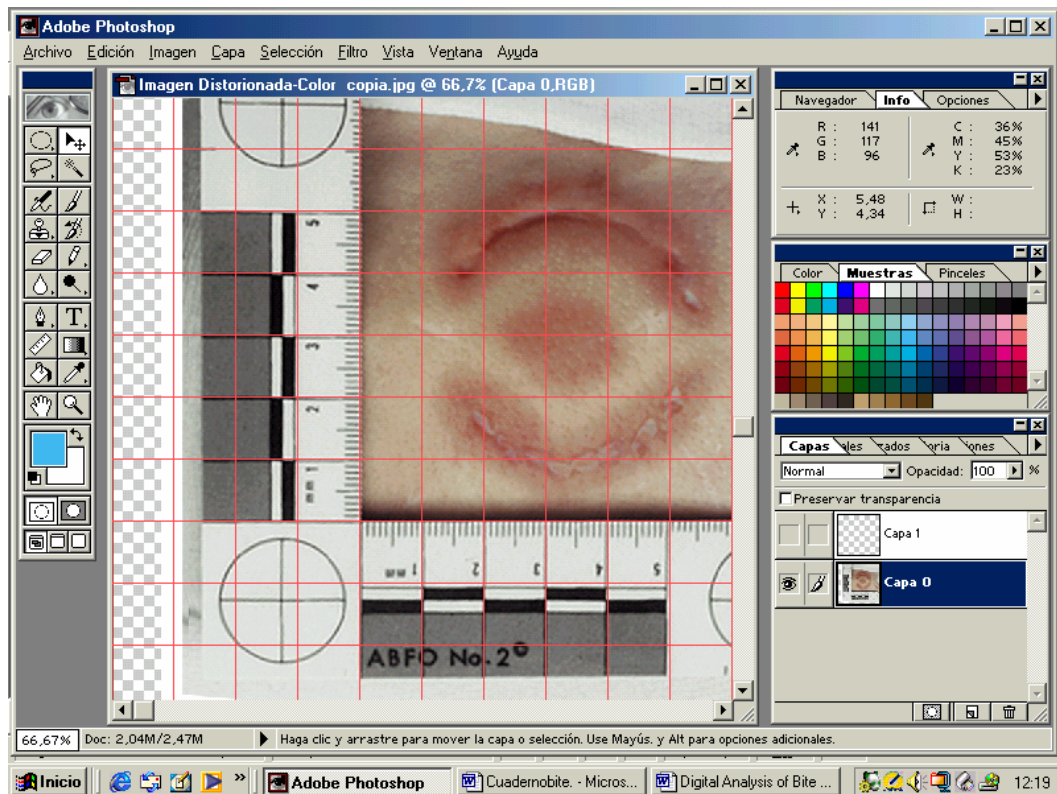


Figura 35. Presentación de la cuadrícula. Al haber introducido en preferencias de cuadrículas, la medida de una de las divisiones de la regla, si todas ellas son iguales coincidirán con la cuadrícula.

2.1.5. Restitución del tamaño de la imagen a su tamaño real (1:1)

Para restablecer el tamaño real de la imagen hemos de partir de algún elemento de la fotografía del cual conozcamos sus medidas exactas como es la escala. La escala ha de situarse paralela al borde vertical u horizontal de la imagen. Lo ideal es incluir una escala de dos dimensiones (como la escala ABFO nº2) en la fotografía. Esto nos permitirá restituir el tamaño real de la anchura y la altura de forma independiente de que la escala sea alineada paralelamente a los bordes de la imagen. Estas dos dimensiones tienen la ventaja de compensar la distorsión a lo largo de ambos ejes.

Los siguientes pasos nos presentan cómo determinar la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño real y de qué forma se puede modificar el tamaño de la imagen para hacer que la escala y la imagen que la acompaña

tenga una relación de 1:1. La cuestión es establecer una relación entre las dimensiones de la escala en la fotografía y las dimensiones reales del mismo objeto. Usando la herramienta de **medición**, medimos una longitud de la escala en la imagen ya creada. Esta medida debería ser tan larga como nos sea posible para poder verla con claridad en la imagen. Para dibujar la línea de medida tenemos que partir de un punto determinado; con la tecla shift pulsada y sin soltar el botón izquierdo del ratón vamos extendiendo la línea hasta la distancia que queramos medir, entonces soltamos el botón del ratón y a continuación la tecla shift. En la paleta de información de la herramienta de medición, encontraremos la distancia (**D**) de la línea dibujada. Anotaremos este número como tamaño relativo de la escala en la imagen. A esta medida la llamaremos **tamaño de la escala (imagen)**, que en el caso del ejemplo de la imagen es de 5,89 cm (Figura 36).

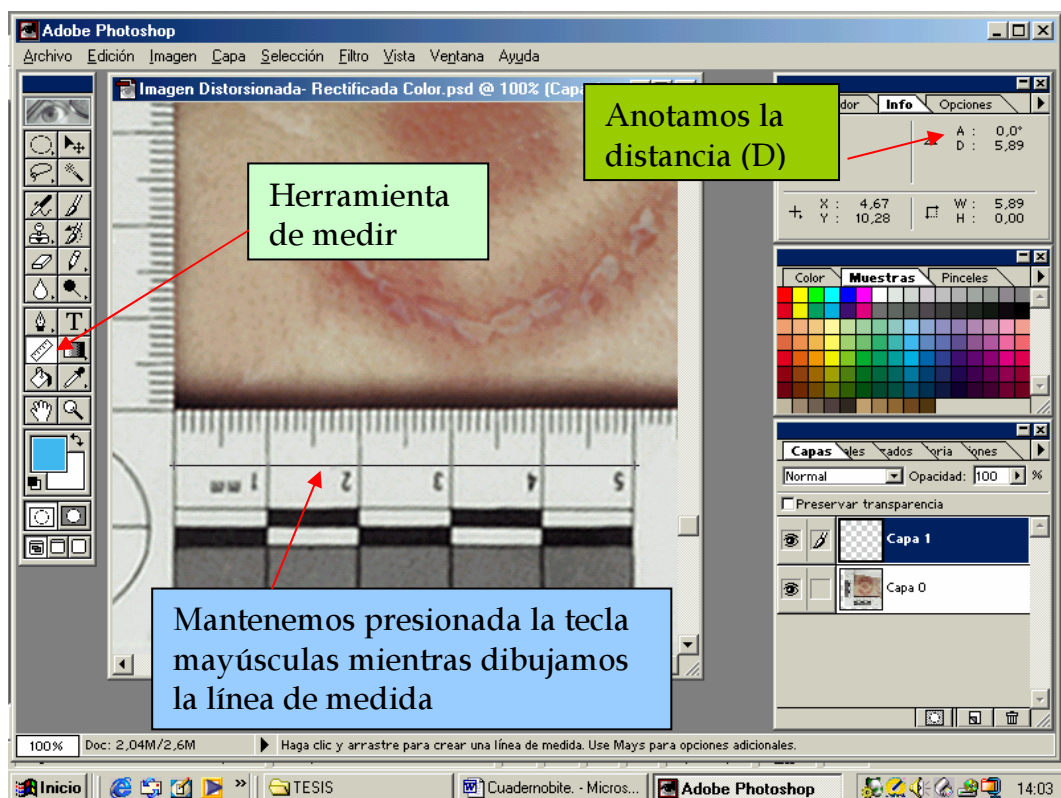


Figura 36. Medición de un segmento de la escala. Medimos con la herramienta de medición una distancia cuya medida real conozcamos, para que luego nos sirva para restituir el tamaño de la imagen a escala 1:1.

Cuando el tamaño actual de la escala, **tamaño escala (actual)**, es dividido por el tamaño de la escala medida, **tamaño escala (imagen)**, tendremos

una relación que representa la cantidad de imagen original necesaria para restituir la imagen a su tamaño real en orden de establecer una relación (1:1). Esta es la **Ratio Restitución** de tamaño calculada de la forma siguiente.

$$\frac{\text{Tamaño escala (actual)}}{\text{Tamaño escala (imagen)}} = \text{Ratio de Restitución a tamaño real}$$

En el ejemplo tendríamos:

$$\frac{5 \text{ cm (tamaño escala)}}{5,89 \text{ cm (tamaño escala en la imagen)}} = 0,8488$$

$$5,89 \text{ cm (tamaño escala en la imagen)}$$

Esta ratio puede usarse para determinar el tamaño de la imagen necesario para obtener una representación real. Es de extrema importancia medir con precisión las dimensiones de la escala en la fotografía. A continuación, y para restituir la imagen a escala 1:1 entraremos en **Imagen > Tamaño de la Imagen**. Si estamos restituyendo el tamaño de una escala en sus ejes X e Y al mismo tiempo (por ejemplo si usamos la regla de la ABFO) la casilla Restringir proporciones deben ser desactivada. Esto nos permite introducir valores independientes para obtener así una mayor precisión en la restitución de tamaño. Hay que multiplicar el valor de la anchura y altura de la escala en la imagen por la Ratio de restitución de tamaño. Cuando los valores de restitución de tamaño han sido calculados, los introducimos en sus casillas correspondientes, pulsamos OK y la imagen original tomará su tamaño original.

En el ejemplo que presentamos multiplicaremos ambas cantidades por la ratio de restitución a tamaño real, sería 14,46 cm que tenía la imagen de anchura por $0,8444 = 12,273648$; y 14,11 cm de altura por $0,8444 = 11,976568$ (Figura 37). Grabaremos esta imagen como **Imagen -Tamaño real-Color (Blanco y Negro)**.

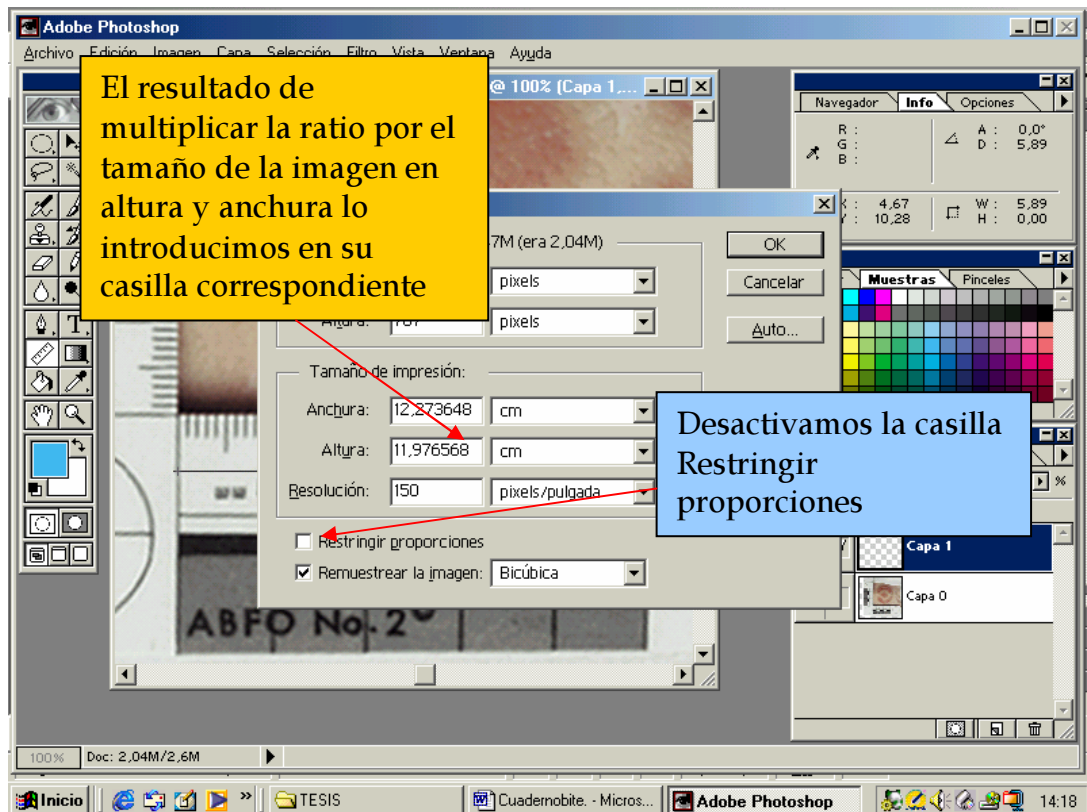


Figura 37. Restitución de la imagen a tamaño real. En la ventana de tamaño de imagen, es donde tenemos que introducir los datos correspondientes a la altura y anchura de la imagen.

Podemos comprobar que la imagen tenga una proporción exacta 1:1 midiendo la escala. También podremos añadirle texto a la fotografía (Figura 38), con la herramienta **Texto**.

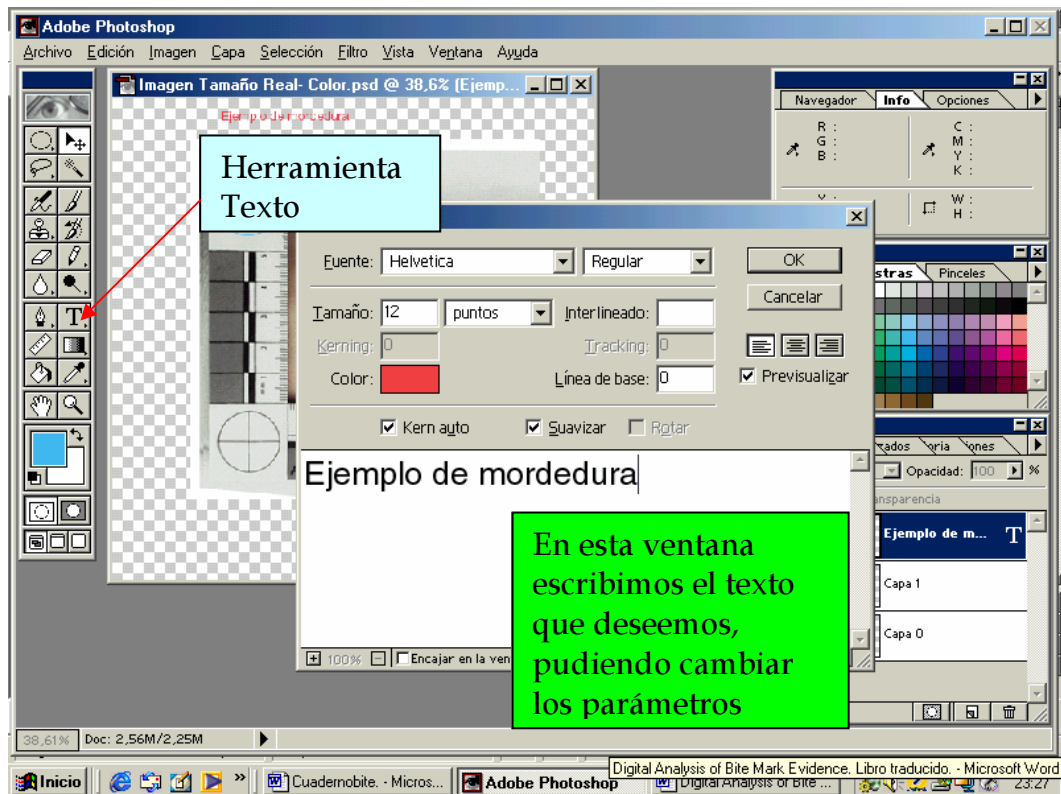


Figura 38. Añadimos texto a la huella de mordida.

2.2 Comparación automática de las huellas de mordida y la fotografía de la herida por mordedura

2.2.1. Análisis comparativo de la huella de mordida obtenida mediante el programa Adobe® Photoshop® y la fotografía de la mordedura

Las fotografías de las mordeduras y las transparencias de las huellas de mordida obtenidas de los modelos dentales escaneados en dos dimensiones están ya preparadas para ser usadas para establecer una comparación de sus patrones. Esta comparación la realizamos mediante el programa Adobe® Photoshop®. Lo primero que tenemos que hacer es abrir una imagen de una mordedura (que ya esté rectificadas y a escala 1:1) y la transparencia de una huella dental generada a partir de un modelo 2D. Ambas imágenes han de tener la misma resolución. Para comprobarlo, activamos la imagen y seleccionamos **Imagen > Tamaño de la Imagen**. Ambas imágenes tienen que tener 300

píxeles/pulgada que fue el valor con el que se escanearon los modelos 2D originales. Además, tienen que tener idéntica magnificación (zoom), que se puede ajustar con el navegador. Estos pasos son muy importantes para mantener unas correctas proporciones de las imágenes.

Una vez hecho lo anterior, pasaremos al proceso concreto de comparación para lo que, en principio, tenemos que voltear la huella dental para que esté correctamente orientada con respecto a la fotografía de la mordedura. Para ello, se activa la capa transparencia, seleccionamos **Imagen > Rotar lienzo > Voltear horizontal**, desactivando previamente todas las capas de texto por eliminación del icono del ojo de cada capa de texto. Posteriormente, se selecciona uno de los arcos dentales de la huella de mordida, por ejemplo el superior, mediante la herramienta de **Marco Rectangular** y usando la herramienta **Mover** arrastraremos el recuadro seleccionado dentro de la imagen de la fotografía de la dentadura. Este paso creará una nueva capa (Capa 2) por encima de la capa de la fotografía de la mordedura en las capas de la paleta. El mismo procedimiento se llevará a cabo con el arco dental inferior de la huella de mordedura. De esta manera, se superpone la imagen de la huella dental sobre la fotografía de la mordedura (Figuras 39 y 40).

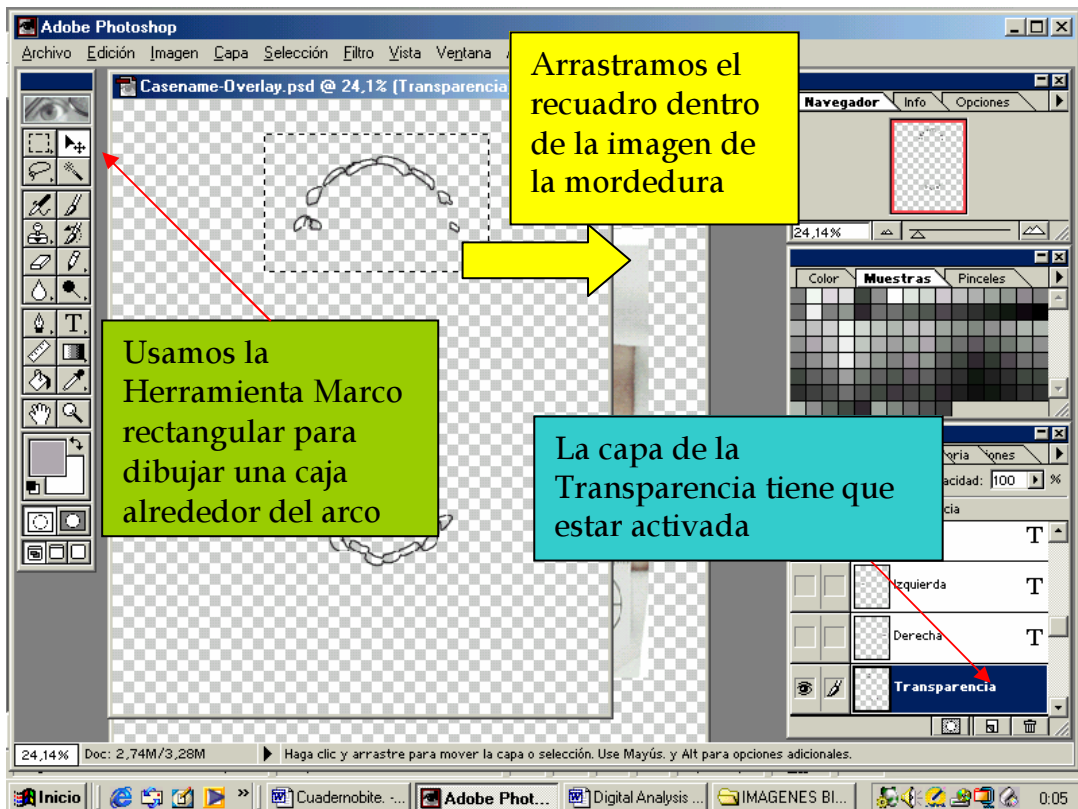


Figura 39. Desplazamiento de la huella dental a la imagen de la mordedura. Una vez volteada la imagen, la encuadramos con la herramienta marco (un arco dental cada vez) y lo arrastramos a la fotografía de la huella.

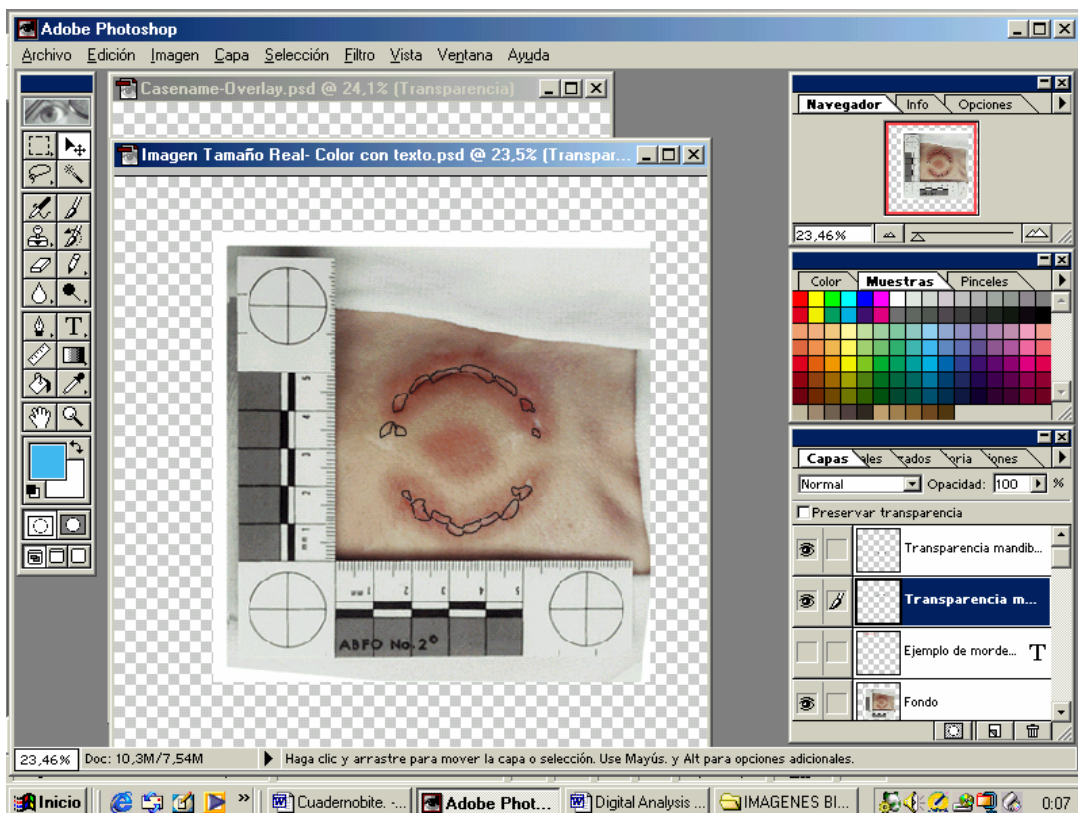


Figura 40. Superposición de la huella dental sobre la fotografía de la mordedura.

Usando esta imagen superpuesta existen tres métodos posibles de comparación de los patrones:

- **Método de comparación 1**

Este método utiliza la comparación por superposición de los patrones de la fotografía de la mordedura y las huellas de los dientes. Seleccionamos uno de los arcos para lo cual lo encuadramos con la herramienta marco y, a continuación, escogemos **Edición > Transformación libre o ctrl + T**. Eso producirá un recuadro alrededor de los trazados de los dientes. Esta herramienta nos permite mover y rotar la imagen de la huella dental sobre la fotografía. No se deben de mover los lados de esta caja pues distorsionaría la imagen (Figura 41). Si pulsamos con el botón izquierdo del ratón dentro del recuadro de la imagen seleccionada podemos moverla de un sitio a otro sin soltarlo. De esta forma, podremos alinear el trazado de los dientes a la posición deseada.

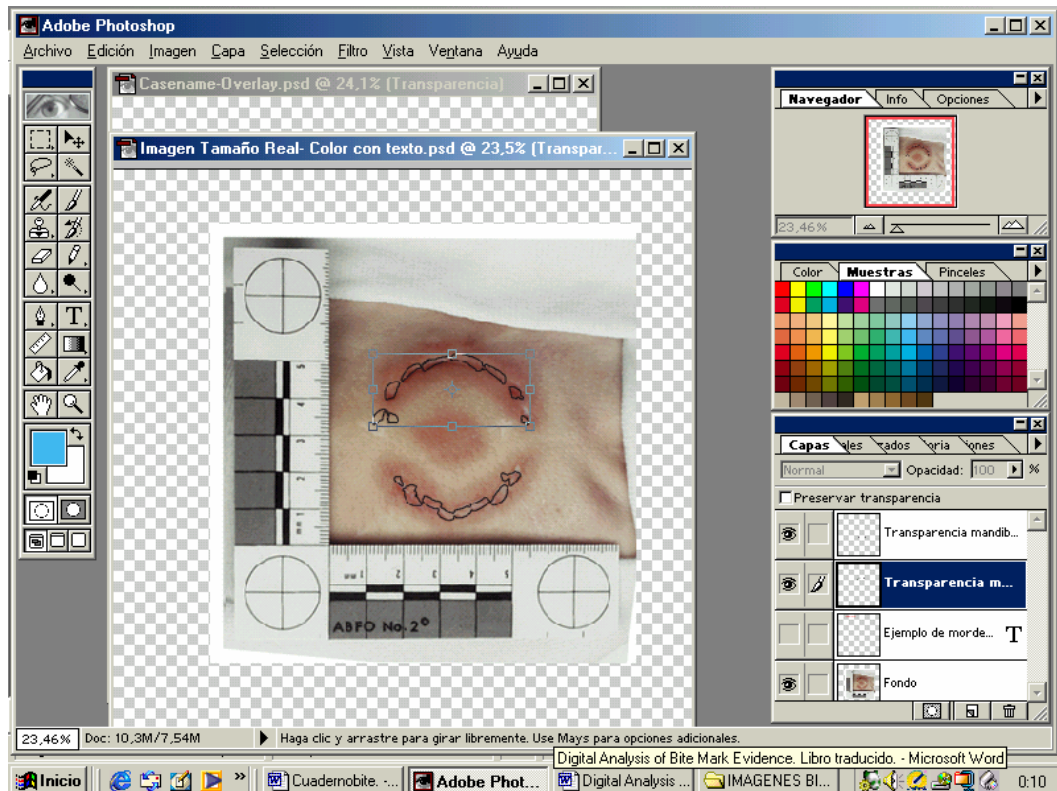


Figura 41. Rotación y movimiento de la huella dental sobre la fotografía de la mordedura para comparar los patrones de ambos.

- **Método de comparación 2**

Otro método de comparación es alinear la transparencia de la huella dental directamente encima de las marcas correspondientes de la mordedura y modificar la opacidad de la transparencia desde una mayor intensidad hasta una menor para visualizar la comparación. Al comenzar tenemos que tener la capa de la transparencia activada. Pulsamos en la flecha que hay junto a la herramienta **opacidad** y esto desplegará el barómetro de la opacidad. Moverlo de 0% hasta 100% paulatinamente para que vaya haciendo aparecer la imagen de la transparencia. En el teclado las teclas arriba/abajo o derecha/izquierda nos permitirán movernos a lo largo del porcentaje de opacidad con un mejor control una vez que esté activada.

- **Método de comparación 3**

Los métodos anteriormente descritos usaban para la comparación la mordedura y la huella dental completa. Comparaciones similares pueden hacerse sólo con las características individuales de los dientes. A veces, un solo diente puede poseer suficientes características individuales para ser válido cuando lo comparamos con la herida de una mordedura. Si la calidad de la mordedura lo permite, estos rasgos podrían ser evaluados por puntos de concordancia también. Usando una magnificación grande de la imagen, tanto como sea posible, detalles muy pequeños pueden ser anotados en la transparencia.

2.2.2. Análisis comparativo de la huella de mordida obtenida mediante el programa DentalPrint© y la fotografía de la mordedura

Con el nuevo programa DentalPrint© hemos obtenido, de cada modelo escaneado en tres dimensiones, una serie de transparencias de huellas dentales, al menos 5 estudios de cada modelo dental que representan diferentes situaciones de mordida. Cada caso compuesto por la fotografía de la mordedura y las 5 huellas dentales generadas a partir de un mismo modelo dental son las que se utilizan en el proceso de comparación en el programa Adobe® Photoshop®.

El procedimiento de comparación se describe a continuación.

1. Transformar las huellas dentales obtenidas de modelos 3D a formato BMP

Para poder continuar el proceso de comparación en el programa Adobe® Photoshop®, los archivos que contienen la información de las transparencias de las huellas dentales en tres dimensiones (formato dp) tenemos que transformarlos en formatos de imágenes en dos dimensiones (formato bmp). En el programa DentalPrint© se ha diseñado esa opción. Para ello, cuando hemos generado una huella dental se pulsa el icono **impresión en mapa de bits**, que se encuentra en la barra de herramientas superior (Figura 42). Una vez hecho esto, hay que seleccionar los píxeles por pulgada (ppi) a los que queremos que se almacene la imagen. Se recomienda emplear una resolución de 300 x 300 ppi, que es igual a la resolución con la que escaneamos los modelos 2D. Este proceso tenemos que hacerlo con todas y cada una de las transparencias o estudios realizados para cada caso.

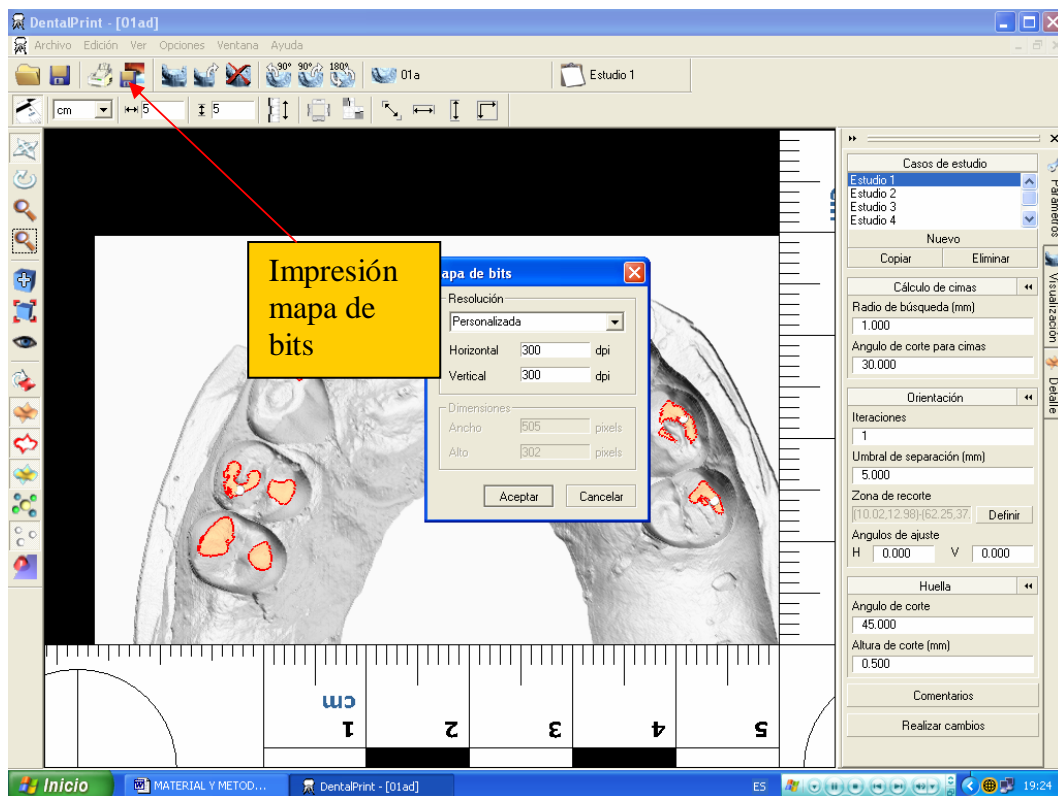


Figura 42. Transformación de la huella dental a formato de imagen mapa de bits (bmp).

2. Redimensionar las huellas dentales a escala 1:1

Una vez que tenemos transformadas las huellas dentales en formato bmp, pueden ser exportadas y utilizadas en el programa Adobe® Photoshop® para continuar el proceso de comparación. Por tanto, se abren las imágenes de las huellas dentales en el programa Adobe® Photoshop® y, en primer lugar, hay que redimensionar la imagen, ya que en el proceso de transformación se produce una pequeña alteración de la resolución. Para ello, se activa la herramienta de **tamaño de la imagen**, donde podemos observar que la resolución es de 300,125 píxeles por pulgadas. Este pequeño decalaje se rectifica, volviendo a almacenar la imagen a 300 ppi (Figura 43).

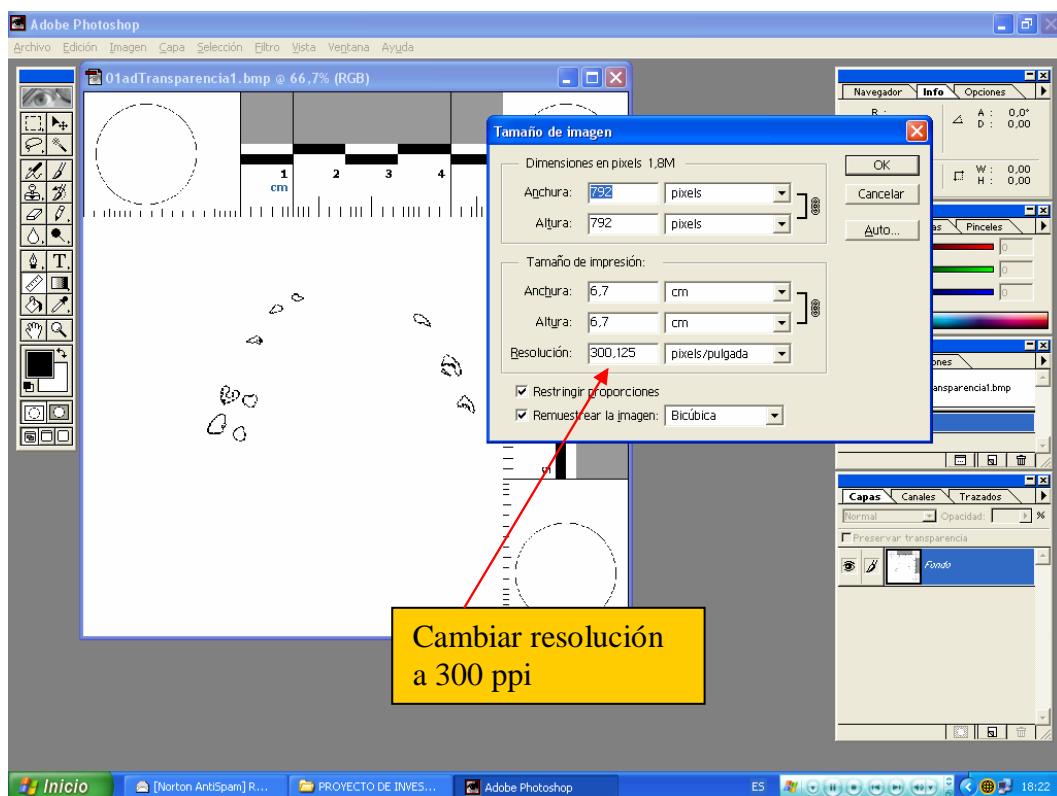


Figura 43. Modificación de la resolución de la imagen de la huella dental (300 x 300 ppi) en Adobe® Photoshop®.

El siguiente paso consiste en redimensionar la imagen a escala 1:1 para poder compararla con la fotografía de la mordedura. La imagen de la

fotografía de la mordedura ya la habíamos dimensionado a tamaño real, así que con la huella dental tendremos que proceder de igual manera. La cuestión es establecer una relación entre las dimensiones de la escala y las dimensiones reales del mismo objeto. Usando la herramienta de **medición**, medimos una longitud de la escala en la imagen ya creada. Esta medida debería ser tan larga como nos sea posible para poder verla con claridad en la imagen. Para dibujar la línea de medida tenemos que partir de un punto determinado; con la tecla shift pulsada y sin soltar el botón izquierdo del ratón vamos extendiendo la línea hasta la distancia que queramos medir, entonces soltamos el botón del ratón y a continuación la tecla shift. En la paleta de información de la herramienta de medición, encontraremos la distancia (**D**) de la línea dibujada. Anotaremos este número como tamaño relativo de la escala en la imagen. A esta medida la llamaremos **tamaño de la escala (imagen)**. Cuando el tamaño actual de la escala, **tamaño escala (actual)**, es dividido por el tamaño de la escala medida, **tamaño escala (imagen)**, tendremos una relación que representa la cantidad de imagen original necesaria para restituir la imagen a su tamaño real en orden de establecer una relación (1:1), esta es la **Ratio Restitución**.

En el caso que mostramos en la Figura 44 la ratio restitución fue de 1,547, resultado de dividir 5cm (tamaño de la escala real) entre 3,23 cm (tamaño de la escala en la imagen). Una vez que tengamos la ratio de restitución de la huella dental a tamaño real, ésta se multiplicará por los valores de anchura y altura de la imagen y así obtendremos la imagen de la huella dental a tamaño real. Sin embargo, aquí tenemos una diferencia con respecto al procedimiento que seguimos con la fotografía de la mordedura y es que tenemos que activar la casilla **Restringir proporciones** (Figura 44). Esto lo hacemos así porque la imagen tiene la misma medida en centímetros de altura como de anchura con lo que basta introducir el valor del resultado de multiplicar la ratio por una de las medidas en una de las casillas para que afecte a la otra también, ya que serán iguales. Una vez introducidos los valores de la altura y anchura de la imagen rectificamos pulsamos OK.

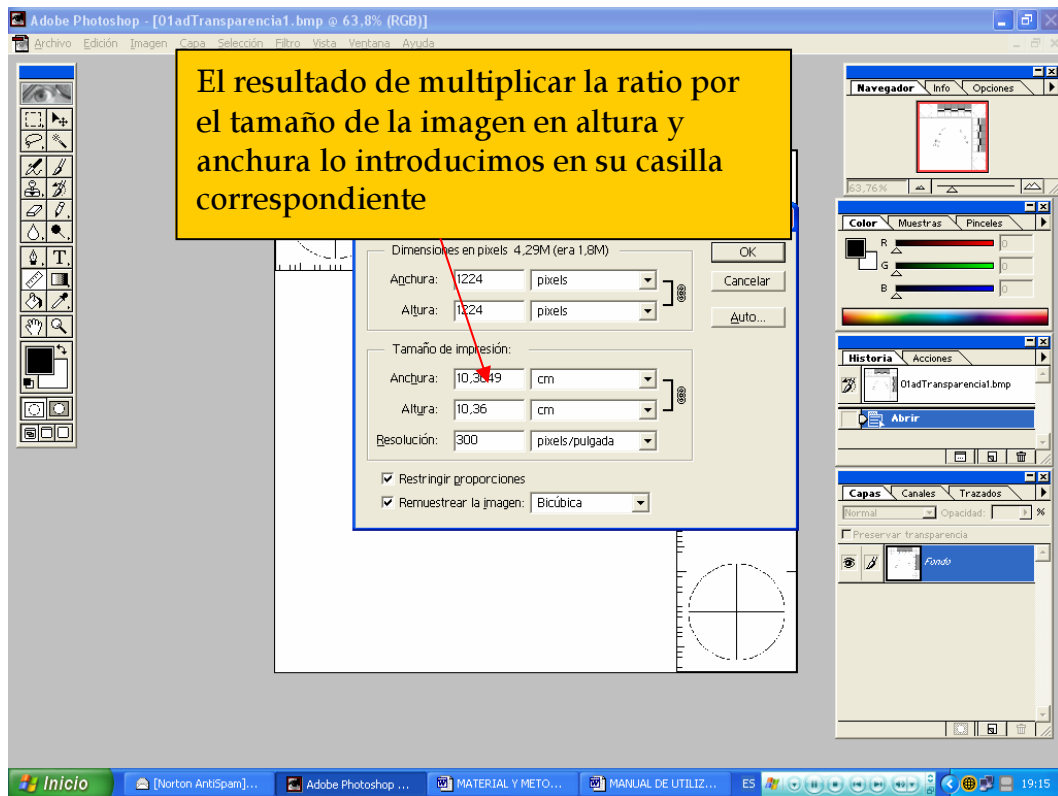


Figura 44. Restitución del tamaño de la huella dental a escala 1:1.

3. Comparación de las huellas dentales generadas a partir de modelos 3D con la fotografía de la mordedura

Llegados a este punto ya tenemos las imágenes de las huellas dentales a tamaño real y con una resolución de 300 ppi. A continuación, vamos a superponer ambas imágenes, la de la huella dental y la fotografía de la mordedura, para analizar las coincidencias de ambos patrones. Para realizar este procedimiento hemos de seguir los pasos siguientes:

- **Voltear la imagen**

El primer paso es voltear la imagen de la huella dental para que esté correctamente orientada con la fotografía de la mordedura (Figura 45). Para ello, pulsamos **Imagen > Rotar lienzo > Voltear horizontal**.

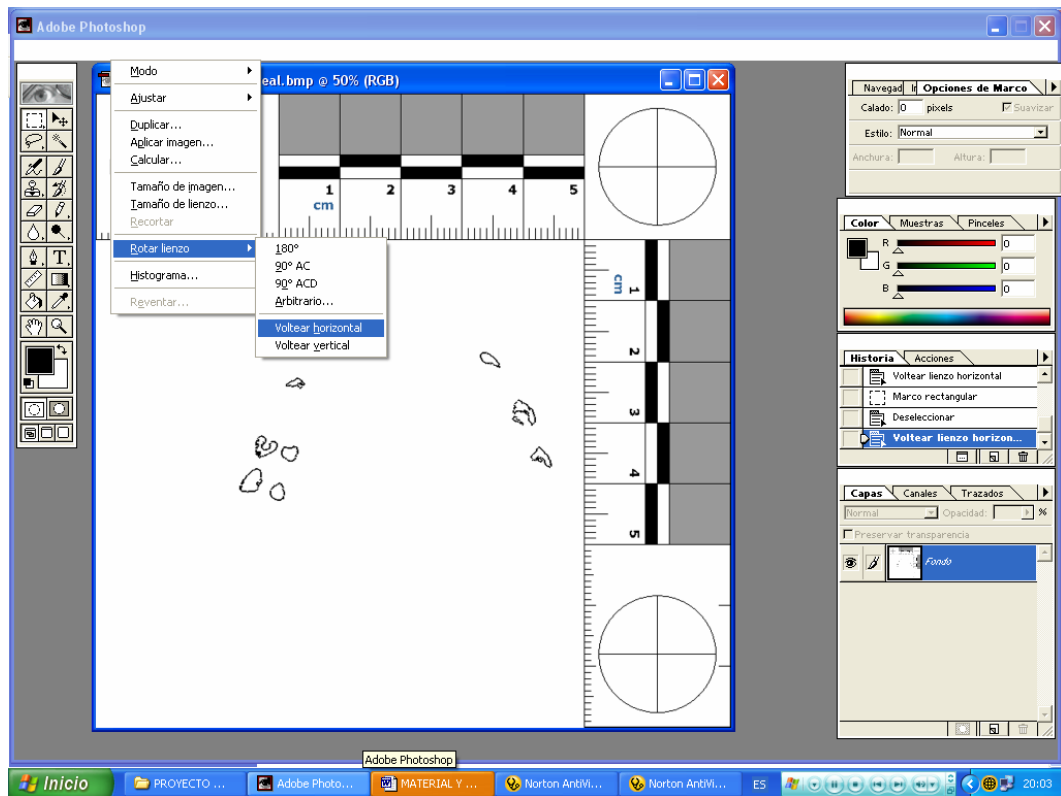


Figura 45. Voltear la imagen de huella dental.

- **Seleccionar la huella de mordedura**

Para poder superponer la huella dental sobre la fotografía tenemos que seleccionarla con la herramienta **marco rectangular** (Figura 46). Este procedimiento lo haremos de manera independiente para la huella dental superior e inferior.

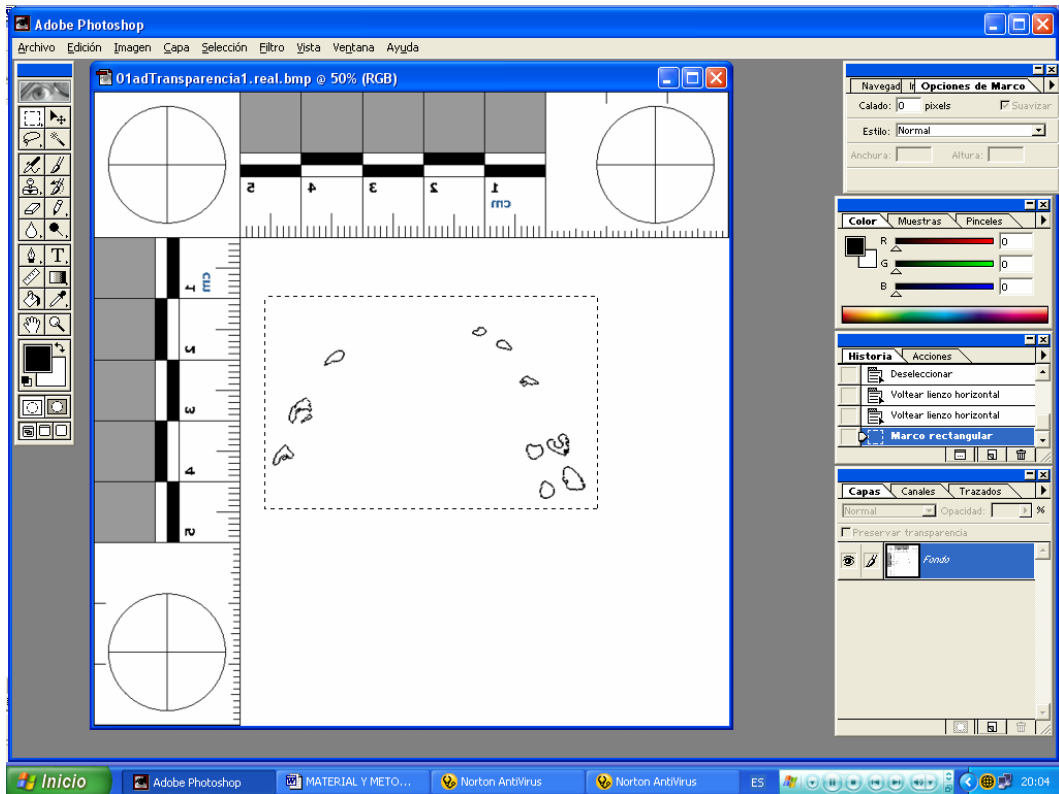


Figura 46. Selección de la huella dental una vez volteada.

- **Creación del trazado de la huella dental**

En este paso lo que se pretende es establecer un contorneado, de color negro, del perfil de la huella dental, pero previamente deberemos crear una nueva capa. A continuación, tenemos que pulsar **Edición > Contornear > Anchura** (2 píxeles), pulsamos **OK** y luego, **ctrl+ D**, para que tengan lugar los cambios realizados (Figura 47).

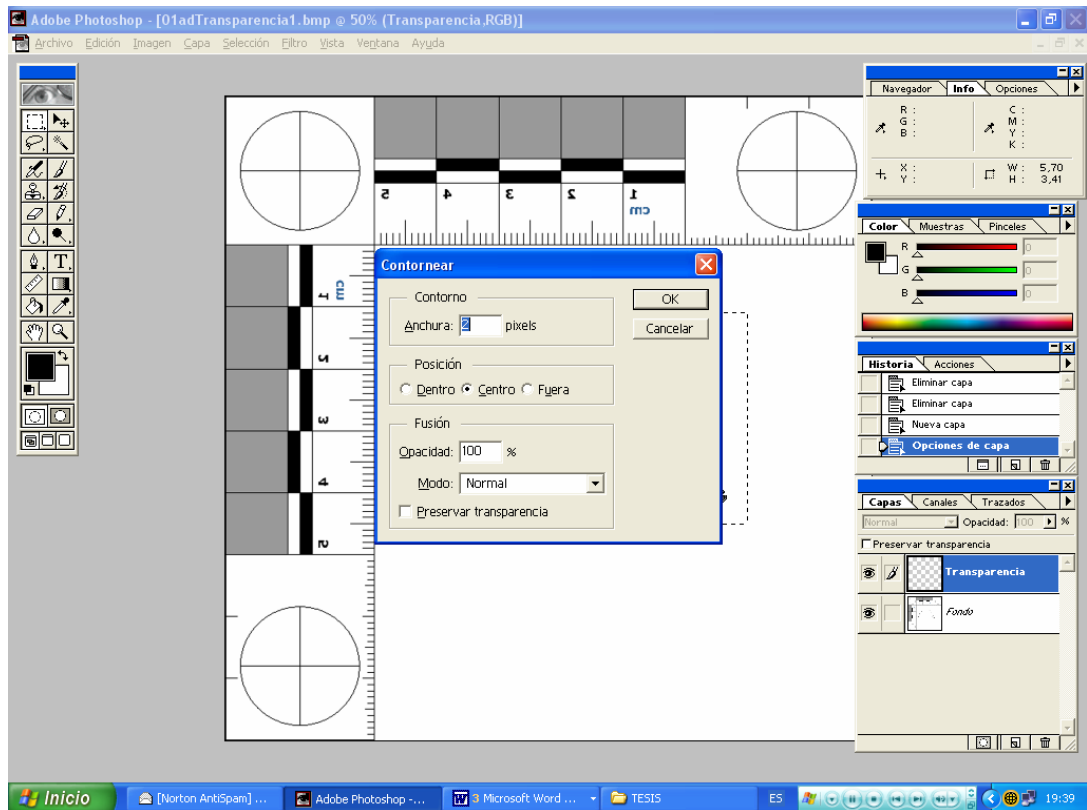


Figura 47. Contorneado del perfil de la huella.

- **Mover la huella dental**

Una vez que tenemos el trazado del perfil de la huella dental, tenemos que trasladarla a la fotografía de la mordedura, para ello seleccionaremos de nuevo la herramienta **marco rectangular**, y a continuación, la herramienta **mover** para arrastrarla a la fotografía de la mordedura (Figura 48).

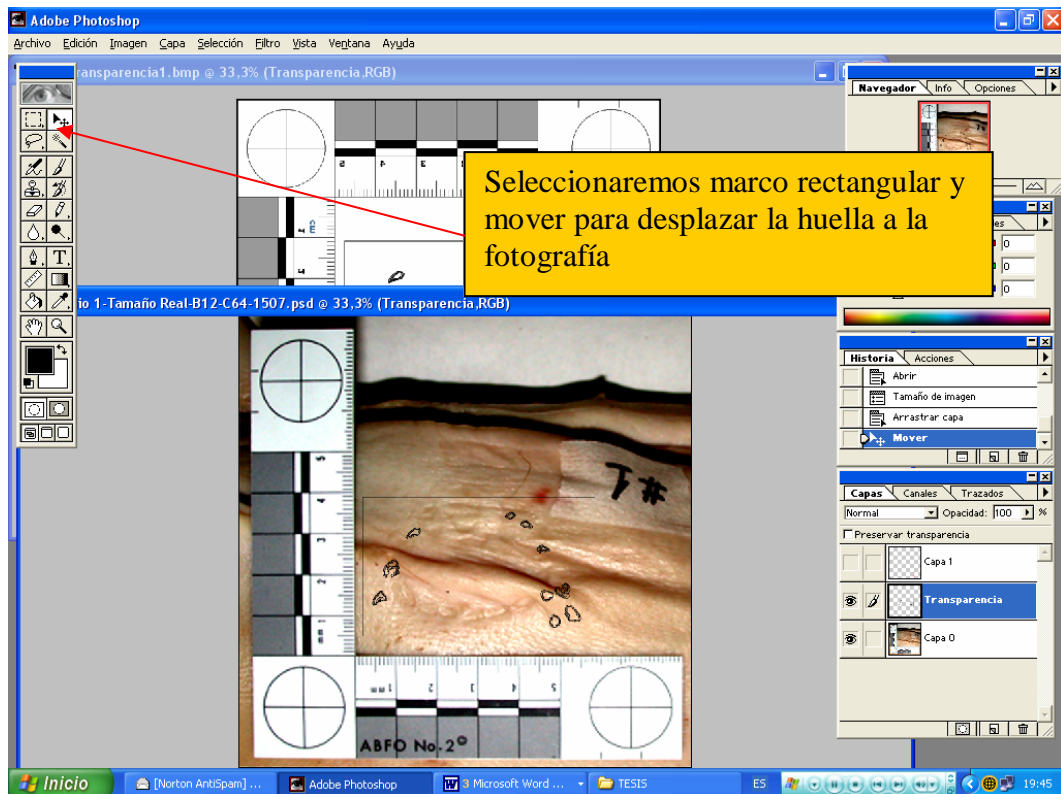


Figura 48. Traslado de la huellas dental sobre la fotografía de la mordedura.

- **Proceso de superposición**

Una vez que hemos movido la huella dental a la fotografía con el comando **Edición > Transformación libre**, procedemos a mover en todas direcciones la huella dental sobre la fotografía de la mordedura para ver si tenemos coincidencias o no (anchura de arco, posición de los dientes, etc.), de igual forma que hacíamos en el proceso de comparación de las huellas obtenidas a partir de modelos en dos dimensiones. Podemos pasar la huella de uno o de los dos arcos dentales a la fotografía, aunque sólo podremos mover uno al tiempo cada vez, dependiendo de que capa está activada (Figura 49).

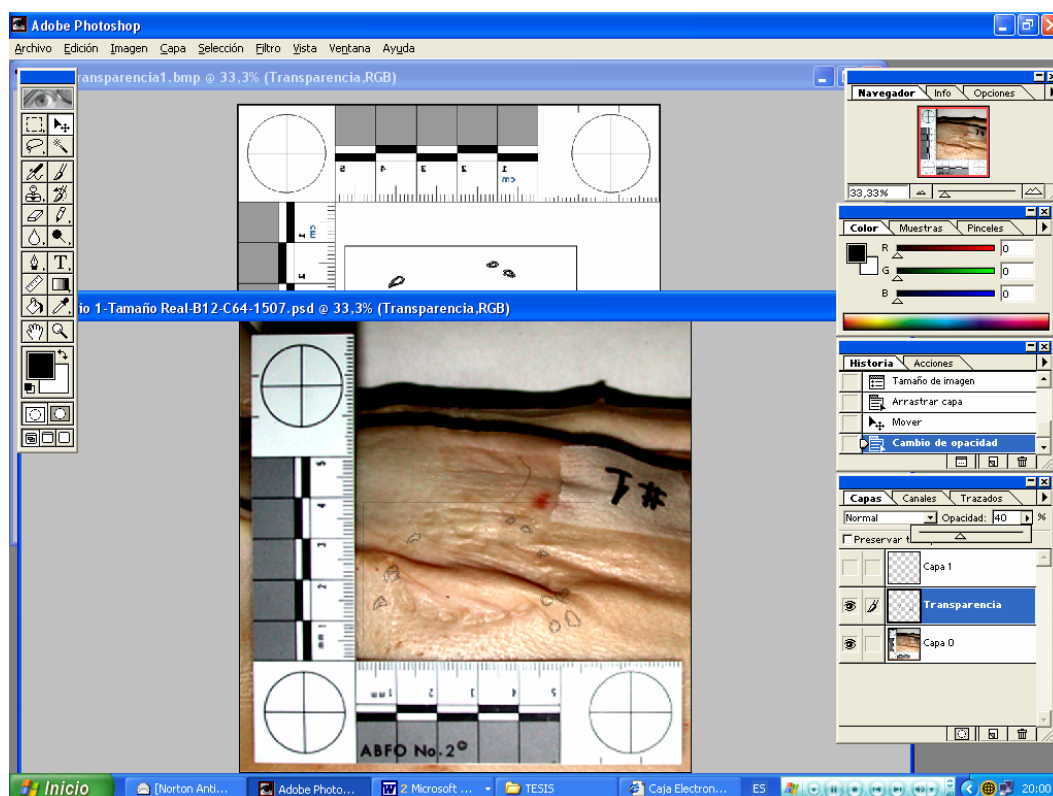


Figura 49. Proceso de superposición de la huella dental y la fotografía de la mordedura. Una vez que tenemos la huella sobre la fotografía la iremos moviendo sobre ella para ver posibles coincidencias entre los patrones.

Tal y como describimos con anterioridad para la comparación con las huellas dentales generadas con el programa Adobe® Photoshop®, el proceso de comparación entre la huella dental y la fotografía de la mordedura puede establecerse por la superposición de los patrones pero también podemos optar por modificar la opacidad de la transparencia de la huella dental lo que nos puede ayudar en la comparación de los dos patrones. De igual manera, podemos comparar la huella dental en su totalidad o sólo algunas características individualizadoras de los dientes.

Por último, es conveniente resaltar algunas recomendaciones que facilitan el proceso de comparación:

- Hay que trabajar con el mayor zoom posible que nos permita nuestro monitor.

- Para realizar los diferentes pasos de comparación hay que intentar trabajar en modo de pantalla estándar o modo de pantalla entera.
- También puede ser de ayuda hacer desaparecer todas las paletas y barras de los menús pulsando la tecla **Tab**, si volvemos a pulsar la tecla las barras vuelven a aparecer.

4. Análisis métrico y angular

En el programa DentalPrint© también disponemos de herramientas para medir distancias entre dos puntos diferentes, tanto en vertical como en horizontal (Figura 50). Las mediciones de las características dentarias tanto en la huella dental como en la fotografía supone una herramienta de inestimable ayuda en el proceso de comparación.

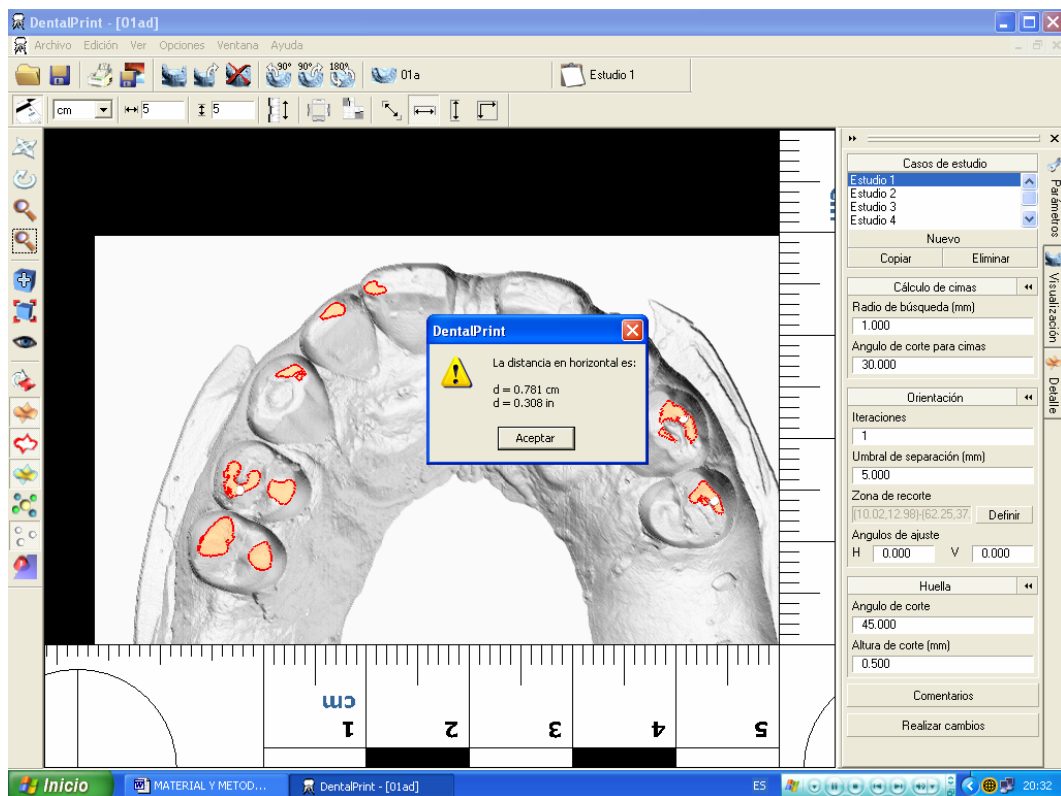


Figura 50. Sistemas de medición en el programa DentalPrint©.

3. ENSAYO EXPERIMENTAL DE SIMULACIÓN DE MORDEDURAS EN PIEL DE CERDO

3.1. Material experimental

Se diseñó un ensayo experimental de mordeduras sobre piel de cerdo. Se eligió este animal por poseer una piel de similares características a la humana y por haber sido el animal de estudio experimental con los mismos fines e idénticas razones por otros autores (Pretty y Sweet, 2001; Kouble y Craig, 2004). El uso de piel de cerdo como elemento de experimentación está aceptado en tanto que es similar a la humana (Whittaker, 1975; Zhang y Monteiro- Riviere, 1997).

Las mordeduras se realizaron en un cerdo sacrificado en un matadero del pueblo de Monachil (Granada) de unos 5-6 kg de peso y de 4-5 semanas de vida, el animal fue eviscerado y desangrado. El estudio experimental se inició aproximadamente a las 4 horas del sacrificio.

3.2. Selección de modelos dentales

De todos los modelos dentales que teníamos disponibles, seleccionamos una muestra que fuera representativa de los diferentes grupos de edades, tanto en hombres como en mujeres. Para ello de los 61 modelos hicimos dos grandes grupos, *adultos* y *niños*, y a su vez, los subclasificamos por sexo biológico. Una vez tuvimos estos cuatro grupos de modelos, tomamos 17 juegos de modelos de manera que fueran un reflejo de las diferentes situaciones que podemos encontrarnos en la realidad como es: presencia de diastemas, obturaciones, dientes fracturados, prótesis, ausencias de dientes, etc. Las características, en cuanto a edad y sexo, de la muestra se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de edades y sexo de los casos implicados en el estudio experimental.

Estudio	Sexo	Edad (años)
1	Hombre	40
2	Mujer	43
3	Mujer	38
4	Mujer	50
5	Hombre	22
6	Hombre	28
7	Mujer	17
8	Mujer	9
9	Mujer	42
10	Mujer	26
11	Hombre	70
12	Hombre	35
13	Hombre	7
14	Hombre	6
15	Hombre	63
16	Mujer	10
17	Mujer	31

3.3. Producción de las mordeduras experimentales

Los modelos dentales empleados en el estudio se montaron en unas charnelas que permitía la articulación de los dos modelos (superior e inferior) en máxima intercuspidación. Se seleccionaron zonas de la piel del cerdo que no presentaran mucha curvatura y se realizaron mordeduras independientes con cada juego de modelos dentales. Para mantener la presión de los modelos sobre la piel del cerdo utilizamos unos torniquetes de carpintero con los que sujetamos los modelos de yeso a modo de pinza durante un tiempo aproximado de 15

minutos siguiendo recomendaciones de otros autores (Pretty y Sweet, 2001) (Figura 51).

Transcurrido ese tiempo, considerado suficiente para que la huella de la impronta dentaria se mantuviera marcada en la piel del cerdo, se procedía a desmontar el sistema y al posterior fotografiado de la mordedura.

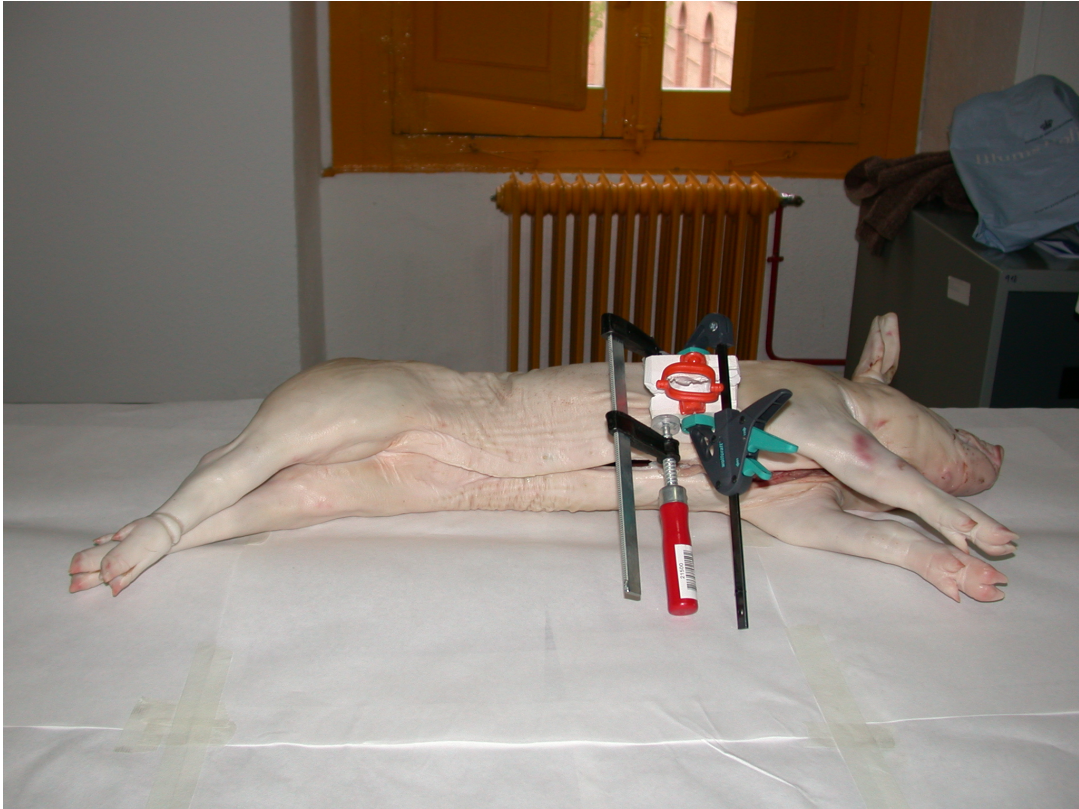


Figura 51. Mordedura experimental sobre piel de cerdo. Vista general del ensayo experimental.

3.4. Características de la fotografía digital

El proceso de fotografiado se llevó a cabo en todo momento según las pautas recomendadas por la ABFO (1995). Se utilizó una cámara digital (Nikon Coolpix 8800, Nikon Corporation, Japón) realizándose un total de 83 fotografías. Todas las heridas por mordeduras se fotografiaron con luz ambiental (sin flash) y con flash. Además, de cada mordedura se realizaron varias proyecciones fotográficas; unas generales o panorámicas de toda la herida, y otras con detalle de zonas definidas de la herida. Las fotografías se realizaron previa colocación de

la escala de la ABFO n° 2 de forma correcta para permitir posteriormente redimensionar la fotografía a tamaño real, y controlar la distorsión fotográfica. En todo caso, se pretendió que la escala métrica estuviera, en la medida de lo posible, en el mismo plano de la mordedura, así como que el objetivo de la cámara estuviese situado en un plano paralelo al de la mordedura (Figura 52).

Cada fotografía realizada se identificó adecuadamente, relacionándola con el testigo numérico colocado junto a la herida por mordedura.



Figura 52. Fotografía de una mordedura experimental con su testigo métrico (escala de la ABFO n°2).

Las fotografías digitales se almacenaron en formato JPEG en el ordenador y, de cada caso del estudio se seleccionó la mejor fotografía. El siguiente paso consistió en redimensionar cada fotografía a tamaño real, para lo que se empleó el programa Adobe® Photoshop® siguiendo el método propuesto

por Johansen y Bowers (2000) y que hemos descrito en el epígrafe correspondiente del presente capítulo de esta tesis doctoral.

3.5. Diseño del proceso de comparación de las transparencias de las huellas dentales y las fotografías de las mordeduras

De todos los modelos seleccionados para el estudio experimental, se generaron transparencias de las huellas de mordeduras empleando el método en dos dimensiones mediante el programa Adobe® Photoshop®, y el método en tres dimensiones empleando el programa DentalPrint©, siguiendo los procedimientos descritos anteriormente en las secciones correspondientes del capítulo Material y Métodos.

Para el procedimiento en la comparación de las huellas dentales generadas y las fotografías de las mordeduras se siguieron las indicaciones de un experto estadístico de la Universidad de Granada. En todos los casos, el observador comparó siempre una fotografía de mordedura con las transparencias de la huella dental generadas de un modelo, es decir, la comparación fue una a una.

Se le suministró al observador una plantilla que establecía el orden de las comparaciones con una secuencia determinada (Tabla 3), de manera que, a partir de los 17 casos de mordeduras del experimento, se realizaron 128 comparaciones. El orden establecido fue el siguiente: el observador realizaba las comparaciones en sentido vertical descendente comenzando la comparación entre las fotografías del caso nº 7 con la huella dental del modelo nº 33; el segundo: fotografía del caso 16 con la huella dental del modelo nº 30, y así, hasta terminar las comparaciones de la columna 1, continuando por la columna 2 también en sentido vertical descendente, y así sucesivamente, hasta finalizar con el último caso de estudio, que sería la comparación 128 entre las fotografías del caso 13 y la huella dental del modelo nº 41.

Siguiendo este diseño nos asegurábamos que existía un número mínimo apropiado de comparaciones (128 para cada método) y, además, se incluyeron un número de identificaciones positivas adecuado para su posterior

análisis estadístico (una cuarta parte de las comparaciones). Todo el procedimiento fue realizado a ciego, es decir, estos aspectos no eran conocidos por el observador.

Tabla 3. Plantilla que determina el orden y el número de comparaciones que realizó el observador en el ensayo experimental.

Mordedura	Huellas dentales			
7	33	22*	51	37
16	30	41*	38	56
13	26	51*	45	18
12	51	45*	1	37
16	38	40	41*	37
2	26	38*	22	40
10	45	22	33*	17
14	40*	38	17	1
15	17	51	56*	22
11	37*	17	22	18
14	40*	30	56	30
1	38	40	37	1*
10	30	51	33*	40
2	21	37	38*	1
6	21*	33	40	38
4	30	45	17*	37
5	56	18*	21	51
1	37	21	45	1*
8	26*	45	17	22
9	17	30*	37	13
8	26*	38	18	56
3	38	13*	51	18
3	26	18	51	13*
12	51	1	45*	37
9	45	33	37	30*
5	51	21	17	18*

4	17*	37	30	33
7	51	26	45	22*
15	40	56*	13	1
6	13	17	21*	40
11	13	30	56	37*
13	37	51*	22	41

* Identificaciones positivas entre el modelo dental y la mordedura

Cada comparación fue realizada de acuerdo con el sistema de puntuación de la ABFO (1995) asignándole a cada conclusión diagnóstica un número. Las conclusiones de los observadores se catalogaron como:

0: No mordedor. Cuando no tenemos dudas sobre que la mordedura no ha podido producirla un determinado modelo dental (al compararlo con la transparencia generada por éste).

1: Probable mordedor. En el caso en el que no podamos estar seguros de excluir a un modelo dental de haber producido esa mordedura, no se ven claros indicios de coincidencia, pero tampoco como para excluirlo de haber producido la mordedura.

2: Posible mordedor. En estos casos es muy posible que la mordedura haya sido producida por un modelo dental determinado, pero no tenemos la seguridad total de que así sea.

3: Mordedor (Identificación positiva). Claramente podemos concluir que hay coincidencia total entre la mordedura y la transparencia.

De las categorías que propugna la ABFO hemos excluido la categoría inconclusa, ya que en nuestro caso teníamos información precisa de cada mordedura como para catalogarla entre las categorías expuestas anteriormente al realizar el proceso de comparación.

Todo este proceso de comparación se realizó para los dos métodos de generación de las transparencias de las huellas dentales, Adobe® Photoshop® y el DentalPrint©, y por dos observadores diferentes: el primero un odontólogo con experiencia en el análisis de mordeduras y el otro, una odontóloga general con interés en el estudio pero sin experiencia previa en el análisis de las mordeduras. Ambos observadores realizaron primero las 128 comparaciones utilizando el programa Adobe® Photoshop® y esperaron un tiempo de 3 meses para realizar el mismo procedimiento con las transparencias generadas por el programa DentalPrint©, de esta manera, se evitaba el sesgo en la toma de sus conclusiones.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para comprobar la reproductibilidad del programa realizamos dos experimentos diferentes intra e interobservador. Los datos fueron analizados en el programa SPSS versión 12.0 y se calculó, para cada ensayo, el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y su intervalo de confianza al 95% (IC).

Para estudiar la validez del método se ha utilizado el análisis de las curvas ROC (*Receiver-Operating Characteristic*) que constituye un magnífico indicador de la precisión de una prueba diagnóstica, aspecto éste crítico en la toma de conclusiones. Las curvas ROC aúnan el concepto de sensibilidad y especificidad en un solo valor, el área bajo la curva ROC, valor inequívoco de la precisión del método. Por tanto, el área bajo la curva ROC refleja, en nuestro caso, la capacidad del examinador de reconocer la dentadura que realizó la mordedura. La sensibilidad, también llamada fracción de verdaderos positivos, se define como la proporción de identificaciones correctas de dentaduras que produjeron las mordeduras. La especificidad es la proporción de identificaciones correctas de dentaduras que no produjeron las mordeduras. En los análisis de las curvas ROC en el eje Y se representa la sensibilidad o la fracción de verdaderos positivos. En el eje X se representa el número de identificaciones incorrectas como complemento al valor de la especificidad (1-especificidad). La figura de la

curva ROC, por tanto, proporciona un cuadro completo de la habilidad de una prueba para discriminar, examinando todos los posibles umbrales de decisión; representa los pares de sensibilidad/especificidad para todo el rango de resultados observados. Cuando el examinador analiza una huella por mordedura, cada conclusión diagnóstica que expresaría el grado en el que cree que la dentadura en cuestión produjo la mordedura, pueden ser usado como puntos de corte de la curva ROC.

Una prueba diagnóstica con una discriminación perfecta tiene una curva que pasa a través de la esquina superior izquierda, donde la fracción de verdaderos positivos es 1 ó 100 % (sensibilidad perfecta) y la fracción de falsos positivos es 0 (especificidad perfecta). Una figura teórica para una prueba que no discrimina es una línea diagonal de 45° o desde la esquina inferior izquierda hasta la superior derecha. La mayoría de las representaciones caen entre estos extremos. Cuanto más cerca esté la línea de la esquina superior izquierda, mayor será la precisión de la prueba. Esta información se resume en el área bajo la curva ROC, valores entre 0,5 y 1 (discriminación perfecta) indicarían una relación positiva entre la categorización y la correcta identificación.

Otro de los objetivos de este trabajo fue analizar si la experiencia de los examinadores influye en la precisión del método. Para tal fin, se comparó, mediante el test de la chi-cuadrado, si existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las áreas bajo la curva ROC de los dos examinadores. Además, se analizó el grado de concordancia de las conclusiones diagnósticas de los dos observadores mediante el índice de kappa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las huellas por mordeduras constituye un tema novedoso dentro del campo de las Ciencias forenses. Su estudio requiere una alta especialización tanto en el campo de la Medicina Legal como en el campo de la Odontología, ya que son necesarios conocimientos de ambas doctrinas para un correcto análisis.

La aportación del estudio de las huellas por mordeduras persigue contribuir a la mejoría de la resolución de una serie de cuestiones de índole médico-legal, como son la violencia en la agresión, la vitalidad de las lesiones (es decir si se produjeron en vida o no del sujeto) o la data de las mismas. Sin embargo, la contribución estrella en la investigación criminal del análisis de las huellas por mordeduras la constituye la identificación del agente actor de la misma. Es, precisamente, en este punto en el que se centra esta tesis.

La evidencia de una mordedura es a menudo una parte importante en los procedimientos judiciales. El proceso de comparación de mordeduras es un procedimiento comúnmente aplicado en el campo de la justicia criminal, sobre todo, en países en los que la Odontología Forense está profundamente desarrollada como Estados Unidos, Canadá o los Países Nórdicos.

En los últimos años se ha investigado ampliamente sobre nuevas técnicas en el análisis de las mordeduras desde la perspectiva Médico-Legal. El proceso de análisis comparativo de las huellas de mordeduras con los modelos o la dentadura del agresor es crítico para la obtención de conclusiones. De la calidad en la generación de las huellas dentales a partir de los modelos del sospechoso dependerá la adecuada resolución pericial del caso. Esto nos obliga a profundizar en el desarrollo de nuevas metodologías que permitan la generación

automática de las huellas dentales para poder compararlos con las mordeduras encontradas en víctimas de agresiones. La automatización del proceso permitirá mejorar la objetividad del análisis, principal crítica científica achacable a la mayoría de los procedimientos actuales (Sweet y Bowers 1998; Johansen y Bowers 2000; Pretty y Sweet 2001; McNamee y Sweet, 2003). La posibilidad de estandarizar el procedimiento y de que éste pueda ser reproducido por cualquier experimentador, es igualmente una finalidad que persiguen las nuevas metodologías.

Diferentes métodos se han utilizado en el análisis de las huellas por mordeduras. Estos métodos podemos clasificarlos en directos e indirectos y, estos últimos, a su vez, en manuales y computerizados.

Los métodos directos, que fueron los primeros que se utilizaron, consisten en colocar los modelos dentales del sospechoso directamente sobre la fotografía de la mordedura. La subjetividad del procedimiento y su escasa calidad técnica hicieron que fueran desbancados por los métodos indirectos.

En los métodos indirectos se crea una huella de mordida del sospechoso a partir de sus modelos dentales, dicha huella plasmada en una transparencia es la que se compara con la fotografía de la lesión de la mordedura. La forma diferente por la que se puede crear la transparencia de la huella de mordida del sospechoso clasifica estos métodos, a su vez en manuales y computerizados.

Los métodos indirectos manuales de creación de la transparencia de la mordida de los sospechosos están descritos con detalle en el capítulo de Introducción de la presente tesis doctoral. Dentro de éstos métodos, el más

utilizado era el método de la fotocopidora (Dailey, 1991), en la que se fotocopiaban los modelos dentales y, a partir de la imagen obtenida, se creaba una transparencia de la huella dental. Este método ha sido utilizado con mucha frecuencia en casos judiciales y, a pesar de estar en vigencia en la actualidad, ha sido perfeccionado al introducir la metodología computerizada en el análisis que mejora la objetividad en el procedimiento.

Los métodos indirectos computerizados podemos clasificarlos a su vez en:

1. Métodos que utilizan imágenes digitales de los modelos dentales escaneadas en dos dimensiones

Dentro de estos métodos cabe destacar el preconizado por autores como Sweet y Bowers (1998), Johansen y Bowers (2000) y Pretty y Sweet (2001), los cuales exportaban las imágenes obtenidas de escanear modelos dentales en dos dimensiones al programa de análisis de imágenes Adobe® Photoshop® donde creaban la transparencia de la huella de mordida de los modelos dentales al detectar áreas de píxeles similares en los bordes incisales de los dientes anteriores.

Este método es el que se ha estado utilizando en el análisis de las huellas por mordeduras hasta la actualidad. Sin embargo, diversas cuestiones pueden ser criticadas en su procedimiento. En primer lugar porque modifican un objeto que es tridimensional, los modelos dentales, a una imagen en dos dimensiones. Este cambio genera una pérdida de información y aumenta la distorsión en el análisis. Por otra parte, el principal problema de este método es que la esencia en la que se basa la generación de las huellas dentales (el seleccionar los bordes incisales de los dientes al detectar áreas de píxeles

similares) no es del todo objetiva, puesto que el operador puede seleccionar o no áreas a su antojo hasta crear una huella dental adecuada al caso. Además, el método no permite generar diferentes huellas dentales dependiendo de la propia dinámica de la mordida lo que constituye un límite en muchos casos prácticos. Es por todos estos inconvenientes por los que nos propusimos mejorar el procedimiento de análisis de las huellas por mordeduras.

2. Métodos que utilizan imágenes digitales de los modelos dentales escaneados en tres dimensiones

Entre los métodos que utilizan imágenes digitales en tres dimensiones tenemos el presentado por Thali y cols. (2003) que aunque también usa imágenes de modelos dentales en 3D, realmente no crean una transparencia de la huella de los modelos dentales sino que realizan una superposición directa entre el modelo dental escaneado y la imagen de la lesión por mordedura. La superposición directa de ambas imágenes no permite analizar con claridad el grado de coincidencia entre ellas lo que limita su utilización.

En esta memoria de investigación nos planteamos el objetivo de mejorar los métodos de creación de transparencias de las huellas de mordidas a partir de los modelos dentales que se habían utilizado hasta la fecha, con especial énfasis en el método que utiliza el programa de análisis de imágenes Adobe® Photoshop® para la confección de transparencias de mordeduras (Sweet y Bowers, 1998; Johansen y Bowers, 2000; Pretty y Sweet, 2001) ya que éste era el método más fiable y puntero en el análisis de las mordeduras hasta el momento y al que se le han detectado algunas deficiencias.

Por ello, fruto de la colaboración del Departamento de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Granada y el Departamento de Sistemas y Lenguajes Informáticos de la Escuela Superior Técnica de Ingeniería Informática de la Universidad de Granada, diseñamos un nuevo programa, DentalPrint© (Martín-de las Heras y cols. 2005), con el que hemos pretendido avanzar en el proceso del análisis forense de las huellas por mordeduras y cuyos resultados plasmamos a continuación. Además, hemos diseñado un ensayo experimental que permitiera analizar la validez de la prueba, aspecto fundamental en las pruebas periciales forenses y cuyos resultados expondremos en el segundo apartado de este capítulo de la tesis doctoral. Información adicional de todos los recursos del programa DentalPrint© pueden obtenerse en la siguiente dirección de Internet <http://www.ugr.es/local/stella/dentalprint> donde se permite la descarga de una versión demostrativa del programa, además hemos incluido el Manual de Usuario en el anexo 1 de esta tesis doctoral.

1. MEJORA EN LA TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE LAS TRANSPARENCIAS DE LAS HUELLAS DENTALES DE LOS SOSPECHOSOS CON EL PROGRAMA DENTALPRINT©

1. 1. Las ventajas del escáner en 3D

Para la realización de las transparencias de las huellas por mordedura hemos diseñado un método que utiliza imágenes de modelos dentales escaneados en tres dimensiones. Los escáner tradicionales escanean los objetos en dos dimensiones lo que supone una distorsión al tener que modificar un objeto que es tridimensional, como son los modelos dentales, y transferir la información que proporcionan, a una imagen de dos dimensiones. Para ello hemos desarrollado una técnica de escáner de los modelos del sospechoso en tres

dimensiones utilizando un escáner 3D de tipo contacto (Picza 3D Scanner, Roland Digital Group Corporation). Para obtener la suficiente precisión en las imágenes para su análisis posterior, se ha optimizado las características del escaneado realizando varias pruebas de escaneado tal y como se explica en el apartado de Material y Métodos de esta memoria de investigación.

1.2. Mayor objetividad y rapidez en la creación de las transparencias de las huellas de mordida

Uno de los objetivos de esta tesis era buscar un método que mejorara la objetividad y precisión en la elaboración de la huella dental, minimizando en la medida de lo posible la participación del experto. En el pasado, uno de los problemas que se planteaban en la creación de la huella de una mordedura era que para crear el trazado de los perfiles de los dientes implicados en una mordedura (transparencia) el odontólogo/a los tenía que trazar a mano (métodos manuales). Más recientemente, algunos investigadores han estado utilizando un método computerizado para generar la huella dental a partir de modelos escaneados en dos dimensiones, y utilizando el programa Adobe® Photoshop® (Sweet y Bowers 1998; Sweet, Parhar y Wood, 1998; Johansen y Bowers, 2000; Pretty y Sweet, 2001; McNamee, Sweet y Pretty, 2005). Sin embargo, este método por su procedimiento no dejaba ser del todo subjetivo puesto que para seleccionar las áreas de píxeles similares de los bordes incisales de los dientes, el experto puede decidir cuáles incluye o cuáles no e incluso borrar las áreas de mordida que estime oportuno.

El proceso de generación de las huellas dentales a partir de modelos escaneados en 3D es un proceso más objetivo que los utilizados hasta ahora ya que, en nuestro caso, el investigador no interviene en la creación de la huella

pues es el propio programa el que la crea de forma automática. Para ello, el programa DentalPrint© selecciona los 3 puntos más elevados de entre todos los posibles calculados para pequeñas áreas del modelo dental, y se define un plano (plano de contacto), a partir del cual, se generarán las superficies de los dientes implicados en una mordedura de forma automática. El observador no puede manipular la imagen que se genera lo que potencia la imparcialidad y evita el sesgo inherente a la subjetividad del operador.

La automatización de la totalidad del proceso trae consigo, a su vez, una mayor rapidez en el proceso de generación de la huella. En los métodos que utilizaban el programa Adobe® Photoshop® tenían que realizarse una serie de pasos previos para la obtención de los bordes de los dientes implicados en la mordedura, lo que enlentecía el procedimiento.

1. 3. Mayor control de la distorsión primaria

Un aspecto muy importante a tener en cuenta en el análisis de las mordeduras es que el acto de morder es un proceso dinámico, de un lado la mandíbula se mueve respecto del maxilar y de otro la persona que recibe la mordedura. Además, el sustrato sobre el que se produce frecuentemente la mordedura, la piel humana, es un tejido elástico y deformable. Estas características específicas de este tipo de huellas hace que cada episodio que produce una mordedura es un acontecimiento único. Por tanto, esto nos indica que una misma dentadura puede producir y produce marcas de huellas dentales diferentes (Sheasby y MacDonald, 2001).

Esta variabilidad en la apariencia de una huella por mordedura hace necesario que, para un mejor análisis, podamos obtener de un mismo modelo

dental diferentes transparencias de sus huellas dentales, acordes al proceso dinámico del acto y a las características del sustrato, para compararlas con la fotografía de la mordedura. Esta cuestión no estaba resuelta por los métodos de creación de transparencias utilizados hasta la fecha, sin embargo, el programa DentalPrint© permite crear diferentes huellas dentales (transparencias) para ello se ha dotado al programa de una serie de herramientas informáticas para conseguir este propósito.

De cada modelo dental se pueden crear tantas transparencias de la huella dental (casos de estudios) como consideremos oportuno. En el panel de parámetros del programa (barra del lado derecho) se permite el acceso a todas las variables que se utilizan para los cálculos geométricos de cada caso de estudio. Éste se divide en varias secciones, cada una dedicada a una fase de los cálculos que se realizan para determinar la huella dental. Al lado del título de cada apartado aparece un botón que sirve para establecer los valores por defecto en los parámetros de esa sección. Después de hacer cualquier modificación sobre los datos, es necesario pulsar el botón inferior del panel (*realizar cambios*), para que se calcule y ejecute la nueva huella dental. Los parámetros que podemos modificar son:

- Con respecto al cálculo de las cimas (puntos más altos)

Radio de búsqueda (milímetros). El programa DentalPrint© realiza una búsqueda por toda la superficie del modelo detectando todos los puntos más altos (máximos locales) para después seleccionar los 3 más elevados de entre ellos. Esta búsqueda la realiza en áreas circulares que va solapando unas con otras para evitar perder información. Este radio determina la amplitud de la zona donde se define cada máximo local. Cuanto mayor sea,

más rápidos serán los cálculos y menos cimas aparecen. Al programa por defecto se le asignó que estas áreas circulares tuvieran 1 mm de radio, es decir, que va detectando los puntos más elevados del modelo dental en superficies de 1mm, este parámetro puede ser modificado aumentando o disminuyendo el valor del radio de búsqueda (Figura 53).

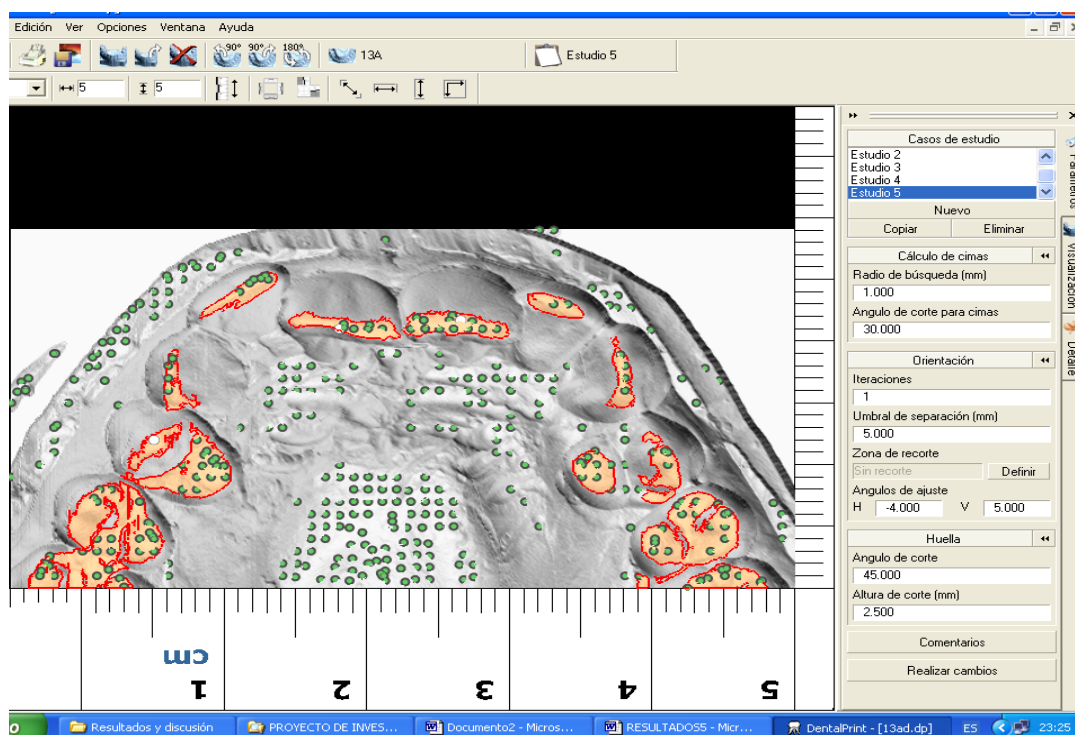


Figura 53. Los puntos verdes (cimas secundarias o máximos locales) nos indican los puntos más elevados de las distintas superficies del modelo, de entre todos ellos se detectarán las tres cimas principales (puntos blancos) que definen el plano de contacto.

Ángulo de corte para las cimas (grados). En cada punto de la superficie se define una pendiente respecto del plano base, incluyendo las cimas; si el ángulo de inclinación supera el umbral establecido, el máximo local será descartado. En los valores por defecto del programa le hemos asignado un valor de 30 grados que también puede ser modificado según el caso lo requiera.

- Con respecto a la orientación del modelo

Umbral de separación (milímetros): El umbral de separación es la distancia mínima que deben guardar entre sí las cimas principales, para evitar que estén muy próximas. Las cimas principales son los tres puntos más altos del modelo. El programa detecta todos los puntos más altos de las diferentes zonas del modelo y de todos ellos toma los tres más elevados (aparecen en color blanco) los cuales se situaran sobre bordes incisales y cúspides. Estos tres puntos definen el plano de contacto, el cual a su vez genera la huella al extenderse hacia abajo en el modelo dental. Estudios previos durante la elaboración del programa hicieron aconsejable que estos tres puntos no pudieran estar entre sí a una distancia inferior a 5 mm, con objeto de que no aparecieran juntos en una misma pieza dentaria, como por ejemplo, ocurriría en una pieza dental que estuviera un poco elevada sobre el plano oclusal (extruida), esto debíamos evitarlo pues si en un mismo diente coincidían dos o las tres cimas, el plano de contacto nos daría una orientación incorrecta. Dicha distancia puede ampliarse si por las características oclusales de la dentadura así lo consideráramos (Figura 54).

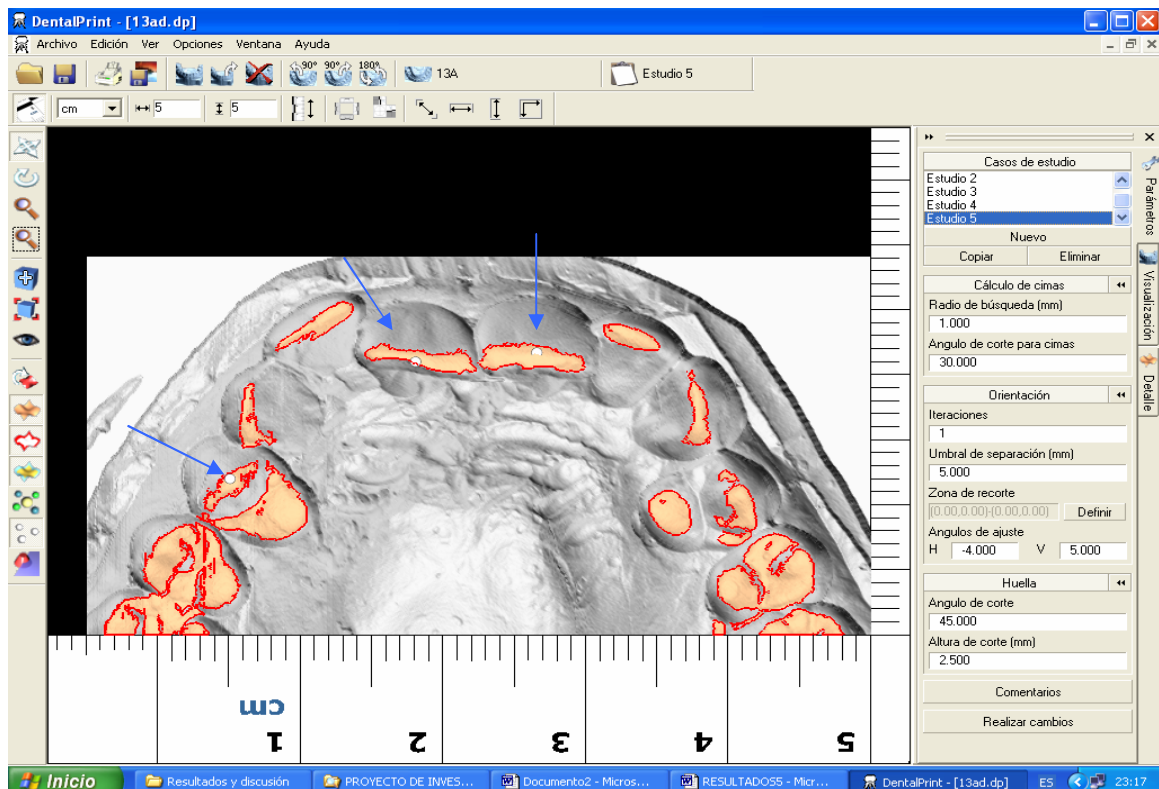


Figura 54. La presencia de las cimas principales define el plano de contacto (puntos blancos señalados con las flechas azules). En esta imagen aparecen en los dientes 14,11 y 21. La distancia entre ellas puede ser modificada si el caso lo requiere (umbral de separación).

Zona de recorte: La huella de una mordedura viene definida por el plano de contacto, que a su vez está definido por los puntos más altos del modelo dental (cimas principales), de esta manera, nosotros podemos delimitar una zona de trabajo (zona de recorte) del modelo en particular, que será la que defina el plano de contacto, pues las cimas principales siempre están dentro de la zona de recorte y, por tanto, la huella se creará basándose en esta información. También podemos mantener esta opción desactivada, en cuyo caso se trabajará sobre todo el modelo dental (Figura 55).

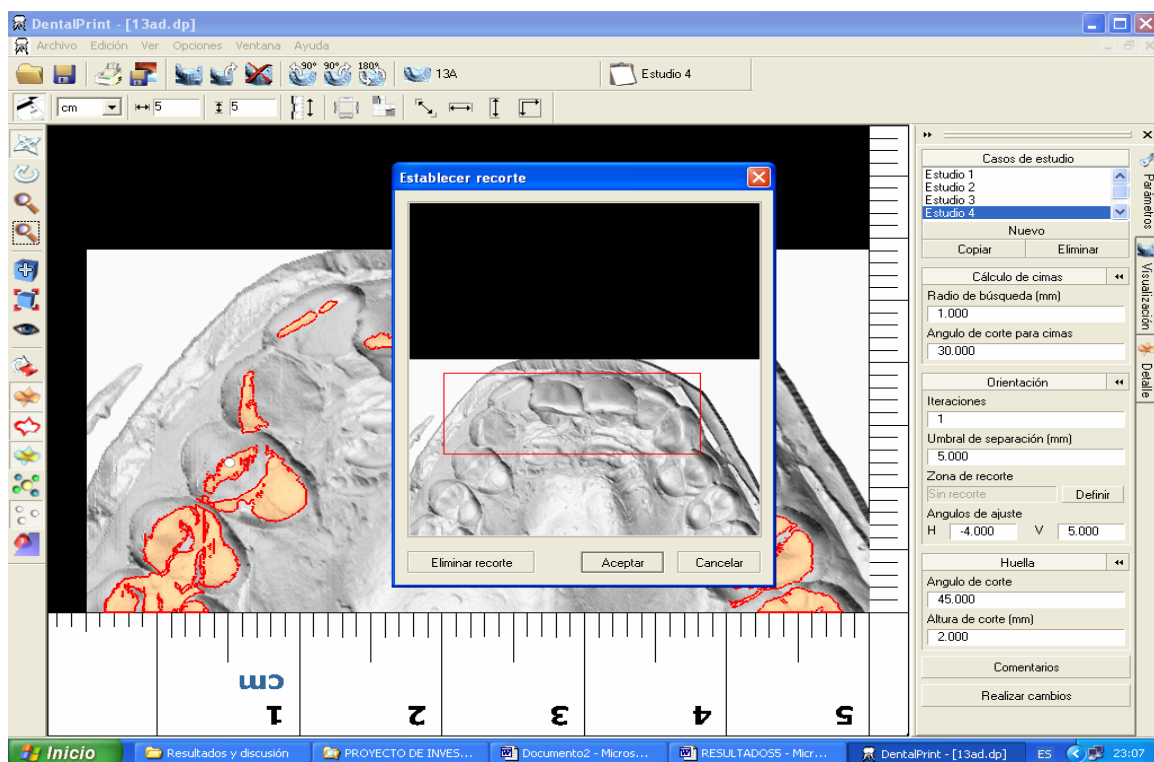


Figura 55. Con la herramienta de zona de recorte podemos acotar la zona sobre la que queremos trabajar para la generación de la huella dental.

Con respecto a la huella

Ángulo de corte (grados): La huella se crea a partir del plano de contacto (definido por las 3 cimas principales) que se extiende hacia abajo, incluyendo las zonas en las que la pendiente de la superficie supera el ángulo umbral de corte. Por defecto se le asignó al programa un valor de 45° pero es modificable según las características del caso en cuestión.

Altura de corte (milímetros): La creación de la huella dental depende también de la profundidad a la que se extiende el plano de contacto. Para evitar que la extensión hacia abajo del plano de contacto supere cierta profundidad, se acota mediante este parámetro. La altura de corte se mide desde el plano de contacto hacia abajo.

Ángulos de ajuste (grados): Es posible realizar un ajuste adicional al plano de contacto creado mediante la herramienta ángulos H y V. El ángulo H hace rotar el plano de contacto resultante en sentido horizontal, los grados que estimemos oportuno, y el V en vertical. Mediante estos cambios en la angulación podemos obtener huellas diferentes para un mismo modelo (Figura 56). Esta herramienta es particularmente importante para controlar el dinamismo en la huella generada, como en los casos en los que existiera mucha angulación entre los dientes del agresor y la piel de la víctima, en las huellas de mordeduras parciales o en los casos en los que la víctima se moviera para defenderse y no recibiera un mordisco completo.

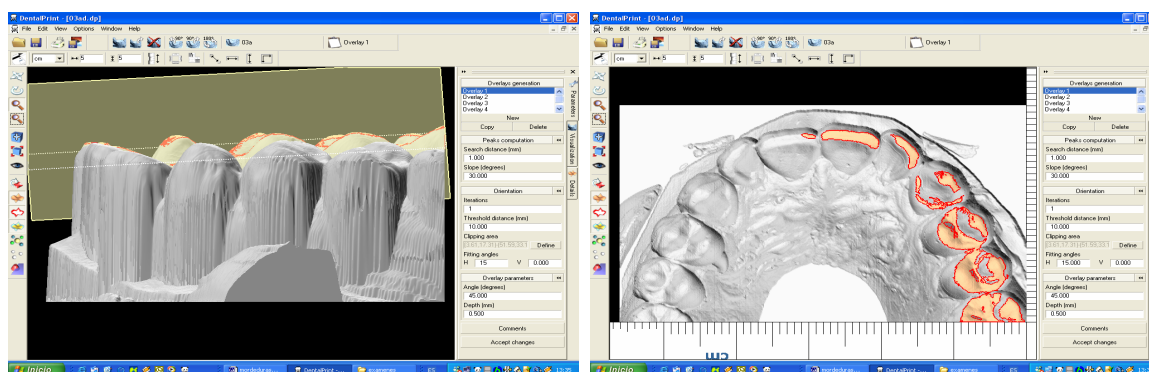


Figura 56. En el programa DentalPrint© podemos crear diferentes huellas dentales a partir de un mismo modelo cambiando los ángulos de ajuste vertical y horizontal del plano de contacto. En las fotografías vemos un ejemplo de una mordedura donde hemos inclinado el plano de contacto 15° en horizontal, en la imagen de la izquierda se ve el plano de contacto rotado y en la de la derecha la imagen de la huella resultante.

1.4. Creación de diferentes huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordida

Dependiendo de la intensidad o fuerza con la que se realice una mordedura variará el grado de penetración de los dientes en la piel y por tanto, la huella dental cambiará. Además, hay que pensar que si, por ejemplo, hay piezas por debajo del plano oclusal (intruidas), éstas pueden no reflejarse en la mordedura si ésta no es suficientemente fuerte, pero a medida que la mordedura sea más intensa podrán aparecer en la misma. En las transparencias que se generaban en el programa Adobe® Photoshop® no existía la posibilidad de hacer estas distinciones en la creación de las transparencias, ya que todas las piezas de la arcada dental salían reflejadas en la huella sin tener en cuenta su posición respecto del plano de oclusión.

El programa DentalPrint© permite crear diferentes transparencias de huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordida, al poderse modificar la profundidad (altura de corte) a la que se extiende el plano de contacto para

generar la huella (Figura 57). En esta tesis hemos realizado cinco estudios (transparencias) por cada modelo, variando la altura de corte desde 0,5 mm para el primer estudio, 1 mm para el segundo, 1,5 mm para el tercero, 2 mm el cuarto y hasta 2,5 mm el quinto. En algún caso particular incluso se hicieron más de cinco estudios por modelo, teniendo en cuenta que partíamos de 61 modelos nos dan un total de 333 huellas dentales (transparencias).

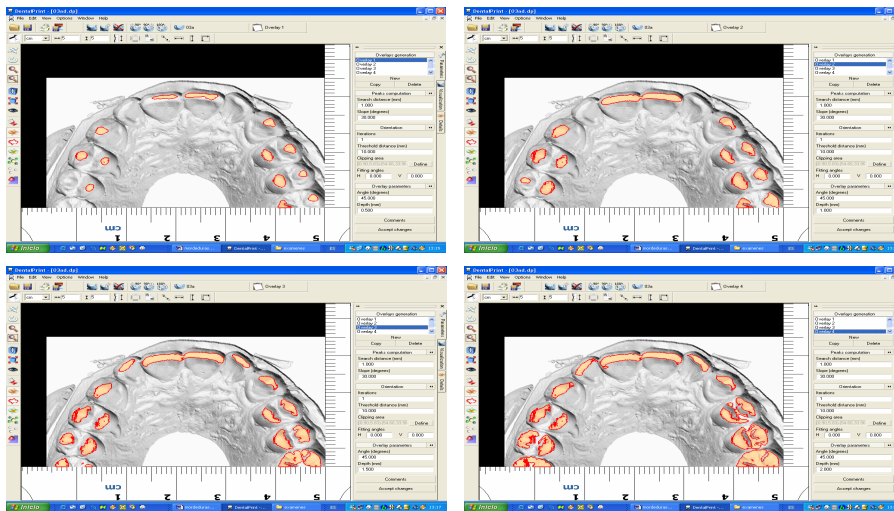


Figura 57. Ejemplos de diferentes huellas obtenidas a partir de un mismo modelo, dependiendo de la intensidad de la mordida. Las huellas dentales se obtienen cambiando la altura de corte (profundidad de la huella según la intensidad de la mordedura). Así tenemos el estudio n° 1 arriba a la derecha con una altura de corte de 0,5 mm, le sigue a su derecha una altura de corte de 1 mm, abajo a la izquierda 1,5mm y abajo a la derecha 2 mm. Como vemos conforme aumentamos la altura de corte, aumenta el número y tamaño de las superficies implicadas en la mordedura.

1. 5. Otros recursos informáticos del programa DentalPrint©

El programa DentalPrint© ofrece otros recursos de visualización y movimiento que mejora el estudio de los casos prácticos. Estos recursos están fundamentalmente localizados en la barra de herramientas de la izquierda de la pantalla. Nos permiten trasladar y girar los modelos dentales para tener una visualización completa de la imagen en 3D. Disponemos de otras herramientas

como el zoom, opciones de visualización como vistas predeterminadas, centrado de la imagen, así como diferentes opciones de visualización en pantalla como las cimas, las huellas, los planos, etc. Como recursos adicionales del programa tenemos un panel donde pueden ajustarse las propiedades de visualización (color) del propio modelo. En la ventana de selección de material aparece una lista de materiales predefinidos, y al final algunos que pueden ser definidos por el usuario. Además, el programa incluye de manera automática la escala nº 2 de la ABFO.

También DentalPrint© nos permite hacer mediciones sobre el modelo para calcular distancias en sentido horizontal y vertical. Una vez generadas las transparencias de las huellas dentales a partir de los modelos, estas pueden imprimirse en un papel de acetato. Las opciones de impresión son múltiples como incluir o no la escala nº 2 de la ABFO, permite imprimir los modelos superior e inferior en una misma imagen, etc. Si la comparación entre la huella dental del modelo y la fotografía de la mordedura la queremos hacer utilizando el programa Adobe® Photoshop®, DentalPrint© permite guardar la transparencia como imagen en formato bmp.

2. ANÁLISIS DE LA REPRODUCTIBILIDAD Y VALIDEZ DEL MÉTODO

No cabe duda que cualquier prueba pericial debe estar avalada por una base científica que nos permita defender su procedimiento y sus resultados en los casos judiciales. Es por esta razón que diseñamos una serie de ensayos experimentales cuyos resultados pasamos a describir a continuación.

2. 1. Reproducibilidad del programa DentalPrint©

Para comprobar la reproducibilidad del programa realizamos dos experimentos diferentes intra e interobservador.

- Estudio de la reproducibilidad intraobservador

Un mismo modelo dental fue escaneado ocho veces en el escáner de tres dimensiones, con las mismas condiciones de escaneado y un mismo observador generó ocho transparencias de huellas dentales (una por imagen escaneada del mismo modelo). En cada una de las transparencias se midieron siete distancias: longitud entre el extremo distal del 13 y del 23 y las anchuras mesio-distales de la piezas dentarias 13, 12, 11, 21, 22 y 23. Los datos fueron exportados a una tabla Excel y se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y su intervalo de confianza al 95% (IC) con el programa SPSS versión 12.0. Los resultados fueron excelentes obteniéndose un $CCI = 0,9985$ con un intervalo de confianza (IC) de 0,9959-0,997 al 95%, para todas las medidas tomadas por el mismo examinador.

- Estudio de la reproducibilidad interobservadores

El mismo experimento fue repetido por cinco operadores diferentes. Las medidas de las siete distancias para cada uno de los observadores pueden verse en la Tabla 4. Los resultados obtenidos en dicho estudio permitieron calcular el $CCI = 0,9999$ con un $IC = 0,999-1,000$ al 95% para los diferentes examinadores entre sí. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medidas para los diferentes observadores. Estos resultados reflejan una excelente reproducibilidad interobservadores del programa DentalPrint©.

Tabla 4. Resultados de las medidas realizadas en las transparencias de las huellas dentales llevadas a cabo por 5 observadores diferentes (reproductibilidad interobservador).

Distancia (cm)	Observadores				
	1	2	3	4	5
Canino (13) -	3,380	3,400	3,414	3,415	3,406
Canino (23)*					
Diente 13*	0,512	0,515	0,531	0,528	0,531
Diente 12*	0,575	0,576	0,573	0,567	0,575
Diente 11*	0,728	0,733	0,731	0,731	0,730
Diente 21*	0,769	0,761	0,761	0,764	0,766
Diente 22*	0,529	0,533	0,528	0,521	0,517
Diente 23*	0,282	0,284	0,292	0,297	0,311

* Los dientes se numeran de acuerdo a la nomenclatura de la Federación Dental Internacional

2. 2. Modelo experimental: mordeduras simuladas *versus* casos reales

Una de las cuestiones que nos planteamos cuando afrontamos el estudio de la validez del método en el análisis de las huellas por mordeduras es el tipo de material sobre el que debíamos trabajar. Existen dos opciones claramente diferentes y aceptadas éticamente: mordeduras simuladas en piel de animal muerto o casos forenses reales. Ambos materiales experimentales presentan ventajas e inconvenientes y tienen su utilidad para propósitos diferentes. Los casos forenses reales tienen la ventaja de que la autenticidad está asegurada, ya que el investigador trabaja con el mismo material que el forense, sin embargo,

presentan una debilidad imposible de eludir cuando el objetivo es el estudio de la eficacia de un método de análisis: la certeza en la identificación de quién produjo la mordedura. Ésta está basada o en la resolución judicial o, en la opinión del experto que opina sobre el caso. En ambas situaciones no podemos asegurar que no haya existido un error por lo que la referencia de certeza (término conocido como *gold standard*) con la que comparamos nuestras conclusiones, puede no ser la correcta. Por tanto, tal y como ha sido reconocido por diversos autores (Whittaker, Bricley y Evans, 1998; Arheart y Pretty, 2001), para estudios de validez de un método en el análisis de las huellas por mordeduras, el empleo de casos reales supone una potencial debilidad en la obtención de los resultados. Es por esta razón por la que decidimos utilizar en nuestro ensayo experimental mordeduras simuladas en piel de un cerdo cadáver, que aunque presenta las desventajas de que la piel no es humana y no podrán ser visibles los signos vitales de lesiones producidas antemortem, es un modelo experimental que no presenta ninguna duda sobre la identidad del actor de la mordedura.

2. 3. Análisis de la validez del método usando el programa DentalPrint©

Para determinar la validez del método se usó el análisis de las curvas ROC (*Receiver-Operating Characteristic*). Las curvas ROC combinan los conceptos de sensibilidad y especificidad en una única medida que viene definida por el área existente bajo la curva (área bajo la curva: AUC) que se considera un fiel reflejo de la precisión del método. Es decir, mide la capacidad del examinador para reconocer correctamente la dentadura que produjo la mordedura. El rango de área bajo la curva ROC va de 0 a 1, así un área de 0,5 indica que los examinadores están acertando en un 50 % de los casos. Áreas entre 0,5 y 1

indicarían una buena precisión en la identificación, y un área de 1 indicaría una precisión perfecta.

La **sensibilidad** también llamada FVP (fracción de verdaderos positivos) es definida como el porcentaje de examinadores que identifican correctamente la dentición que hizo la mordedura. La **especificidad** es el porcentaje de examinadores que identifican correctamente la dentición que no hizo la mordedura. En el análisis de las curvas ROC, la FFP (fracción de falsos positivos) es el número de identificaciones que incorrectamente fueron diagnosticados como actores de la mordedura (1-especificidad).

Cada respuesta que dan los observadores respecto a si una dentadura particular pudo producir una mordedura (“no mordedor”, “probable” “posible” “mordedor”) puede considerarse como un punto de corte en la curva ROC, produciendo unos datos pareados de FVP y FFP. Estos datos representados sobre el eje y (FVP) y sobre el eje x (FFP) formarían la curva ROC.

Para determinar la validez del método usando el programa DentalPrint© un observador dentista experto en mordeduras realizó 128 comparaciones de las transparencias de las huellas dentales con las fotografías de las mordeduras. Los detalles de cómo se realizaron las comparaciones y el procedimiento que se empleó están descritos en el capítulo de Material y Métodos de esta tesis doctoral.

En el proceso de comparación se utilizó el sistema de puntuación que propugna la Comisión Americana de Odontología Forense (American Board of Forensic Odontology, ABFO, 1995) y que clasifica las conclusiones diagnósticas

en cuatro categorías: 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor y 3= mordedor (identificación positiva).

Los resultados obtenidos de las 128 comparaciones realizadas fueron analizados con las curvas ROC. El área bajo la curva ROC obtenida para el experto fue de 0,764 con un error estándar de 0,057 y un IC de 0,652 a 0,876 al 95% (Figura 58). El área bajo la curva ROC es un parámetro objetivo de la precisión del método y se considera muy superior a los valores aislados de sensibilidad y especificidad. Swets (1988) clasificó los métodos diagnóstico de acuerdo al valor del área bajo la curva ROC como: “de alta precisión” para valores superiores a 0.9, “de utilidad para determinado propósitos” para valores entre 0.7 y 0.9 y de “precisión pobre” entre 0.5 y 0.7. Los resultados obtenidos en nuestro ensayo experimental, por tanto, nos permiten concluir que el análisis de las huellas por mordeduras con el programa DentalPrint© es un método forense preciso y que permite al examinador identificar correctamente a la dentadura que produjo la mordedura.

Estos resultados pueden considerarse similares a los publicados en otros trabajos que utilizan la metodología de comparación con transparencias de huellas dentales generadas en Adobe® Photoshop® a partir de modelos escaneados en dos dimensiones. Diez diplomados de la ABFO con un alto nivel de experiencia y entrenamiento intervinieron en un estudio en el que había que comparar 10 casos de mordeduras simuladas sobre piel de cerdo con unas transparencias generadas en el programa Adobe® Photoshop® y determinar si existían o no coincidencias (Pretty y Sweet, 2001). El valor del área bajo la curva ROC obtenido en este estudio fue de 0,805 con un error estándar de 0,118 para observadores expertos. Estos valores obtenidos son similares a los obtenidos por nosotros con el programa DentalPrint©, si bien el valor del área bajo la curva ROC

es ligeramente superior hay que considerar que el error es más amplio y que la muestra es muy pequeña.

Otro estudio de comparación de mordeduras fue realizado con 32 diplomados de la ABFO y, por tanto, expertos en el análisis de mordeduras, los cuales tenían que analizar 4 casos de huellas por mordeduras con el programa Adobe® Photoshop® (Arheart y Pretty, 2001). El valor del área bajo la curva ROC fue 0,86 con un IC de 0,82-0,91 al 95%. Aunque obtuvieron un valor del área bajo la curva ROC ligeramente superior al nuestro hay que decir que no describen el error del método y que la muestra es verdaderamente pequeña. Otra de las debilidades de este trabajo de investigación es que no utilizan mordeduras simuladas sino de casos judiciales, por lo que siempre puede ser cuestionado el gold standard utilizado.

Otro estudio similar fue el realizado por Whittaker, Brickley y Evans (1988) en el que una serie de examinadores expertos con un alto nivel de entrenamiento tenían que analizar 50 fotografías de mordeduras y decidir si habían sido producidas por un adulto o un niño. Los resultados obtenidos fueron de un valor del área bajo la curva ROC de 0,693, con un error estándar de 0,02. Este estudio, aunque no puede ser realmente comparado con nuestros resultados, puesto que la finalidad no fue la identificación del actor de la mordedura, son similares a los que hemos obtenido.

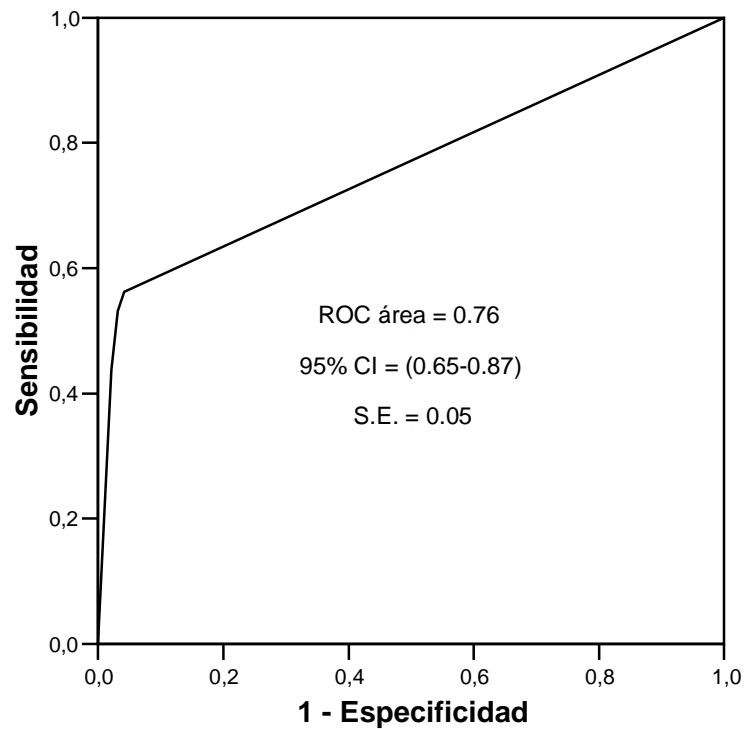


Figura 58. Representación gráfica de la curva ROC del observador experto utilizando el DentalPrint©.

Los valores aislados de la sensibilidad y especificidad para cada punto de corte obtenidos en nuestra investigación por el examinador experto usando el programa DentalPrint© se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de la sensibilidad y especificidad para cada punto de corte específico obtenido en el examinador experto usando el software DentalPrint®.

Puntos de corte*	IC †			IC †		
	Sensibilidad	Sensibilidad _{inf}	Sensibilidad _{sup}	Especificidad	Especificidad _{inf}	Especificidad _{sup}
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0-1,2,3	56,3	38,5	72,2	95,8	90,2	98,6
0,1- 2,3	53,1	34,7	70,5	96,9	91,7	99,9
0,1, 2- 3	43,8	27,8	61,5	97,9	93,2	99,6

* 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor

† IC = Intervalo de confianza al 95%

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de corte. En general, los valores de la sensibilidad para todos los puntos de corte son bajos lo que nos indicaría que habría que considerarlo con mucha cautela como un test de cribado (*screening*). Los mejores resultados se encontraron para el punto de corte que discrimina entre “no mordedor” y el resto de las conclusiones posibles, con una sensibilidad del 56,3% y un intervalo de confianza al 95% de 38,5 a 72,2. Sin embargo, las pruebas periciales forenses deben minimizar los falsos positivos a toda costa, para no culpar a una persona inocente. Por tanto, el principal interés de un test forense, debería ser la identificación correcta de la dentición que no hizo la mordedura (verdaderos negativos). En este trabajo, precisamente, se han obtenido valores muy altos de especificidad, el mejor resultado fue para el punto de corte que discrimina entre “mordedor” frente al resto de posibilidades (“no mordedor”, “probable” y “posible”) con un valor de la especificidad de un 97,9% y un intervalo de confianza al 95% de 93,2% a 99,6%.

2. 4. Análisis de la validez del método usando el programa Adobe® Photoshop®

Otro de los objetivos que nos planteamos en este trabajo de investigación es comparar los resultados entre el programa que se estaba utilizando hasta la fecha para crear las transparencias de las huellas dentales, el Adobe® Photoshop®, frente a los resultados obtenidos con el programa DentalPrint©.

Para tal fin, el observador experto realizó el mismo ensayo experimental de las mordeduras simuladas pero utilizando el programa Adobe® Photoshop® para crear las transparencias. De igual manera, la descripción de cómo se realizaron las comparaciones y el procedimiento a seguir están descritos en el capítulo de Material y Métodos de esta tesis doctoral. Los resultados obtenidos de las 128 comparaciones fueron analizadas estadísticamente mediante las curvas ROC. El área obtenida bajo las curvas ROC (AUC) para el observador experto fue de 0,726 con un error de 0,059 y un intervalo de confianza de 0,610 a 0,841 al 95% (Tabla 9). Estos resultados son inferiores a los obtenidos por el mismo observador experto pero utilizando el programa DentalPrint© (AUC = 0,764; error estándar = 0,057; IC = 0,652-0,876 al 95%).

Los valores obtenidos de sensibilidad y especificidad para cada punto de corte se presentan en la Tabla 6. Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los valores de sensibilidad y especificidad entre los diferentes puntos de corte. El mejor resultado de la sensibilidad fue de un 53,1% (IC = 34,7-70,5) para el punto de corte que discrimina la respuesta de “no mordedor” frente al resto. Con respecto a la especificidad, el mejor resultado

fue el de un 99% (IC = 94,5-100) para el punto de corte que discrimina al “mordedor” frente al resto de conclusiones tomadas por el observador.

Todos los valores de sensibilidad y especificidad obtenidos para cada punto de corte son superiores para el observador experto cuando usa el programa DentalPrint©, excepto para el valor de la especificidad en el punto de corte que discrimina al “mordedor” del resto de las conclusiones posibles.

Tabla 6. Valores de la sensibilidad y especificidad para cada punto de corte específico obtenido por el examinador experto usando el programa Adobe® Photoshop®.

Puntos de Corte*	Sensibilidad (%)	IC †		Especificidad (%)	IC †	
		Sensibilidad _{inf} (%)	Sensibilidad _{sup} (%)		Especificidad _{inf} (%)	Especificidad _{sup} (%)
0 – 1, 2, 3	53,1	34,7	70,5	89,6	82,3	94,9
0, 1 – 2, 3	43,8	27,8	61,5	94,8	88,5	97,9
0, 1, 2 – 3	21,9	9,5	38,5	99	94,5	100

* 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor

† IC = Intervalo de confianza al 95%

Cuando analizamos la precisión y validez de los dos métodos, DentalPrint© y Adobe® Photoshop® para el estudio de las huellas por mordeduras tenemos que tener en cuenta que las tomas de decisiones finales no sólo dependen de los propios métodos ya que estos se encargan sólo de la generación de las transparencias de las huellas dentales a partir de los modelos de los sospechosos. El proceso de comparación entre las huellas dentales y la fotografía de la mordedura también afecta en la decisión final, es por esto que, las futuras

investigaciones deben estar centradas en mejorar la objetividad de esta fase del procedimiento en el análisis.

2. 5. Análisis de la influencia de la experiencia del observador

Para valorar si la experiencia del experto influía en los resultados obtenidos, dos observadores realizaron el proceso de comparación: uno de ellos un dentista general entrenado en el análisis de mordeduras (observador experto) y el otro una dentista general con interés en odontología forense pero sin experiencia en el análisis de mordeduras (observador no experto). Los detalles sobre cómo se realizaron las comparaciones y el procedimiento a seguir están descritos en el capítulo de Material y Métodos de esta tesis doctoral.

Los dos observadores, experto y no experto, realizaron las 128 comparaciones primero usando el programa DentalPrint© y, transcurrido un tiempo de 3 meses para evitar cualquier influencia en la toma de las conclusiones, con el programa Adobe® Photoshop®. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente con las curvas ROC.

El resultado del área obtenida bajo las curvas ROC para el observador no experto usando el programa DentalPrint© fue de 0,642 con un error de 0,062 y un intervalo de confianza de 0,521 a 0,763 al 95% (Tabla 9). Los valores aislados de sensibilidad y especificidad para cada uno de los puntos de corte se presentan en la Tabla 7. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para estos valores entre los diferentes puntos de corte. Los mejores resultados obtenidos de la sensibilidad fueron de un 34,4% (IC = 19,6- 52,8) para el punto de corte que discrimina entre el “no mordedor” frente al resto de las conclusiones (Tabla 7). El mejor valor encontrado para la especificidad fue de un 99% con un

IC = 94,5% a 100% al 95% para el punto de corte que discrimina al “mordedor”, frente al resto de conclusiones tomadas por el observador.

A pesar de las discrepancias en el diseño y objetivos entre nuestro trabajo y el realizado por Whitakker, Brickley y Evans (1988), los resultados obtenidos para los observadores no expertos son similares ya que consiguen un área bajo la curva ROC de 0,618 con un error estándar de 0,0262. De igual manera, Pretty y Sweet (2001) incluyeron observadores no expertos en el trabajo descrito con anterioridad. Los resultados obtenidos fueron superiores a los nuestros con un AUC de 0,801 y un error estándar de 0,08, aunque la muestra sobre la que trabajaron fue muy pequeña (10 casos de mordeduras en total).

Tabla 7. Valores de la sensibilidad y especificidad para cada punto de corte específico obtenido por el examinador no experto usando el programa Dental Print©.

Puntos de corte*	Sensibilidad (%)	IC †			IC †	
		Sensibilidad _{inf} (%)	Sensibilidad _{sup} (%)	Especificidad (%)	Especificidad _{inf} (%)	Especificidad _{sup} (%)
0 – 1,2, 3	34,4	19,6	52,8	93,8	87,4	97,2
0,1 – 2,3	9,4	2,6	23,7	98,96	94,9	100
0,1,2– 3	9,4	2,6	23,7	99	94,5	100

* 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor

† IC = Intervalo de confianza al 95%

El valor del área bajo la curva ROC para el observador no experto tras la ejecución de las 128 comparaciones que realizó utilizando el programa Adobe®

Photoshop® fue de 0,598 con un error de 0,062 y un intervalo de confianza de 0,477 a 0,720 al 95% (Tabla 9). Los valores de sensibilidad y especificidad para los diferentes puntos de corte se muestran en la Tabla 8. El mejor resultado de sensibilidad fue de un 28,13% (IC = 15,2-46,2 al 95%) para el punto de corte que discrimina el “no mordedor” frente al resto de las conclusiones. Con respecto a la especificidad, el mejor valor fue de un 100% (IC = 96,3-100 al 95%) para el punto de corte que discrimina al “mordedor” frente al resto de conclusiones tomadas por el observador. Al igual que ocurría con el observador experto, el valor del área bajo la curva ROC obtenida por el observador no experto es superior cuando utiliza el programa DentalPrint© en comparación al Adobe® Photoshop®.

Tabla 8. Valores de la sensibilidad y especificidad para cada punto de corte específico obtenido en el examinador no experto usando el programa Adobe® Photoshop®.

Puntos de corte*	Sensibilidad (%)	IC †		Especificidad (%)	IC †	
		Sensibilidad _{inf} (%)	Sensibilidad _{sup} (%)		Especificidad _{inf} (%)	Especificidad _{sup} (%)
0 –1,2, 3	28,13	15,2	46,2	90,6	83,3	95,2
0,1 – 2,3	9,4	2,6	23,7	100	96,3	100
0,1,2 – 3	6,3	1,1	19,6	100	96,3	100

* 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor

† IC = Intervalo de confianza al 95%

Los valores de las áreas bajo las curvas ROC, con su error estándar y su intervalo de confianza al 95% para el observador experto y no experto utilizando el programa DentalPrint© y Adobe® Photoshop® se presentan en la Tabla 9. Los valores del área bajo la curva (AUC), que miden la precisión del

método, son más altos para el observador experto independientemente del método que utilice para generar las transparencias de las huellas dentales para la comparación.

Tabla 9. Resultado del análisis de las curvas ROC, para ambos examinadores (experto y no experto) de acuerdo a la técnica usada para producir las transparencias de las huellas dentales.

Examinadores	AUC*	Error estándar	IC ‡	
Experto (3D*)	0,764	0,057	0,652	0,876
No experto (3D*)	0,642	0,062	0,521	0,763
Experto (2D*)	0,726	0,059	0,610	0,841
No experto (2D*)	0,598	0,062	0,477	0,720

* Área bajo las curvas ROC

‡ Intervalo de confianza al 95%

*Comparaciones con transparencias generadas a partir del programa DentalPrint©

^Comparaciones con transparencias generadas a partir del programa Adobe® Photoshop®

Se han comparado las diferentes áreas de las curvas ROC entre sí, usando el test de la Chi-cuadrado. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el examinador experto y el no experto usando el DentalPrint© ($\chi^2_{\text{exp}} = 4,09$; 1d.f; $p < 0,05$) y para el Adobe® Photoshop® ($\chi^2_{\text{exp}} = 4,81$; 1d.f; $p = 0,05$).

Estas diferencias estadísticamente significativas encontradas entre los valores de las áreas de la curva ROC entre el examinador experto y no experto cuando se analizan ambos métodos nos indicaría que la experiencia y formación del examinador influye en la precisión de los resultados finales obtenidos, siendo estos mejores cuanto mayor es el adiestramiento del observador. Es decir, el

examinador experto se equivoca menos que el no experto independientemente del método que utilice para la generación de las transparencias de las huellas dentales. En apoyo a esta aseveración habría que tener en cuenta que el proceso de comparación de la fotografía de la mordedura con la transparencia de la huella dental, independientemente del método con la que la hayamos generado, sigue siendo, hasta la fecha, un procedimiento muy subjetivo en la que la experiencia del examinador puede jugar un papel decisivo.

Estos resultados están en concordancia con los de Whitakker, Brickley y Evans (1988), sin embargo, Pretty y Sweet (2001) no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los examinadores con diferente nivel de formación.

2. 6. Análisis de la concordancia entre observadores

Otro de los objetivos que nos planteamos en este trabajo fue analizar el grado de concordancia en las decisiones diagnósticas tomadas por los examinadores, independientemente de si erraban o no. En las Tablas 10 y 11 presentamos las conclusiones a las que llegaron cada uno de los observadores utilizando el programa DentalPrint© y el Adobe® Photoshop®, respectivamente. Además, se muestra si existió concordancia en la conclusión entre ambos observadores y la respuesta acertada (*gold standard*) en cada caso.

Tabla 10. Resultados obtenidos en el proceso de comparación de los 128 casos por ambos observadores, utilizando las transparencias de huellas dentales obtenidas a partir del programa DentalPrint®.

Comparación	Observador 1*	Observador 2*	Concordancia [†]	Real [‡]
1	0	0	SI	0
2	0	0	SI	3
3	0	0	SI	0
4	0	0	SI	0
5	0	0	SI	3
6	0	0	SI	0
7	0	0	SI	3
8	0	1	NO	3
9	0	0	SI	0
10	0	0	SI	3
11	0	0	SI	0
12	0	0	SI	0
13	0	0	SI	0
14	0	0	SI	0
15	3	3	SI	3
16	0	0	SI	0
17	0	0	SI	0
18	0	0	SI	0
19	3	0	NO	0
20	0	0	SI	0
21	3	3	SI	3
22	0	0	SI	0
23	0	0	SI	0

24	0	0	SI	0
25	0	0	SI	0
26	0	0	SI	0
27	2	0	NO	0
28	0	0	SI	0
29	0	1	NO	0
30	0	0	SI	0
31	0	0	SI	0
32	0	0	SI	0
33	0	0	SI	0
34	3	0	NO	0
35	0	1	NO	3
36	0	1	NO	0
37	0	0	SI	0
38	0	0	SI	0
39	0	0	SI	0
40	0	0	SI	0
41	0	0	SI	3
42	0	0	SI	0
43	0	0	SI	0
44	0	0	SI	0
45	0	0	SI	0
46	0	0	SI	0
47	0	0	SI	0
48	0	0	SI	0
49	0	0	SI	3
50	0	0	SI	0

51	0	0	SI	3
52	3	0	NO	3
53	0	0	SI	0
54	3	0	NO	0
55	0	0	SI	0
56	0	1	NO	3
57	0	0	SI	0
58	0	0	SI	3
59	0	0	SI	0
60	0	0	SI	3
61	2	1	NO	0
62	0	0	SI	0
63	0	0	SI	0
64	0	0	SI	0
65	0	0	SI	3
66	0	0	SI	0
67	0	0	SI	0
68	0	1	NO	3
69	1	0	NO	0
70	0	0	SI	0
71	3	0	NO	0
72	2	0	NO	0
73	3	1	NO	0
74	0	0	SI	0
75	0	0	SI	3
76	0	0	SI	0
77	3	1	NO	3

78	0	0	SI	0
79	0	0	SI	0
80	2	0	NO	3
81	0	1	NO	0
82	0	0	SI	0
83	0	0	SI	0
84	0	0	SI	0
85	0	0	SI	0
86	0	0	SI	0
87	0	0	SI	0
88	0	1	NO	0
89	0	0	SI	0
90	0	0	SI	0
91	0	0	SI	3
92	1	0	NO	0
93	0	0	SI	3
94	3	0	NO	3
95	0	0	SI	3
96	0	0	SI	3
97	0	0	SI	0
98	0	0	SI	0
99	0	0	SI	0
100	3	0	NO	0
101	0	0	SI	0
102	0	0	SI	3
103	0	0	SI	0
104	0	0	SI	0

105	0	0	SI	0
106	0	0	SI	0
107	0	0	SI	0
108	3	3	SI	3
109	0	0	SI	0
110	0	3	NO	3
111	0	1	NO	0
112	0	0	SI	0
113	0	0	SI	0
114	3	1	NO	3
115	0	0	SI	0
116	0	0	SI	0
117	0	0	SI	0
118	0	0	SI	3
119	3	0	NO	3
120	3	0	NO	0
121	3	0	NO	3
122	0	0	SI	0
123	0	0	SI	0
124	0	0	SI	0
125	0	0	SI	0
126	0	0	SI	0
127	0	0	SI	0
128	0	0	SI	0

* Observador 1: experto; Observador 2: no experto. Las conclusiones diagnósticas son: 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor.

† Concordancia: coincidencia en las respuestas entre ambos observadores, independientemente de su veracidad.

‡ Real (*gold standard*): indica si la mordedura había sido producida o no por esa dentadura (0= no mordedor; 3= mordedor).

Tabla 11. Resultados obtenidos en el proceso de comparación de los 128 casos por ambos observadores, utilizando las transparencias de huellas dentales obtenidas a partir del programa Adobe® Photoshop®.

Comparación	Observador 1*	Observador 2*	Concordancia†	Real‡
1	0	0	SI	0
2	0	0	SI	0
3	0	0	SI	0
4	0	0	SI	0
5	0	0	SI	0
6	0	0	SI	0
7	0	0	SI	0
8	0	0	SI	3
9	0	0	SI	0
10	0	0	SI	3
11	0	0	SI	3
12	0	1	NO	0
13	0	0	SI	0
14	0	1	NO	0
15	2	2	SI	3
16	0	0	SI	0
17	1	1	SI	0
18	1	1	SI	0
19	2	0	NO	3
20	1	0	NO	0
21	2	0	NO	3

22	0	1	NO	0
23	0	0	SI	0
24	0	0	SI	0
25	0	0	SI	0
26	0	0	SI	0
27	2	0	NO	3
28	0	0	SI	0
29	0	0	SI	0
30	0	0	SI	0
31	0	0	SI	0
32	0	0	SI	0
33	0	0	SI	3
34	1	0	NO	3
35	0	0	SI	3
36	0	0	SI	3
37	2	0	NO	0
38	0	1	NO	3
39	2	0	NO	0
40	0	0	SI	0
41	1	1	SI	0
42	0	0	SI	0
43	0	0	SI	0
44	0	0	SI	0
45	0	0	SI	0
46	0	0	SI	0
47	0	0	SI	0
48	2	0	NO	0

49	0	1	NO	3
50	0	0	SI	0
51	0	0	SI	0
52	2	1	NO	3
53	0	0	SI	0
54	3	0	NO	3
55	0	0	SI	0
56	0	0	SI	0
57	0	0	SI	0
58	0	0	SI	0
59	0	0	SI	0
60	0	0	SI	0
61	2	1	NO	3
62	0	0	SI	0
63	0	0	SI	0
64	0	0	SI	3
65	0	0	SI	0
66	0	0	SI	0
67	0	0	SI	0
68	0	1	NO	0
69	3	0	NO	3
70	1	0	NO	0
71	2	0	NO	3
72	3	1	NO	0
73	3	1	NO	3
74	0	0	SI	0
75	0	0	SI	0

76	0	0	SI	0
77	1	0	NO	3
78	0	0	SI	3
79	0	0	SI	0
80	3	0	NO	3
81	0	0	SI	0
82	0	0	SI	0
83	0	0	SI	0
84	0	0	SI	0
85	0	0	SI	0
86	0	0	SI	0
87	0	0	SI	0
88	0	0	SI	3
89	0	0	SI	0
90	0	0	SI	0
91	0	0	SI	0
92	2	0	NO	0
93	0	0	SI	0
94	0	0	SI	3
95	0	0	SI	0
96	0	0	SI	0
97	0	0	SI	0
98	0	0	SI	0
99	0	0	SI	0
100	0	0	SI	0
101	0	0	SI	0
102	0	0	SI	0

103	0	0	SI	0
104	0	0	SI	0
105	0	0	SI	0
106	0	0	SI	0
107	0	0	SI	0
108	3	3	SI	3
109	0	0	SI	0
110	0	0	SI	0
111	0	0	SI	0
112	0	0	SI	0
113	0	1	NO	0
114	3	3	SI	3
115	0	0	SI	0
116	0	0	SI	0
117	0	0	SI	0
118	0	0	SI	0
119	3	0	NO	3
120	0	0	SI	0
121	1	0	NO	3
122	0	1	NO	3
123	0	0	SI	0
124	0	0	SI	3
125	0	0	SI	0
126	0	0	SI	0
127	0	0	SI	3
128	0	0	SI	0

* Observador 1: experto; Observador 2: no experto. Las conclusiones diagnósticas son: 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor.

† Concordancia: coincidencia en las respuestas entre ambos observadores, independientemente de su veracidad.

‡ Real (*gold standard*): indica si la mordedura había sido producida o no por esa dentadura (0= no mordedor; 3= mordedor).

A partir de estos resultados se calcularon los índices Kappa para determinar estadísticamente el grado de concordancia entre los examinadores, experto y no experto, para los diferentes puntos de corte usando ambos métodos en la producción de las transparencias de la huella dental (Tabla 12).

En general, los valores de kappa obtenidos para ambos observadores y con los dos métodos de generación de las huellas dentales son altos. Los valores más altos de índice kappa fueron para el punto de corte que discrimina entre el “mordedor” y el resto de las conclusiones en ambos métodos; con el programa DentalPrint© se obtuvo un índice kappa de 0,891 y, para el programa Adobe® Photoshop®, se obtuvo una K= 0,967. Estos resultados reflejan un alto grado de concordancia entre las conclusiones tomadas por ambos examinadores ya que pueden ser clasificados, de acuerdo a las seis categorías propugnadas por Landis y Koch (1977), entre las dos categorías más altas, definidas como un grado de concordancia “fuerte” o “perfecto”.

Tabla 12. Concordancia entre los examinadores expertos y no expertos para los diferentes puntos de corte usando ambos métodos.

Puntos de corte*	Kappa	Kappa _{inf}	Kappa _{sup}
3D [†]			
0 — 1, 2, 3	0,805	0,731	0,867
0, 1 — 2, 3	0,859	0,788	0,915
0, 1, 2 — 3	0,891	0,828	0,936
2D [‡]			
0 — 1, 2, 3	0,805	0,731	0,867
0, 1 — 2, 3	0,875	0,809	0,926
0, 1, 2 — 3	0,967	0,926	0,989

* 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor

[†] Comparación de transparencias generadas a partir del programa DentalPrint©

[‡] Comparación de transparencias generadas a partir del programa Adobe® Photoshop®

Consideraciones finales:

Con la finalidad de aportar una nueva herramienta para el proceso de identificación de las huellas de mordeduras humanas, se ha diseñado y elaborado un nuevo programa, DentalPrint®, que permite la generación automática de las huellas dentales a partir de las imágenes escaneadas en tres dimensiones de los modelos dentales. El programa, tal y como ha quedado expuesto en esta memoria de investigación, ofrece múltiples ventajas sobre los otros programas generadores de imágenes de las huellas dentales existentes hasta la actualidad. Quizá podamos destacar tres mejoras a los sistemas existentes: 1. La objetividad de la generación de la huella por ser un sistema totalmente automatizado que prácticamente no necesita de la intervención del operador; 2. La posibilidad de generar diversas transparencias a partir de un mismo modelo, tantas como se desee, con tan sólo elegir entre las distintas opciones del programa para reproducir huellas más o menos profundas o de diferente angulación; y 3. La huella generada puede ser impresa directamente en papel de acetato transparente (transparencia) o, si se desea, se puede incorporar como imagen a un programa de comparación de imágenes lo que permitiría la superposición automática con las huellas de la mordida dejadas sobre la piel de la víctima o en cualquier otro soporte.

Además, cuando se valora la reproductibilidad del programa, es decir, las diferencias que se encuentran entre varias medidas realizadas sobre un mismo caso por un mismo observador (reproductibilidad intraobservador), e incluso las diferencias entre varios observadores cuando estudian un mismo caso (reproductibilidad interobservador) los resultados fueron excelentes, tal y como se puede deducir de los valores de coeficientes de correlación intraclase que se han presentado en el apartado de Resultados de esta Tesis Doctoral.

Pero tras el diseño de un nueva herramienta y, como paso previo a su uso en casos reales forenses, nos planteamos como necesario estudiar la validez del método para que cuando se emplea, el observador pueda reconocer

adecuadamente la dentadura que produjo una determinada herida por mordedura. Los resultados sobre validez del método se han obtenido a partir de observaciones realizadas sobre heridas de mordeduras humanas realizadas sobre piel de cerdo. Los resultados expuestos en el apartado anterior ponen de manifiesto que DentalPrint© es un método preciso para la identificación o exclusión de la dentadura que realizó una determinada mordedura ya que los valores bajo la curva ROC obtenidos para el observador experto fueron moderadamente elevados 0,764 con un error estándar de 0,057 y un IC de 0,652 a 0,876 al 95%). Interesa destacar los resultados encontrados para la sensibilidad y especificidad del test y, en particular, los valores muy altos de especificidad (97,9%) por lo que podemos decir que el test permite identificar, y por tanto excluir, correctamente a la dentadura que no realizó la mordedura.

Los mismos estudios sobre la validez se desarrollaron empleando el programa Adobe® Photoshop® con valores de área bajo la curva algo inferiores a los encontrados para el programa DentalPrint©, si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos métodos.

Pero hay que tener en cuenta que cuando el odontólogo/a forense se encuentra ante un caso concreto de análisis y valoración de una herida por mordedura no sólo tiene valor el método empleado para la generación de la transparencia de la huella de mordida sino que para la toma de la decisión final es especialmente relevante el proceso de comparación de las huellas dentales y la fotografía de la mordedura para la toma de la decisión final y, este último aspecto, sigue aún sometido a una alta subjetividad del observador. En este sentido interesaba conocer si había diferencias entre los resultados obtenidos por el observador experto cuando se comparaban con el no experto. Tal y como ha quedado expuesto con anterioridad, se han encontrado diferencias significativas entre ambos examinadores en el sentido de que la experiencia y formación del examinador influye en la precisión de los resultados finales obtenidos, siendo éstos mejores cuanto mayor es el adiestramiento del observador.

No obstante, y pese a lo anteriormente mencionado, se ha estudiado el grado de concordancia entre los examinadores, experto y no experto, y nuestros

resultados expresan un alto grado de concordancia entre las conclusiones tomadas por ambos observadores cuando emplean en el proceso de comparación cualquiera de los dos métodos estudiados para la generación de las huellas por mordeduras.

V. CONCLUSIONES

Primera: Se ha diseñado, elaborado y desarrollado un nuevo programa informático, DentalPrint©, que permite la generación de transparencias de las huellas de mordeduras a partir de modelos dentales escaneados en tres dimensiones.

Segunda: El programa DentalPrint© mejora los métodos de generación de transparencias de las huellas dentales existentes hasta la actualidad por tratarse de un procedimiento completamente automatizado y, por tanto, en el que no interviene la subjetividad del operador.

Tercera: El programa ofrece, además, algunas ventajas sobre los procedimientos existentes ya que posibilita un mejor control de la distorsión producida por la propia dinámica de la mordida, al permitir generar diferentes huellas a partir de un mismo modelo dental, dependiendo de la intensidad y la angulación de la mordedura.

Cuarta: Los resultados obtenidos sobre la validez del método, en el ensayo experimental diseñado, permiten concluir que el programa DentalPrint© presenta una excelente reproductibilidad intra e interobservador, con coeficientes de correlación intraclase próximos a la unidad.

Quinta: Cuando se emplea el programa DentalPrint© para la generación de las huellas dentales, se obtienen valores elevados del área bajo la curva ROC, reflejando una alta precisión del método. Estos valores resultaron superiores a los encontrados cuando se utilizó el programa Adobe Photoshop, tanto si el observador es experto como si no.

Sexta: Se han encontrado diferencias significativas en la precisión en la resolución de los casos de mordeduras experimentales con mejores resultados para el observador experto con independencia del método empleado para la generación de las huellas dentales.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ◆ American Board of Forensic Odontology, Inc. Guidelines for bite mark analysis. *J Amer Dent Assoc* 1986; 112: 383-6.
- ◆ ABFO bite mark methodology guidelines. In: Bowers CM, Bell GL, editors. *Manual of forensic odontology*. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology, 1995; 334-7.
- ◆ Adams BJ. Establishing personal identification based on specific patterns of missing, filled, and unrestored teeth. *J Forensic Sci* 2003a; 48: 487-96.
- ◆ Adams BJ. The diversity of adult dental patterns in the United States and the implications for personal identification. *J Forensic Sci* 2003b; 48: 497-503.
- ◆ Arheart KL, Pretty IA. Results of the 4th ABFO Bitemark Workshop-1999. *Forensic Sci Int* 2001; 124: 104-11.
- ◆ Atkinson SA. A qualitative and quantitative survey of forensic odontologists in England and Wales, 1994. *Med Sci Law* 1998; 38: 34-41.
- ◆ Avon SL. Forensic odontology: the roles and responsibilities of the dentist. *J Can Dent Assoc* 2004; 70: 453-8.
- ◆ Bang G. Analysis of tooth marks in a homicide case. Observations by means of visual description, stereo-photography, scanning electron microscopy and stereometric graphic plotting. *Acta Odontol Scand* 1976; 34: 1-11.
- ◆ Barsley RE, West MH, Fair JA. Forensic photography. Ultraviolet imaging of wounds on skin. *Am J Forensic Med Pathol* 1990; 11: 300-8.
- ◆ Berbell C. *CSI. Casos reales españoles*. 5^a ed. Madrid: La esfera de los libros s.l., 2003: 274-89.
- ◆ Bernitz H, van Niekerk PJ. Bungled bite mark evidence collection: a proposed protocol for the prevention thereof. *SADJ* 2003; 58: 16-9.
- ◆ Bowers CM, Johansen RJ. Digital analysis of bite marks and human identification. *Dent Clin North Am* 2001; 45: 327-42.
- ◆ Bowers CM, Johansen RJ. Photographic evidence protocol: The use of digital methods to rectify angular distortion and create life size reproductions of bite mark evidence. *J Forensic Sciences* 2002; 47: 178-85.
- ◆ *Bundy v.State*, 445 So.2d 330 (Fla.1984), cert.denied 476 U.S. 1109 (1986). Citado por Stimson PG, Mertz CA. Bite mark techniques and terminology. En: Cameron J, Sims BG, eds. *Forensic Dentistry*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1974; 129-45 y Berbell C. *CSI. Casos reales españoles*. 5^a ed. Madrid: La esfera de los libros s.l., 2003: 274-89.

- ◆ Butcher SJ, Pugh PD. A study of marks made by bolt cutters. *J Forensic Sci Soc* 1975; 15: 115-26.
- ◆ Cameron J, Sims BG. Bite marks. En: Cameron J, Sims BG, eds. *Forensic Dentistry*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1974; 129-45.
- ◆ Ciapparelli L, Hughes P. Bite marks in tissue and inanimate objects: analysis and comparison. En: Derek H. Clark, eds. *Practical Forensic Odontology*. Oxford: Butterworth-Heinemann 1992: 149-77.
- ◆ Ciesco JN, Malone WRP, Sandrik JL, Mazur B. Comparison of Elastomeric Impression Materials. II. Polyether, Polysulfides, and Polyvinylsiloxane. *J Prosthet Dent* 1981; 45: 88-94.
- ◆ Clift A, Lamont CM. Saliva in forensic odontology. *J Forensic Sci Soc* 1974; 14: 241-5.
- ◆ Cottone JA, Standish SM. Outline of forensic dentistry. Yearbook Medical Publishers, Chicago, 1982; 125.
- ◆ Dailey JC. A practical technique for the fabrication of transparent bite mark overlays. *J Forensic Sci* 1991; 36: 565-70.
- ◆ Dailey JC, Shernoff AF, Gelles JH. An improved Technique for Bite mark impressions. *J Prosthet Dent* 1989; 61: 153-5.
- ◆ David TJ. Adjunctive use of scanning electron microscopy in bite mark analysis: a three-dimensional study. *J Forensic Sci* 1986; 31: 1126-34.
- ◆ David TJ, Sobel MN. Recapturing a five-month-old bite mark by means of reflective ultraviolet photography. *J Forensic Sci* 1994; 39: 1560-7.
- ◆ Davis, JE. An Introduction to Tool Marks, Firearms, and the Striagraph, Charles C Thomas, Springfield, 1958. Citado por Sweet DJ. Human bite marks-examination, recovery and analysis. En: Bowers CM, Bell GL, eds. *Manual of forensic odontology*. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology, 1995.
- ◆ DeForest PR, Gaensslen, RE, Lee, HC. *Forensic science-an introduction to criminalistics*, McGraw-Hill, Nueva York, 1983.
- ◆ DeVore DT. Bite marks for identification? A preliminary report. *Med Sci Law* 1971; 11: 144-5.
- ◆ Dorion RBJ. Bite mark evidence. *J Can Dent Assoc* 1982; 48: 795-8.
- ◆ Dorion RBJ. Preservation and fixation of skin for ulterior scientific evaluation and courtroom presentation. *J Can Dent Assoc* 1984; 50: 129-30.

- ◆ Dorion RBJ. Transillumination in bite mark evidence. *J Forensic Sci* 1987; 32: 690-7.
- ◆ Earley MJ, Bardsley AF. Human bites: a review. *Br J Plast Surg* 1984; 37: 458-62.
- ◆ Ebert JI. Discussion of "The Bite Mark Standard Reference Scale--ABFO No. 2". *J Forensic Sci* 1988; 33: 301-4.
- ◆ Ebert JI, Campbell HR. Discussion of "Photographic techniques of concern in metric bite mark analysis". *J Forensic Sci* 1985; 30: 599-602.
- ◆ Epstein JB, Scully C. Mammalian bites: risk and management. *Am J Dent* 1992; 5: 167-71.
- ◆ Freeman AJ, Senn DR, Arendt DM. Seven hundred seventy eight bite marks: analysis by anatomic location, victim and biter demographics, type of crime, and legal disposition. *J Forensic Sci* 2005; 50: 1436-43.
- ◆ Furness J. A new method for the identification of teeth marks in cases of assault and homicide. *Br Dent J* 1968; 124: 261-7.
- ◆ Furness J. A general review of bite-mark evidence. *Am J Forensic Med Pathol* 1981; 2: 49-52.
- ◆ Gaensslen RE. Sourcebook in forensic serology, immunology and biochemistry. Washington, DC: National Institute of Justice, 1983.
- ◆ Gill P, Jeffreys AJ, Werrett DJ. Forensic application of DNA 'fingerprints'. *Nature* 1985; 318: 577-9.
- ◆ Giusti A, Baird M, Pasquale S, Balazs I, Glassberg J. Application of deoxyribonucleic acid (DNA) polymorphisms to the analysis of DNA recovered from sperm. *J Forensic Sci* 1986; 31: 409-17.
- ◆ Gold MH, Roenigk HH, Smith ES, Pierce LJ. Evaluation and treatment of patients with human bite marks. *Am J Forensic Med Pathol* 1989a; 10: 140-3.
- ◆ Gold MH, Roenigk HH, Smith ES, Pierce LJ. Human bite marks. Differential diagnosis. *Clin Pediatr* 1989b; 28: 329-31.
- ◆ Golden GS. Use of alternative light source illumination in bite mark photography. *J Forensic Sci* 1994; 39: 815-23.
- ◆ Golden GS. Forensic photography: an expanding technology. *J Calif Dent Assoc* 1996; 24: 50-6.
- ◆ Goldstein EJ, Richwald GA. Human and animal bite wounds. *J Pract Nurs* 1987; 37: 16-9.

- ◆ Grey TC. Defibrillator lesión suggesting bite mark. *Am J Forensic Med Pathol* 1989; 10: 144-5.
- ◆ Harvey W. Dental identification and forensic odontology. London, Henry Kimpton, 1976a; 91-2.
- ◆ Harvey W. Bites and bite marks. En: Harvey W, eds. *Dental Identification and Forensic Odontology*. London: Kimpton, 1976b; 108.
- ◆ Hochmeister MN, Budowle B, Borer UV, Eggmann U, Comey CT, Dirnhofer R. Typing of deoxyribonucleic acid (DNA) extracted from compact bone from human remains. *J Forensic Sci* 1991; 36: 1649-61.
- ◆ Hopkins B, Williams NJ, Webb MB, Debenham PG, Jeffreys AJ. The use of minisatellite variant repeat-polymerase chain reaction (MVR-PCR) to determine the source of saliva on a used postage stamp. *J Forensic Sci* 1994; 39: 526-31.
- ◆ Hyzer WG, Krauss TC. The Bite Mark Standard Reference Scale--ABFO No. 2. *J Forensic Sci* 1988; 33: 498-506.
- ◆ Irons F, Steuterman MC, Brinkhous W. Two bite marks on assailant. Primary link to homicide conviction. *Am J Forensic Med Pathol* 1983; 4: 177-80.
- ◆ Jaffe AC. Animal bites. *Pediatric Clin North Am* 1983; 30: 405-13.
- ◆ Jakobsen JR, Keiser-Nielsen S. Bite mark lesions in human skin. *Forensic Sci Int* 1981; 18: 41-55.
- ◆ James H, Cirillo GN. Bite mark or bottle top?. *J Forensic Sci* 2004; 49: 119-21.
- ◆ Johansen RJ, Bowers CM. *Digital analysis of bite mark evidence*. 1ª ed. Santa Barbara, California: Forensic Imaging Services, 2000.
- ◆ Johnson LT, Cadle D. Bite mark evidence. Recognition, preservation, analysis and courtroom presentation. *N Y State Dent J* 1989; 55: 38-41.
- ◆ Kanter E, Baird M, Shaler R, Balazs I. Analysis of restriction fragment length polymorphisms in deoxyribonucleic acid(DNA) recovered from dried bloodstains. *J Forensic Sci* 1986; 31: 403-8.
- ◆ Karazulas CP. The presentation of bite mark evidence resulting in the acquittal of a man after serving seven years in prison for murder. *J Forensic Sci* 1984; 29: 355-8.
- ◆ Keiser-Nielsen S. *Person identification by means of the teeth*. John Wright & Sons. Bristol: England, 1980; 59-72.
- ◆ Kipps AE, Quarmby VE, Whitehead PH. The detection of mixtures of blood and other body secretions in stains. *J Forensic Sci Soc* 1978; 18: 189-91.

- ◆ Kizer KW. Epidemiologic and clinical aspects of animal bite injuries. *JACEP* 1979; 8: 134-41.
- ◆ Kouble RF, Craig GT. A comparison between direct and indirect methods available for human bite mark analysis. *J Forensic Sci* 2004; 49: 111-8.
- ◆ Krauss TC. Photographic techniques of concern in metric bite mark analysis. *J Forensic Sci* 1984; 29: 633-8.
- ◆ Krauss TC, Warlen SC. The forensic science use of reflective ultraviolet photography. *J Forensic Sci* 1985; 30: 262-8.
- ◆ Lacy AM, Fukui H, Bellman T, Jendresen MD. Time-Dependent Accuracy of Elastomer Impression Materials. II. Polyether, Polysulfides, and Polyvinylsiloxane. *J Prosthet Dent* 1981; 45: 329-33.
- ◆ Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33: 159-74.
- ◆ LeRoy H, Sweet DJ. Human Bite Marks. *Victim Evidence Recognition and Recovery*. RCMP Gazette 1993; 55: 4-7.
- ◆ Lightelm AJ, Coetzee WJ, van Niekerk PJ. The identification of bite marks using the reflex microscope. *J Forensic Odontostomatol* 1987; 5: 1-8.
- ◆ Ligthelm AJ, DeWet FA. Registration of bite marks: a preliminary report. *J Forensic Odontostomatol* 1983; 1: 19-26.
- ◆ Lowry TMcG. The surgical treatment of human bites. *Ann Surg* 1936; 104: 1103-6. Citado por Freeman AJ, Senn DR, Arendt DM. Seven hundred seventy eight bite marks: analysis by anatomic location, victim and biter demographics, type of crime, and legal disposition. *J Forensic Sci* 2005; 50: 1436-43.
- ◆ Luntz LL, Luntz P. A case in forensic odontology: a bite-mark in a multiple homicide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 36: 72-8.
- ◆ MacDonald DG. Bite mark recognition and interpretation. *J Forensic Sci Soc* 1974; 14: 229-33.
- ◆ MacFarlane TW, MacDonald DG, Sutherland DA. Statistical problems in dental identification. *J Forensic Sci Soc* 1974; 14: 247-52.
- ◆ Martín-de las Heras S, Valenzuela A, Ogayar C, Valverde AJ, Torres JC. Computer-based production of comparison overlays from 3D-scanned dental casts for bite mark analysis. *J Forensic Sci* 2005; 50: 127-33.
- ◆ McNamee AH, Sweet DJ. Adherence of forensic odontologists to the ABFO guidelines for victim evidence collection. *J Forensic Sci* 2003; 48: 382-5.

- ◆McNamee AH, Sweet DJ, Pretty IA. A comparative reliability analysis of computer-generated bitemark overlays. *J Forensic Sci* 2005; 50: 400-5.
- ◆Patel F. Artefact in forensic medicine: postmortem rodent activity. *J Forensic Sci* 1994; 39: 257-60.
- ◆Pierce LJ, Strickland DJ, Smith ES. The case of Ohio v. Robinson. An 1870 bite mark case. *Am J Forensic Med Pathol* 1990; 11: 171-7.
- ◆Pretty IA. A web-based survey of odontologist's opinions concerning bitemark analyses. *J Forensic Sci* 2003; 48: 1117-20.
- ◆Pretty IA, Hall RC. Forensic dentistry and human bite marks: issues for doctors. *Hosp Med* 2002; 63: 476-82.
- ◆Pretty IA, Sweet DJ. Anatomical location of bitemarks and associated findings in 101 cases from the United States. *J Forensic Sci* 2000; 45: 812-4.
- ◆Pretty IA, Sweet DJ. Digital bite mark overlays-an analysis of effectiveness. *J Forensic Sci* 2001; 46: 1385-91.
- ◆Pretty IA, Turnbull MD. Lack of dental uniqueness between two bite mark suspects. *J Forensic Sci* 2001; 46: 1487-91.
- ◆Rao VJ, Souviron RR. Dusting and lifting the bite print: a new technique. *J Forensic Sci* 1984; 29: 326-30.
- ◆Rawson RD, Bell A, Kinard BS, Kinard JG. Radiographic interpretation of contrast-media-enhanced bite marks. *J Forensic Sci* 1979; 24: 898-901.
- ◆Rawson RD, Koot A, Martin C, Jackson J, Novosel S, Richardson A, Bender T. Incidence of bite marks in a selected juvenile population: a preliminary report. *J Forensic Sci* 1984a; 29: 254-9.
- ◆Rawson RD, Ommen RK, Kinard G, Johnson J, Yfantis A. Statistical evidence for the individuality of the human dentition. *J Forensic Sci* 1984b; 29: 245-53.
- ◆Rawson RD, Vale GL, Herschaft EE, Sperber ND, Dowell S. Analysis of photographic distortion in bite marks: a report of the Guidelines Committee. *J Forens Sci* 1986a; 31: 1261-8.
- ◆Rawson RD, Vale GL, Sperber ND, Herschaft EE, Yfantis A. Reliability of the scoring system of the American Board of Forensic Odontology for human bite marks. *J Forens Sci* 1986b; 31: 1235-1260.
- ◆Robinson E, Wentzel J. Toneline bite mark photography. *J Forensic Sci* 1992; 37: 195-207.

- ◆ Rothwell BR, Thien AV. Analysis of distortion in preserved bite mark skin. *J Forensic Sci* 2001; 46: 573-6.
- ◆ Rushton C, Kipps A, Quarmby V, Whitehead PH. The distribution and significance of amylase-containing stains on clothing. *J Forensic Sci Soc* 1979; 19: 53-8.
- ◆ Rutter EA y Whitehead PH. The fractionation of ABH blood group substances in saliva. *Journal of the forensic science society* 1977; 16: 241-46.
- ◆ Sakoda S, Fujita MQ, Zhu BL, Oritani S, Ishida K, Taniguchi M, Maeda H. Wounding dynamics in distorted bitemarks: two case reports. *J Forensic Odontostomatol* 2000; 18: 46-51.
- ◆ Schweich P, Fleisher G. Human bites in children. *Pediatr Emerg Care* 1985; 1: 51-3.
- ◆ Sheasby DR, MacDonald DG. A forensic classification of distortion in human bite marks. *Forensic Sci Int* 2001; 122: 75-8.
- ◆ Sognaes RF, Rawson RD, Gratt BM, Nauyen NB. Computer comparison of bitemark patterns in identical twins. *J Am Dent Assoc* 1982; 105: 449-51.
- ◆ Solheim T, Leidal TI. Scanning electron microscopy in the investigation of bite marks in foodstuffs. *Forensic Sci* 1975; 6: 205-15.
- ◆ Sperber N. Identification of children and adults a through de federal and state dental identification systems: recognition of human bite marks. *Forensic Sci Int* 1986; 30: 187-93.
- ◆ Sperber ND. Chewing gum-an unusual clue in a recent homicide investigation. *Int J Orthod* 1981; 19: 7-8.
- ◆ Sperber ND. Bite marks, oral and facial injuries—harbingers of severe child abuse? *Pediatrician* 1989; 16: 207-11.
- ◆ Spiers RF. Prevention of human bite infections. *Surg Gynecol Obstet* 1941; 72: 619-21. Citado por Pretty IA, Sweet DJ. Anatomical location of bitemarks and associated findings in 101 cases from the United States. *J Forensic Sci* 2000; 45: 812-4.
- ◆ Ström F. Investigation of bite marks. *J Dental Res.(supplement)* 1963; 42: 312-16.
- ◆ Sweet DJ. Human bite marks-examination, recovery and analysis. En: Bowers CM, Bell GL, eds. *Manual of forensic odontology*. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology, 1995.

- ◆ Sweet DJ, Bastien RB. Use of an acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) plastic ring as a matrix in the recovery of bite mark evidence. *J Forensic Sci* 1991; 36: 1565-71.
- ◆ Sweet DJ, Bowers CM. Accuracy of bite mark overlays: a comparison of five common methods to produce exemplars from a suspect's dentition. *J Forensic Sci* 1998; 43: 362-7.
- ◆ Sweet DJ, Hildebrand D. Saliva from cheese bite yields DNA profile of burglar: a case report. *Int J Legal Med* 1999; 112: 201-3.
- ◆ Sweet DJ, LeRoy H.A. Human bitemarks victim evidence recognition and recovery, royal canadian mounted police gazette 1993; 55: 9-12.
- ◆ Sweet DJ, Lorente JA, Valenzuela A, Lorente M, Villanueva E. PCR-based DNA typing of saliva stains recovered from human skin. *J Forensic Sci* 1997; 42: 447-51.
- ◆ Sweet DJ, Parhar M, Wood RE. Computer-based production of bite mark comparison overlays. *J Forensic Sci* 1998; 43: 1050-5.
- ◆ Sweet DJ, Pretty IA. A look at forensic dentistry--Part 2: Teeth as weapons of violence--identification of bitemark perpetrators. *Br Dent J* 2001; 190: 415-8.
- ◆ Sweet DJ, Shutler GG. Analysis of salivary DNA evidence from a bite mark on a body submerged in water. *J Forensic Sci* 1999; 44: 1069-72.
- ◆ Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 1998; 240: 1285-93.
- ◆ Thali MJ, Braun M, Markwalder TH, Brueschweiler W, Zollinger U, Malik NJ, Yen K, Dirnhofer R. Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach. *Forensic Sci Int* 2003; 135: 115-21.
- ◆ Vale GL. Dentistry, bite marks and the investigation of crime. *J Calif Dent Assoc* 1996; 24: 29-34.
- ◆ Vale GL, Noguchi TT. Anatomical distribution of human bite marks in a series of 67 cases. *J Forensic Sci* 1983; 28: 61-9.
- ◆ Vale GL, Sognaes RF, Felando GN, Noguchi TT. Unusual three-dimensional bite mark evidence in a homicide case. *J Forensic Sci* 1976; 21: 642-52.
- ◆ Walsh PS, Varlaro J, y Reynolds R. A rapid chemiluminescent method for quantitation of human DNA. *Nucleic Acids Res* 1992; 20: 5061-65.
- ◆ Walter RA. An examination of the psychological aspects of bite marks. *Am J Forensic Med Pathol* 1984; 5: 25-9.

- ◆Walter RD. Anger biting. The hidden impulse. *Am J Forensic Med Pathol* 1985; 6: 219-21.

- ◆Webb DA, Pretty IA, Sweet DJ. Bitemarks: a psychological approach. *Proceedings of the American Academy of Forensic Sciences Reno, NV, February 2000*; 6: 147.

- ◆West MH, Frair J. The use of videotape to demonstrate the dynamics of bite marks. *J Forensic Sci* 1989; 34: 88-95.

- ◆West MH, Hayne S, Barsley RE. Uniqueness of wound patterns, american society of forensic odontology newsletter 1992; 4: 6-7.

- ◆Whitehead PH, Kipps AE. The significance of amylase in forensic investigations of body fluids. *Forensic Sci* 1975; 6: 137-44.

- ◆Whittaker DK. Some laboratory studies on the accuracy of bite mark comparison. *Int Dent J* 1975; 25: 166-71.

- ◆ Whittaker DK. Bite marks—the criminal’s calling cards. *Br Dent J* 2004; 196: 237.

- ◆Whittaker DK, Brickley MR, Evans L. A comparison of the ability of experts and non-experts to differentiate between adult and child human bite marks using receiver operating characteristic (ROC) analysis. *Forensic Sci Int* 1998; 92: 11-20.

- ◆Willott GM. An improved test for the detection of salivary amylase in stains. *J Forensic Sci Soc* 1974; 14: 341-4.

- ◆Wood RE, Miller PA, Blenkinsop BR. Image editing and computer assisted bitemark analysis: a case report. *J Forensic Odontostomatol* 1994; 12: 30-6.

- ◆Wright FD. Photography in bite mark and patterned injury documentation--Part 1. *J Forensic Sci* 1998; 43: 877-80.

- ◆Zhang Z, Monteiro-Riviere NA. Comparison of integrins in human skin, pigskin, and perfused skin: an in vitro skin toxicology model. *J Appl Toxicol* 1997; 17: 247-53.

VII. ANEXO 1

*DentalPrint*2.0

Carlos Javier Ogayar Anguita

Copyright © 2000-2003 Universidad de Granada

Dpto. Lenguajes y Sistemas Informáticos

Dpto. Medicina Legal y Toxicología



Universidad de
Granada

Manual de Usuario. Versión 2.0

Autor:
Anguita.

Carlos Javier Ogayar

*Departamento de Medicina Legal y Toxicología.
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos.*

Acción coordinada ACC-286-CVI-2001.

Investigadores responsables:

Aurora Valenzuela Garach.

Stella Martín de las Heras.

Juan Carlos Torres Cantero

Contenido

Introducción	191
Empezando a utilizar el programa	192
Controles básicos	195
Panel principal	197
Regla.....	201
Gestión de modelos.....	203
Cálculo de huellas.....	204
Impresión.....	208
Impresión en mapa de bits	216
Configuración.....	219
Plugins.....	221
Menús	223
Referencia de iconos	225
Teclas de acceso rápido.....	227
Glosario	228
Enlaces	232

Introducción

DentalPrint es un programa experimental desarrollado en la Universidad de Granada, cuyo fin es el cálculo de huellas dentales para la simulación de mordidas en el ámbito de la medicina forense.

El objetivo principal es complementar el proceso manual de identificación de sospechosos relacionados con un delito mediante su huella dental, esto es, utilizando como prueba el resultado de una mordida.

Hasta ahora, la forma de trabajo consistía en obtener un molde de la dentadura de la persona sospechosa, para posteriormente obtener una imagen en papel utilizando una fotocopidora. Después se resaltaba de forma manual el contorno de la huella y se comparaba con la huella real de la mordida (obtenida con una fotografía de la víctima o del elemento afectado). Este método presenta ciertos inconvenientes, además de ser muy tedioso. Lo más destacable es que la imagen 2D obtenida mediante fotocopia suele introducir muchas ambigüedades visuales, ya que se pierde una dimensión, y por tanto gran parte de la información.

Para solucionar esto, es necesario contar con un método formal para estudiar en 3D la dentadura y calcular la huella mediante parámetros estrictamente geométricos, que es de lo que se encarga DentalPrint.

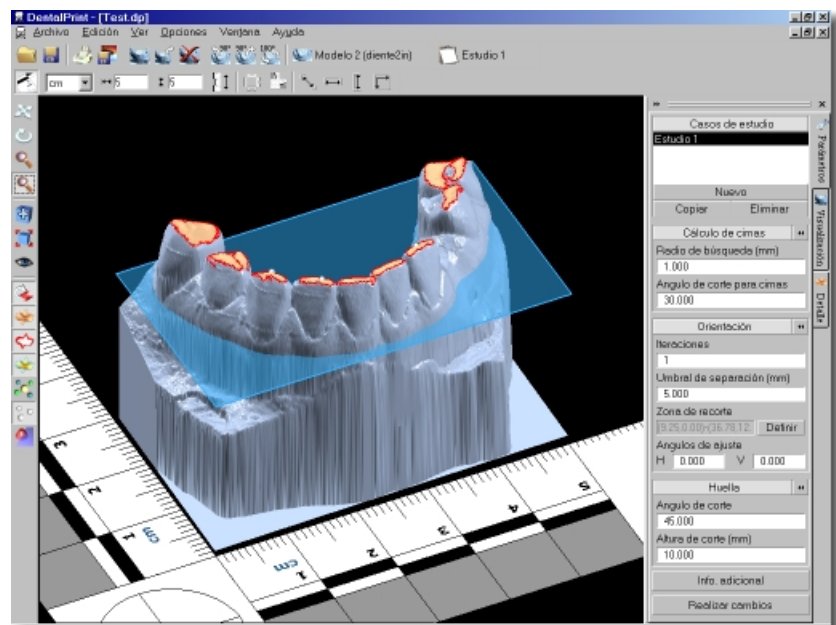
Cabe destacar que, aunque DentalPrint se pensó para sustituir en un futuro el proceso manual de cálculo de huellas, en su fase actual (y experimental) sólo debe utilizarse como una ayuda, dejando siempre en primer lugar el criterio del forense.

Empezando a utilizar el programa

El entorno

El primer paso consiste en familiarizarse con el entorno de la aplicación. Es muy sencillo, ya que se utilizan controles propios de cualquier programa de Windows.

La ventana principal contiene, además del espacio de trabajo para los documentos, varios paneles acoplables a los márgenes que contienen accesos a distintas opciones y comandos. Los paneles pueden separarse de la ventana principal y volver a acoplarse en otra zona, tal y como se suele hacer en todas las aplicaciones. Algunos paneles sólo pueden tener una disposición horizontal de sus elementos, mientras que otros pueden colocarse verticalmente en los extremos de la ventana.



El panel principal es la herramienta más importante, ya que contiene el espacio para todos los parámetros que definen la generación de huellas. Este panel puede acoplarse a la izquierda o a la derecha de la ventana de la aplicación, así como permanecer en modo flotante. Contiene una serie de pestañas que permiten seleccionar cada una de las páginas de opciones y parámetros que están disponibles. Además puede contraerse, dejando más espacio al documento y ofreciendo aún acceso a las pestañas.



Para expandir o contraer el panel se utiliza el botón de doble flecha (señalado en la figura en color azul).

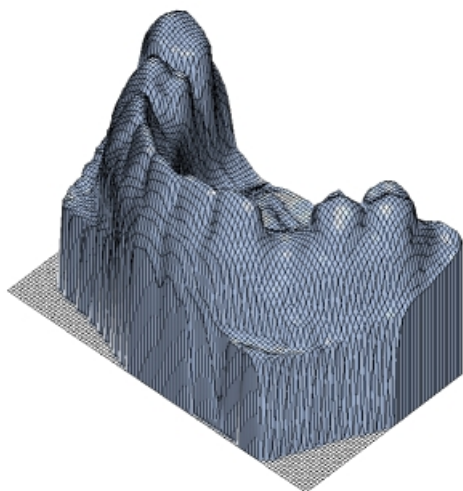
Para cerrar el panel principal puede pulsarse sobre el botón de cruz (señalado en la figura en color rojo), o bien utilizar la opción barras de herramientas.

Si se cierra cualquiera de los paneles, es posible volver a abrirlo utilizando la opción barras de herramientas del menú ver.

Primeros pasos

Para empezar, es necesario contar con algunos ficheros de datos para poder trabajar. Estos ficheros deben ser el resultado de escanear algún molde dental con cualquier dispositivo de captura 3D que genere una salida válida para DentalPrint, esto es, un formato de archivo compatible.

- Para cargar un fichero, se utiliza la opción abrir del menú archivo.
- Una vez que se carga el fichero, aparecerá en la ventana principal el molde de la dentadura con la que se va a trabajar.
- La principal ventaja de visualizar un modelo en 3D es que se pueden obtener múltiples vistas desde distintos puntos. Es posible mover y rotar el modelo, así como hacer un zoom sobre una zona determinada; para ello, se utilizan los controles de movimiento.
- Además de los controles anteriores, pueden utilizarse otras opciones como centrar el modelo, realizar un encuadre o cambiar a una de las vistas predefinidas utilizando las opciones de control avanzadas.



Antes de continuar hay que señalar que en cualquier momento pueden guardarse los cambios realizados utilizando las opciones guardar y guardar como del menú archivo. Algunos tipos de archivo sólo pueden ser utilizados para importar y otros sólo para exportar datos; esto dependerá de los módulos o plugins instalados. En cualquier caso, para trabajar se recomienda utilizar el formato propio de la aplicación, que por supuesto puede cargarse y grabarse sin ningún problema. Si se está trabajando con un fichero que no esté en el formato propio de DentalPrint (con extensión .DP), es conveniente salvar los datos en un nuevo archivo DP para trabajar con él a partir de entonces.

Trabajando con los datos

Una vez que se tiene el modelo 3D cargado, es hora de aplicar las opciones necesarias para calcular las huellas dentales.

- En primer lugar es necesario establecer los parámetros para obtener la huella. Este proceso se describe en la sección de **cálculo de huellas**. El funcionamiento del panel de datos asociado se encuentra en el apartado **panel de parámetros**.
- Para personalizar la visualización de la información obtenida pueden realizarse varios ajustes utilizando los **parámetros de visualización**. Además, puede cambiarse el aspecto del modelo 3D mediante el **panel de visualización** y la **edición de materiales**.
- El programa permite utilizar una **regla** de edición que ayuda a percibir mejor las dimensiones de la dentadura. Puede configurarse utilizando las **opciones de regla**.
- Una vez que se tienen todos los datos calculados y las huellas preparadas, pueden imprimirse o exportarse a mapa de bits.

Para ver el resto de opciones que ofrece el programa, es recomendable estudiar los demás apartados del índice principal de la ayuda.

Controles básicos

Los controles básicos permiten realizar operaciones sobre el control de cámara, y así visualizar de una forma u otra el modelo 3D con el que se trabaja. Se encuentran agrupados en opciones básicas de cámara, opciones avanzadas y parámetros de visualización.



Opciones de movimiento



Posición/mover: Mueve el modelo en horizontal (*eje x*) y en vertical (*eje y*) sobre un plano paralelo al plano de la cámara. La posición final del ratón determinará exactamente la del objeto.



Rotación: Gira la cámara alrededor del punto objetivo. La zona de movimiento es una esfera alrededor de dicho punto. Los giros en horizontal corresponden a movimientos en longitud, mientras que los verticales corresponden a latitud.



Zoom: Realiza un zoom, acercando o alejando la cámara. Realmente es un travelling en profundidad, pero se presenta como zoom para simplificar (en cualquier caso, en una cámara de proyección paralela no existe ángulo de visión, y por tanto es imposible hacer un auténtico zoom). El movimiento efectivo del ratón es en vertical.



Zoom por zona: En esta ocasión se realiza un encuadre del rectángulo marcado mediante pulsación, desplazamiento y liberación del botón del ratón.

Opciones avanzadas



Centrar: Centra el modelo en pantalla sin cambiar la orientación de la cámara.



Encuadrar: Vuelve a establecer la posición inicial que proporciona un perfecto encuadre, según la vista seleccionada.



Vistas: Selecciona una vista predefinida (Superior, izquierda, derecha, frontal, posterior).

Modo de visualización: Selecciona el modo de visualización (alambre, sólido, etc.). Depende del plugin gráfico.

Parámetros de visualización



Transformación del modelo: Muestra el modelo transformado, esto es, girado para que el plano de contacto sea paralelo al plano base (en el que se incluye la regla).



Ver superficie: Muestra la superficie del modelo.



Ver contornos: Muestra los contornos de la huella calculada.



Ver huella: Muestra la huella calculada.



Ver cimas: Muestra las cimas calculadas (en colores diferentes si pertenecen o no al volumen de recorte).



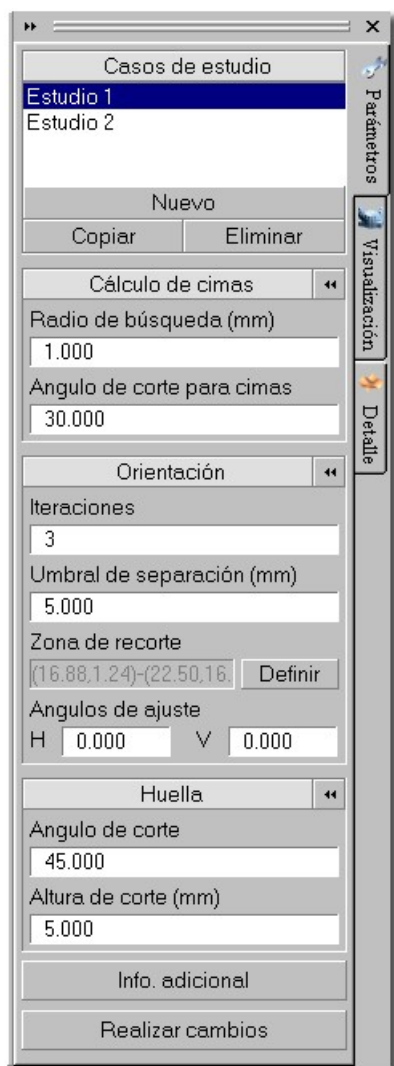
Ver cimas principales: Muestra las cimas seleccionadas para el cálculo del plano de contacto.



Ver planos: Muestra los distintos planos definidos por el caso de estudio actual. Hay 3 planos (superior, de corte y de contacto), además del volumen de recorte.

Panel principal

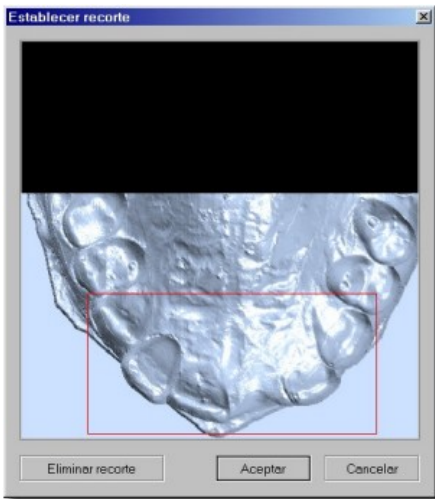
El panel principal es la herramienta más importante de la aplicación. Puede expandirse y contraerse, además de cambiarse de lado. En su interior se encuentran varios subpaneles que ofrecen la siguiente funcionalidad:



Panel de parámetros

El panel de parámetros permite el acceso a todas las variables que se utilizan para los cálculos geométricos de cada caso de estudio. Se divide en varias secciones, cada una dedicada a una fase de los cálculos que se realizan para determinar la huella dental. Al lado del título de cada apartado aparece un botón que sirve para establecer los valores por defecto en los parámetros de esa sección. Después de hacer cualquier modificación sobre los datos, es necesario pulsar el botón inferior del panel (realizar cambios), para que se calcule la nueva huella.

- **Lista de casos de estudio:** Permite seleccionar el conjunto de parámetros actual, así como crear, copiar ó eliminar un caso de estudio.
- **Cálculo de cimas:** El primer paso para calcular la orientación de la dentadura consiste en calcular los puntos más altos del modelo tridimensional. Estos puntos se definen en base a los siguientes parámetros:
 - **Radio de búsqueda (milímetros):** En toda la extensión del modelo se buscan máximos locales, para después seleccionar los mayores; este radio determina la amplitud de la zona donde se define cada máximo local. Cuanto mayor sea, más rápidos serán los cálculos y menos cimas aparecen. Nótese que las zonas de búsqueda (de forma cilíndrica) se solapan en parte para evitar el perder información.
 - **Ángulo de corte para cimas (grados):** En cada punto de la superficie se define una pendiente respecto del plano base, incluyendo las cimas; si el ángulo de inclinación supera el umbral establecido, el máximo local será descartado.
- **Orientación:** Para que la dentadura quede correctamente orientada hay que aplicar una serie de ajustes en base a los siguientes parámetros:
 - **Iteraciones:** Cada vez que se reorienta la dentadura, los máximos deben ser recalculados para obtener mejores resultados. Este proceso itera tantas veces como se especifique.



- **Umbral de separación** (milímetros): Es muy posible que en una zona muy pequeña aparezcan varias cimas de calibración, ofreciendo una orientación del todo incorrecta. El umbral de separación es la distancia mínima que deben guardar entre sí las cimas de calibración, para evitar que estén muy próximas.
- **Zona de recorte**: Sirve para limitar el área de búsqueda de los máximos locales y descartar la parte del modelo que no interesa.
- **Ángulos de ajuste** (grados): Es posible realizar un ajuste adicional al realizado por el programa mediante los ángulos H y V, que giran el plano resultante en el sentido de las agujas del reloj. El ángulo H hace rotar en horizontal y el V en vertical (según se mira el modelo desde arriba).
- **Huella**: El cálculo de la huella, una vez completado el proceso de orientación, se realiza utilizando las siguientes variables:
 - **Ángulo de corte** (grados): La huella se extiende desde las cimas hacia abajo, hasta los puntos en los que la pendiente de la superficie supera el ángulo umbral de corte.
 - **Altura de corte** (milímetros): Para evitar que la huella supere cierta profundidad, se acota mediante este parámetro. La altura de corte se mide desde el plano de contacto hacia abajo.
- **Información adicional**: Pulsando este botón se accede a una ventana de diálogo que permite introducir información adicional para cada dentadura (en formato texto).



Panel de visualización

En este panel pueden ajustarse las propiedades de visualización del modelo, que en esta versión se reducen al material con el que se representa.

El material de un modelo es una aproximación muy simple de las características visuales que ofrecería el equivalente en el mundo real.

En la ventana de selección de material aparece una lista de materiales predefinidos, y al final algunos personalizables por el usuario. Para aplicar el material al modelo basta con pulsar sobre aplicar o hacer doble pulsación sobre el nombre en la lista.

Los materiales personalizables llevan el nombre de usuario n, y al seleccionarlos se activa la opción editar, que permite abrir la ventana de edición de materiales. Todas las modificaciones que se hagan en este apartado se almacenan en el fichero de configuración de la aplicación, y no dependen, por tanto, de cada documento (el material que se aplica al modelo sí se almacena en el fichero asociado).



Edición de materiales

El concepto de material utilizado en esta aplicación incluye las siguientes propiedades:

Color ambiente: Simula el color e intensidad de la luz que llega a cada punto del modelo mediante reflexión en otras zonas. Es la luz que parece llegar de todas direcciones.

Color difuso: Simula el color e intensidad de la luz que se refleja en el objeto uniformemente en todas direcciones. La forma de reflexión de la luz no depende de la posición del observador.

Color especular: Simula el color e intensidad de la luz que se incide en el objeto desde una dirección y tiende a reflejarse en otra dirección particular. La reflexión depende de la posición del observador.

Brillo: Establece la concentración del brillo. Cuando menor sea, más disperso aparece; cuando mayor sea, más pequeño y concentrado.



Panel de detalle

En este panel pueden crearse niveles de detalle para visualizar el modelo con una menor resolución. Esta opción está indicada para ordenadores poco potentes o modelos muy complejos. La desventaja es que no puede visualizarse la huella en un nivel de detalle que no sea nominal, ya que éste no representa la superficie con la que se realizan los cálculos, y por tanto no son visualmente compatibles.

Los niveles de detalle pueden crearse con el botón nuevo y eliminarse seleccionando sobre la lista y pulsando eliminar.

Para activar, y por tanto visualizar un nivel de detalle, hay que hacer doble pulsación sobre el mismo en la lista.

Para añadir un nivel de detalle se utiliza la ventana de diálogo asociada, donde se puede escoger entre 3 formas de creación:

- **Generación simple uniforme:** Genera un nuevo modelo tomando muestras a intervalos regulares (especificados en la casilla 'tamaño de muestra').
- **Generación simple no uniforme:** Genera un modelo tomando muestras en las posiciones originales de la retícula que define la base, pero reduciendo la cantidad de éstas según los divisores de anchura y profundidad.
- **Generación múltiple:** Genera tantos niveles de detalles como se indiquen reduciendo progresivamente la resolución. Se utiliza el muestreo no uniforme.

Nuevo nivel de detalle [X]

Muestreo

Uniforme

No uniforme

Tamaño muestra (mm)

Divisor de anchura

Divisor de profundidad

Cuadrícula original 672 x 298

Cuadrícula resultante 336 x 149

Memoria necesaria 784.1Kb/344.1Kb

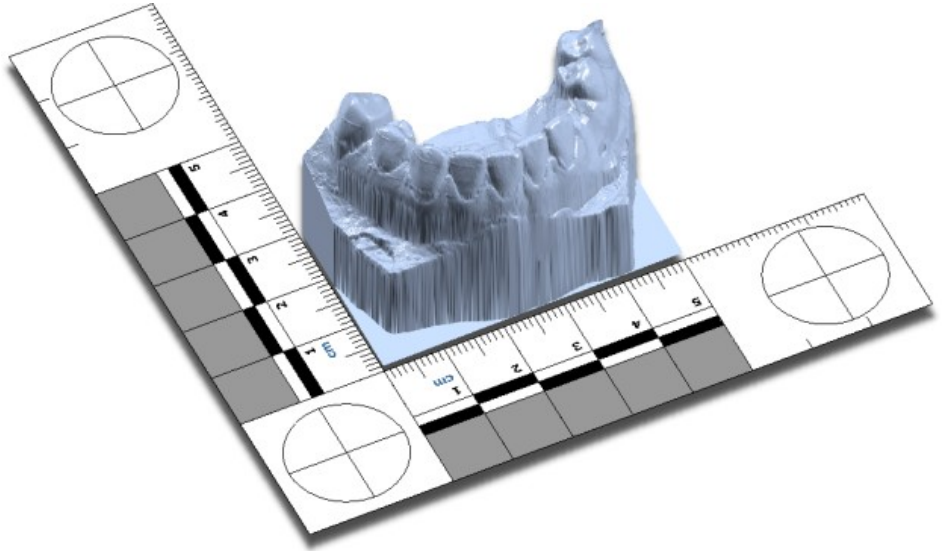
Generación múltiple

Genera varios niveles con reducción progresiva del detalle.

Niveles

Regla

La regla es una representación virtual que permite reflejar la escala del modelo. Tal y como se ve en la pantalla es como se dibuja en la impresora. Es configurable por el usuario; permite 2 unidades de medida (cm, inch), puede autoajustarse al modelo y segmentarse.



Opciones de regla



Ver/ocultar regla: Activa o desactiva la regla en pantalla.



Unidad métrica: Permite cambiar la unidad de la regla entre el sistema británico (pulgadas) y el internacional (centímetros).



Anchura: El ancho en la unidad de medida seleccionada.



Altura: El ancho en la unidad de medida seleccionada.



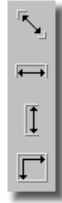
Ajuste automático: Ajusta la regla a las dimensiones del modelo.



Segmentos: La regla puede tener hasta 4 segmentos (superior, inferior, izquierdo y derecho), se forma que pueda cambiarse la orientación respecto del modelo. Cada segmento puede activarse o desactivarse con este comando.



Punto de referencia: El modelo se sitúa respecto de la regla tomando un punto de referencia, que por defecto es el extremo inferior izquierdo (lo habitual para una regla formada por los segmentos izquierdo e inferior). Cambiando este punto, cambia también la situación del modelo.



Medir distancias: Permite medir distancias entre dos puntos de la pantalla. Hay 4 comandos para medir; entre 2 puntos, en horizontal, en vertical y en rectángulo. Es fundamental que el plano de la cámara esté paralelo al plano sobre el que se quiere medir; esto se traduce en que antes de medir se debe seleccionar una de las vistas predefinidas, después moverla o hacer zoom según sea necesario, pero sin rotarla. Lo habitual es tomar medidas sobre la vista superior.

Para medir sobre la imagen se debe pinchar sobre el punto origen y arrastrar, sin soltar el botón, hasta el punto destino. Completada la operación se mostrará un cuadro de diálogo con los resultados.

Gestión de modelos

Además del panel principal, existen varias opciones relacionadas con la edición de modelos. A continuación se enumeran las acciones vinculadas a este proceso.



Cargar e importar modelos. Se pueden cargar ficheros de datos que contengan modelos o bien importar un modelo en el documento actual.



Grabar. Al grabar el documento se almacenan todos los modelos, sus casos de estudio y todos los parámetros asociados.



Imprimir. Imprime el documento.



Guardar como mapa de bits. Imprime el documento como mapa de bits.



Exportar. Esta opción permite copiar en un nuevo documento el modelo seleccionado, incluyendo todos los datos asociados.



Eliminar modelos. Se pueden eliminar modelos de forma selectiva.



Editar modelos. La edición de los datos del modelo se realiza en una ventana de diálogo donde se puede modificar la información asociada.



Rotación del modelo. El modelo puede rotarse en intervalos de 90°.

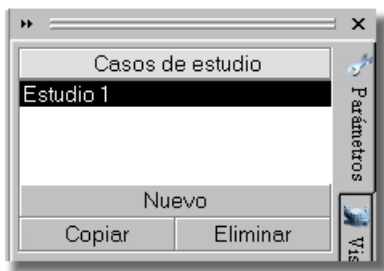
Cálculo de huellas

El objetivo final del programa es el cálculo de huellas dentales utilizando una serie de parámetros geométricos. Todo el proceso se divide en varias etapas, y cada una de ellas tienen unas variables asociadas.

Para poder ajustar los valores correctamente y obtener los resultados deseados, es necesario comprender el fundamento geométrico que utiliza el programa. Lo ideal sería que todo fuese automático, sin embargo, al ser la aplicación el resultado intermedio de un proceso de investigación, todo el ajuste de parámetros debe ser controlable manualmente.

Estado inicial

Para empezar a trabajar es necesario contar con los modelos para el estudio cargados en la aplicación. Para obtener un modelo 3D de una dentadura, es necesario haber realizado un molde y haberlo procesado con un escáner 3D. Con la aplicación de captura 3D que utiliza el escáner debe almacenarse el modelo en disco para su utilización con DentalPrint. Los formatos de fichero que admita la aplicación dependerán de los plugins instalados.

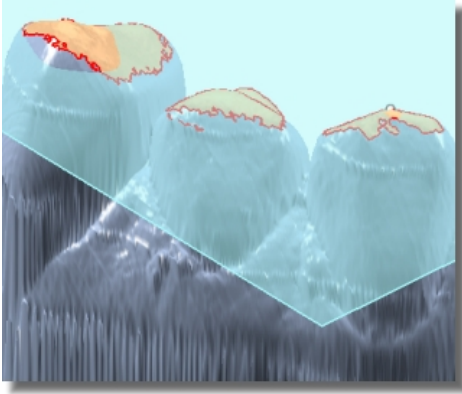


Creación de un caso de estudio

Un caso de estudio se define como un conjunto de parámetros que permiten la obtención de una huella a partir del modelo dental. Ya que es interesante poder comparar los resultados al cambiar uno ó varios valores en el juego de parámetros, la aplicación permite tener varios casos de estudio para cada modelo.

Para crear un caso de estudio, basta con pulsar sobre Nuevo en panel de parámetros. Los casos de estudio aparecen en orden numérico. El número más alto corresponde al último en ser creado. Cuando se elimina un caso (botón Eliminar), los siguientes en la lista cambian su numeración (p.ej.: si se elimina el 3, el 4 pasa a ser 3, el 5 pasa a ser 4, etc.).

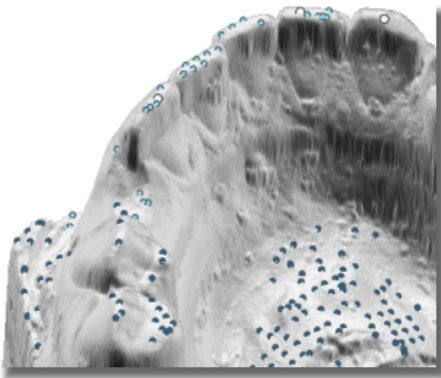
El posible copiar un caso de estudio generando otro con los mismos valores en todos los parámetros. Esto es útil para comprobar el resultado de cambiar pocos valores respecto de un juego de parámetros existente. Para conseguirlo, se selecciona en la lista el caso de estudio a duplicar y se pulsa sobre Copiar.



Ajuste de parámetros: El plano de contacto

El primer paso para la obtención de la huella consiste en nivelar del modelo de la dentadura de forma que sea posible obtener el plano sobre el cual se simulará la mordida.

Si, por ejemplo, se coloca el molde real (el que se escanea para obtener el computerizado ó virtual) sobre una mesa, de forma que los dientes contacten con algunas de sus cúspides sobre la superficie, el plano que forma la mesa sería equivalente al que se calcula con la aplicación, y que recibe el nombre de plano de contacto. La diferencia es que en la aplicación el molde se visualiza sobre su base, con las piezas dentales hacia arriba, quedando por tanto el plano en la parte superior.



Ajuste de parámetros: Cálculo de cimas

De entre los diversos métodos que existen para calcular el plano de contacto, el adoptado por el programa consiste en tomar los 3 puntos más altos del modelo y formar con ellos el plano buscado.

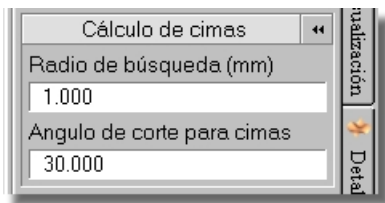
Los 3 puntos más altos se consideran como máximos globales de la superficie del modelo, y están seleccionados del conjunto de máximos locales.

Un máximo local en una superficie es el punto más alto de entre todos los incluidos dentro de un entorno determinado. Para calcular los máximos globales, primero hay que calcular los locales, lo que constituye el objetivo de esta fase.

La condición de máximo local depende de la extensión del entorno que se considere alrededor de dicho máximo. Por tanto, para calcular el conjunto de máximos locales, también llamados cimas, es necesario precisar el radio de las regiones del modelo donde se buscan los puntos más altos. Por definición, salvo que una región sea totalmente plana, siempre existe un punto máximo, lo que quiere decir que el número de cimas dependerá de la amplitud de cada zona de búsqueda.

Las 3 cimas más altas reciben el nombre de cimas seleccionadas, cimas de calibración ó cimas de ajuste. El resto se consideran como cimas candidatas. Los parámetros que determinan esta primera fase de los cálculos son:

- **Radio de búsqueda** (milímetros): Determina la amplitud de la zona donde se define cada máximo local. Cuanto mayor sea, más rápidos serán los cálculos y menos cimas aparecen (porque con pocos entornos se cubre toda la extensión). Nótese que las zonas de búsqueda (de forma cilíndrica) se solapan en parte para evitar el perder información.



- **Angulo de corte para cimas** (grados): En cada punto de la superficie se define una pendiente respecto del plano base, incluyendo las cimas; si el ángulo de inclinación supera el umbral establecido, el máximo local será descartado. Con esto se consigue que las cimas queden en las mesetas y picos del modelo.

Ajuste de parámetros: Cálculo del plano de contacto

Una vez que se obtienen todos los máximos locales, puede procederse al cálculo de los 3 puntos más altos del modelo. Esta operación, que parece trivial, tiene una serie de peculiaridades que influirán en el resultado final.

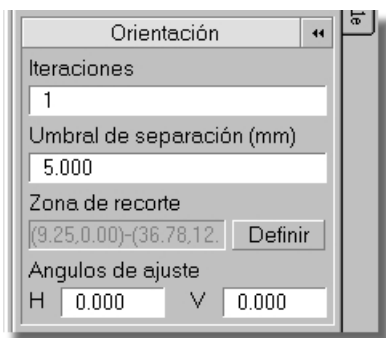
En primer lugar, hay que tener en cuenta la consideración de que los 3 puntos de calibración contactan directamente con la superficie donde se supone que se realiza la mordida. Esto quiere decir que, si uno de estos puntos aparece en un molar que seguramente no interviene en la mordida, el plano resultante será conceptualmente incorrecto. Debido a esta circunstancia, es necesario definir la zona de la dentadura que más probabilidades tiene de intervenir en la mordida.

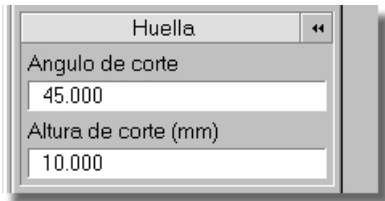
En segundo lugar, es muy probable que aparezcan las cimas de orientación demasiado próximas, lo que produce resultados incorrectos. Para evitarlo, es necesario definir un umbral de proximidad, que fuerza una distancia mínima entre cimas.

Además, es posible regular el plano de contacto manualmente, de forma que puede ajustarse a alguna situación concreta, como la simulación de un ángulo de mordida sobre la superficie.

Los parámetros que intervienen en el cálculo del plano de contacto son:

- **Zona de recorte:** Sirve para limitar el área de búsqueda de los máximos locales y descartar la parte del modelo que no interesa.
- **Umbral de separación** (milímetros): El umbral de separación es la distancia mínima que deben guardar entre sí las cimas de calibración, para evitar que estén muy próximas.
- **Ángulos de ajuste** (grados): Es posible realizar un ajuste adicional al realizado por el programa mediante los ángulos H y V, que giran el plano resultante en el sentido de las agujas del reloj. El ángulo H hace rotar en horizontal y el V en vertical (según se mira el modelo desde arriba).
- **Iteraciones:** Cada vez que se reorienta la dentadura, los máximos deben ser recalculados para obtener mejores resultados. Este proceso itera tantas veces como se especifique con esta variable. Salvo que la dentadura esté muy inclinada inicialmente (debido probablemente al procesamiento con el escáner), se recomienda mantener este valor a 1.





Huella

Angulo de corte
45.000

Altura de corte (mm)
10.000

Ajuste de parámetros: Cálculo de la huella

Una vez que se ha calculado el plano de contacto y la dentadura está orientada, sólo falta obtener la huella dental. En esta última fase es necesario utilizar algunos parámetros más para definir correctamente el contorno de la huella:

- **Angulo de corte** (grados): La huella se extiende desde las cimas hacia abajo, hasta los puntos en los que la pendiente de la superficie supera el ángulo umbral de corte.
- **Altura de corte** (milímetros): Para evitar que la huella supere cierta profundidad, se acota mediante este parámetro. La altura de corte se mide desde el plano de contacto hacia abajo.

Información adicional

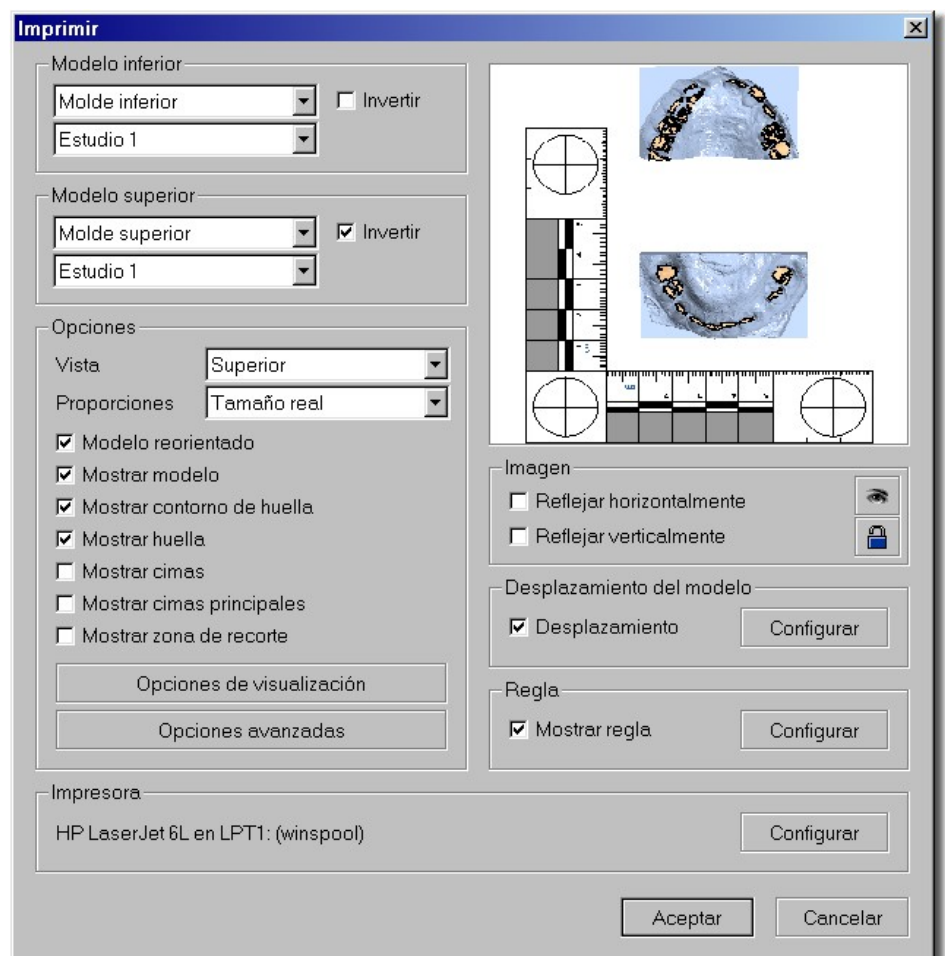
Es posible añadir información adicional a cada caso de estudio, como notas y comentarios. Estos datos se almacenarán en formato de texto plano y podrán imprimirse junto con el modelo.

Impresión

Ventana de impresión

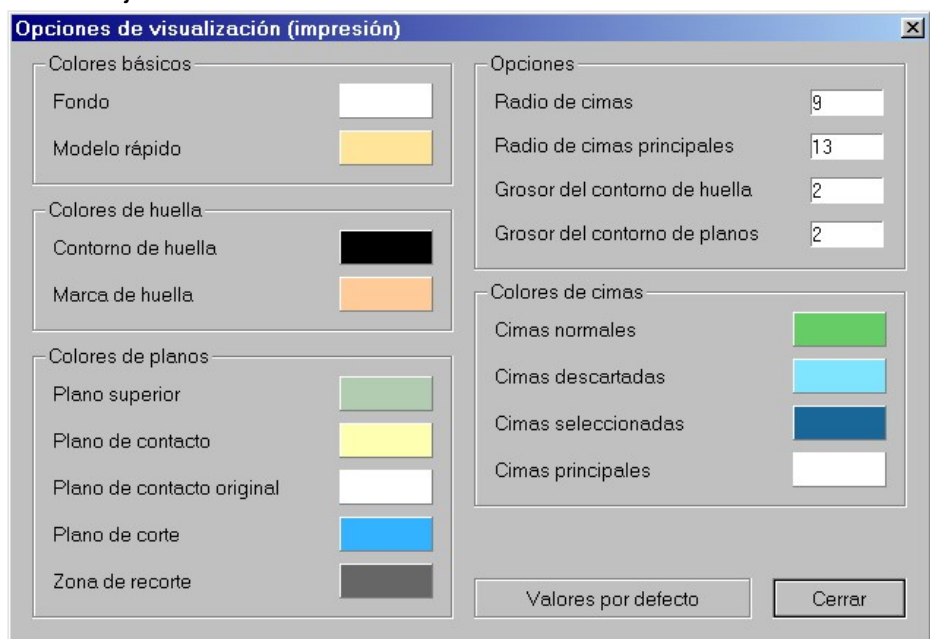
Esta es la ventana principal de configuración para la impresión de la imagen. Consta de las siguientes secciones:

- **Modelo inferior:** Permite seleccionar el modelo del documento que se imprime en la parte inferior de la imagen, el estudio asociado y la posibilidad de invertir (realmente girar 180°) el dibujo.
- **Modelo superior:** Igual que con el modelo inferior, salvo que se aplica al superior. Este segundo modelo, que aparecerá sobre el primero en la imagen, es opcional, por lo que pueden imprimirse dentaduras por separado o por pares.
- **Opciones:** Reúne todas las opciones de representación en los siguientes grupos:
 - **Vista:** Selecciona la vista a imprimir entre las predefinidas y la actual (la que se está utilizando en ese momento en la ventana principal del documento). Nótese que sólo las vistas predefinidas permiten la impresión a escala real.

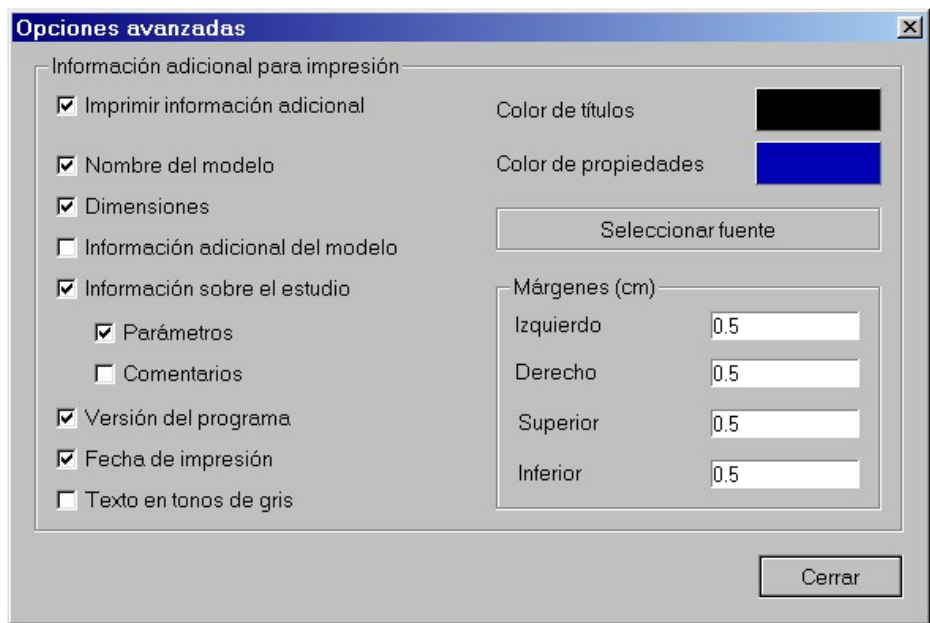


- **Proporciones:** Determina las dimensiones de la imagen al enviarlas a la impresora. Puede ser a escala real ó ajustándose a la página. Para una impresión en formato apaisado (landscape) hay que configurar la impresora para tal efecto.
- **Modelo reorientado:** Muestra el modelo orientado de forma que el plano de contacto (realmente cualquiera de los planos) esté paralelo a la base.
- **Mostrar modelo:** Muestra el modelo 3D de la dentadura.
- **Mostrar contorno de huella:** Muestra el contorno de la huella.
- **Mostrar huella:** Muestra la marca de la huella.
- **Mostrar cimas:** Muestra las cimas como en la ventana de trabajo del documento.
- **Mostrar cimas principales:** Muestra las cimas de calibración.
- **Mostrar zona de recorte:** Muestra el volumen de recorte.
- **Opciones de visualización:** De la misma forma que se configura la visualización de los documentos, es posible personalizar el aspecto de los distintos elementos a la hora de la impresión. Los valores de trabajo con los documentos no son los mismos que los utilizados para imprimir, ya que por norma general, los requerimientos por parte del usuario son distintos en este sentido. De esta forma, por ejemplo, los colores de fondo para imprimir y para trabajar serán, normalmente, blanco (papel) y negro (pantalla) respectivamente.

Todas las variables se almacenan en el archivo de configuración de la aplicación, estando disponibles los últimos valores tras cada ejecución.



- **Opciones avanzadas:** Estas opciones están relacionadas con la salida por papel del documento (ó impresión virtual en archivo). Las opciones disponibles en este apartado son:
 - **Imprimir información adicional:** Imprime información de texto relacionada con el modelo, formada por las opciones que aparecen a la izquierda en la ventana.
 - **Nombre del modelo:** Imprime el nombre del modelo.
 - **Dimensiones:** Imprime las dimensiones originales del modelo (que no tienen necesariamente que coincidir con las de la imagen impresa).
 - **Información adicional del modelo:** Imprime el contenido del campo de texto que cada modelo posee como información adicional.
 - **Información sobre el estudio:** Imprime los datos sobre el caso de estudio seleccionado.
 - **Parámetros:** Imprime los valores de los parámetros del caso de estudio seleccionado.
 - **Comentarios:** Imprime la información adicional asociada al caso de estudio.
 - **Versión del programa:** Imprime la versión del programa.
 - **Fecha de impresión:** Imprime la fecha actual.
 - **Textos en tono de gris:** Fuerza un tono de gris en la



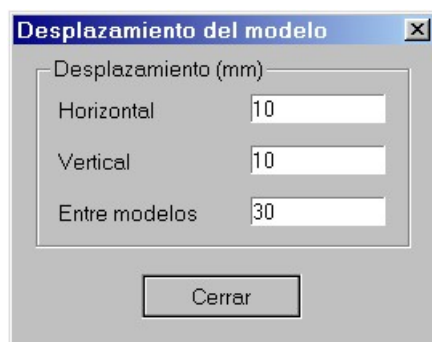
información de texto.

- **Color de títulos:** Es el color con el que se imprimen los nombres de los parámetros.

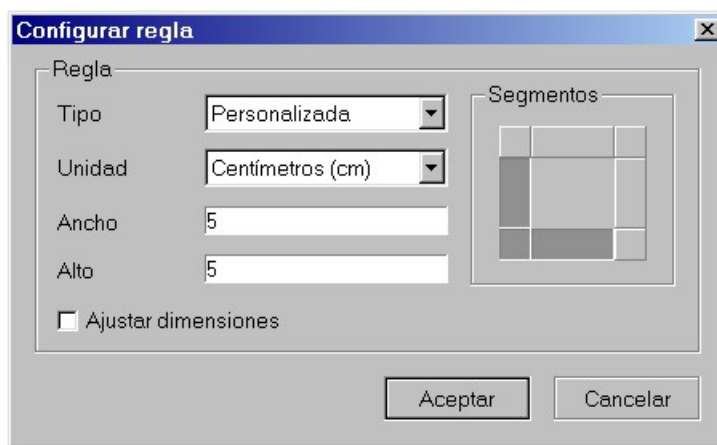
-
- **Color de propiedades:** Es el color con el que se imprimen los valores de los parámetros.
 - **Seleccionar fuente:** Permite seleccionar el tipo y tamaño de la fuente con la que se imprime el texto. Nótese que la aplicación no controla el tamaño final de la zona ocupada por el texto; esto quiere decir que se cortará en la parte inferior de la página si es demasiado extenso (influye el tamaño de fuente).
 - **Márgenes:** Determina los márgenes de impresión (que se añaden a los establecidos por la impresora).
 - **Imagen:** Permite controlar el aspecto final de la imagen en la impresión, mediante dos opciones para reflejarla en horizontal y vertical. Esta reflexión no tiene relación alguna con las rotaciones del modelo, y pueden aplicarse todas juntas sin exclusión.

Los iconos que aparecen dentro de la sección imagen sirven para controlar las actualizaciones de la previsualización que se sitúa en la parte superior derecha de la ventana. Siempre que se realice un cambio en cualquier valor de configuración, aparece el botón con el icono del ojo, que permite actualizar la imagen. Si se presiona sobre el botón del cerrojo, las actualizaciones serán automáticas, y el botón anterior no aparecerá. Este sistema permite un control manual sobre la previsualización, que es lenta con modelos muy complejos.

- **Desplazamiento del modelo:** Cuando se imprimen las dentaduras, es posible regular la distancia que guardan entre sí y respecto de la regla. Las distancias horizontal y vertical determinan el desplazamiento de los dos modelos (ó del único modelo si es el caso) respecto del punto de referencia de la regla. La distancia entre modelos se aplica en vertical entre ambos. La unidad que se utiliza es el milímetro.



- **Regla:** Muestra la regla en la imagen. La ventana de configuración de la regla tiene los siguientes parámetros:
 - **Tipo:** El tipo de puede ser Regla de edición, Estándar 5x5cm y Personalizada. La primera establece los valores tal y como se tienen en la regla utilizada para visualizar el documento durante la edición; la segunda es una regla de disposición inferior izquierda de 5x5cm; la personalizada permite ajustar todos los valores de forma individual.
 - **Unidad:** Permite seleccionar la unidad entre centímetros y pulgadas.
 - **Ancho:** La anchura de la regla.
 - **Alto:** La altura de la regla.
 - **Ajustar dimensiones:** Ajusta el ancho y el alto a las dimensiones del modelo.
 - **Segmentos:** Permite activar o desactivar los segmentos de regla (superior, inferior, izquierdo y derecho), y cambiar el punto de referencia (las 4 esquinas).

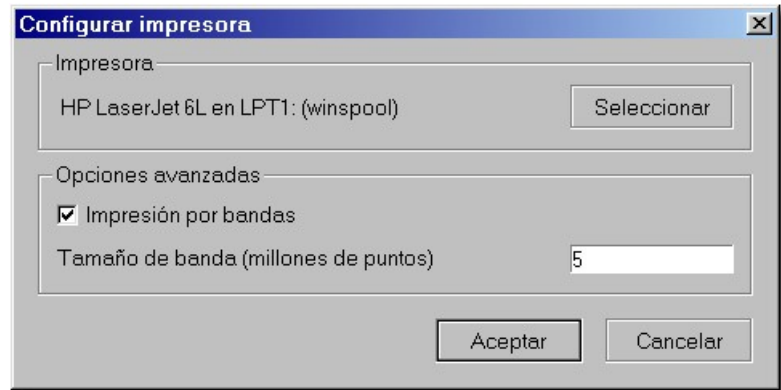


- **Impresora:** En este apartado se muestra la impresora seleccionada, así como un botón que abre una ventana para configurarla.

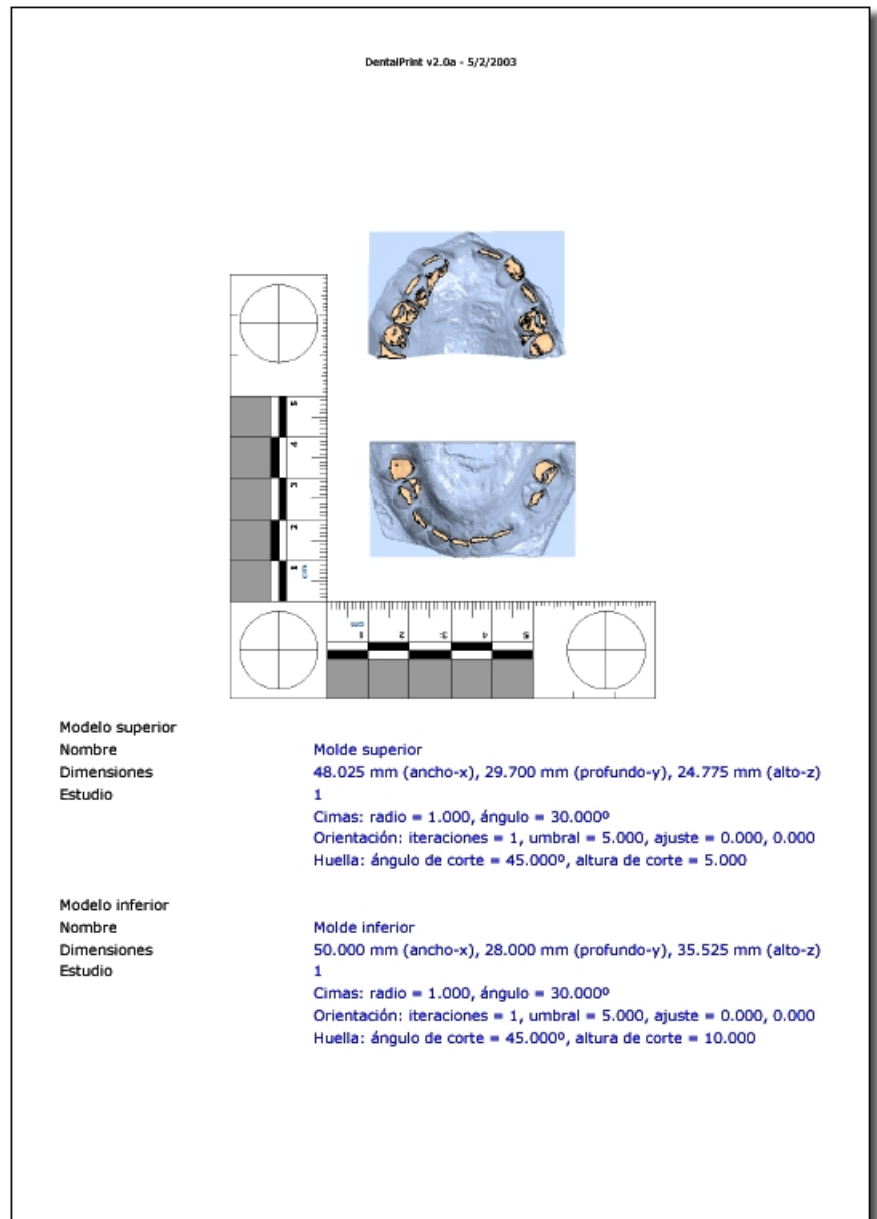
En la ventana de configuración de la impresora aparece un botón para seleccionarla de entre las disponibles en el sistema, así como establecer los parámetros particulares.

En las opciones avanzadas aparece la posibilidad de realizar una impresión por bandas. Este modo de impresión divide la imagen del modelo en varios segmentos o bandas cuya composición forma el resultado final. El tamaño de banda se mide en millones de puntos. Esta opción sólo debe utilizarse cuando la impresión normal no funciona, ya que la descomposición en segmentos es

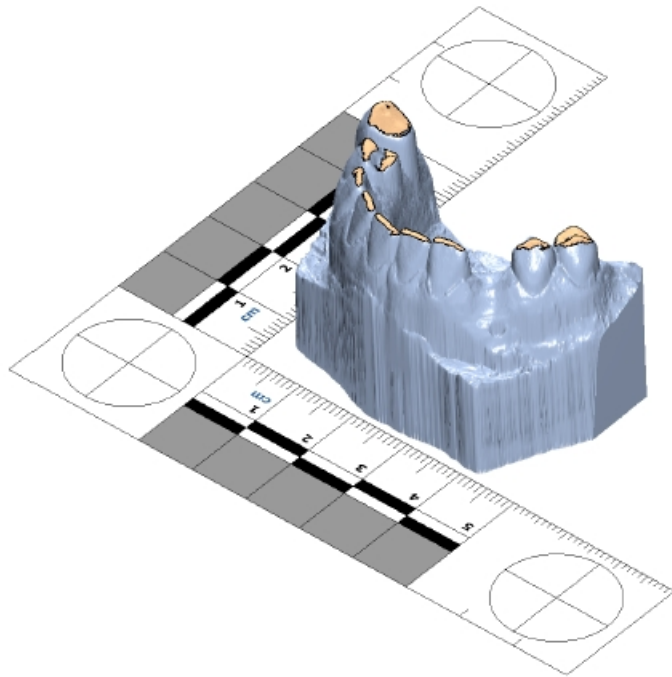
mucho más lenta. La razón de esta opción se debe a problemas de falta de memoria ó compatibilidad en algunas impresoras.



Ejemplos de impresión



Este ejemplo muestra dos modelos y utiliza separación de 10mm en horizontal y vertical, así como 20mm entre ambos. Los márgenes son de 0.5mm sin contar con los de la impresora. El papel usado es formato A4, y la imagen está a escala real (1:1). El modelo superior se encuentra invertido.



Nombre
Dimensiones
Estudio

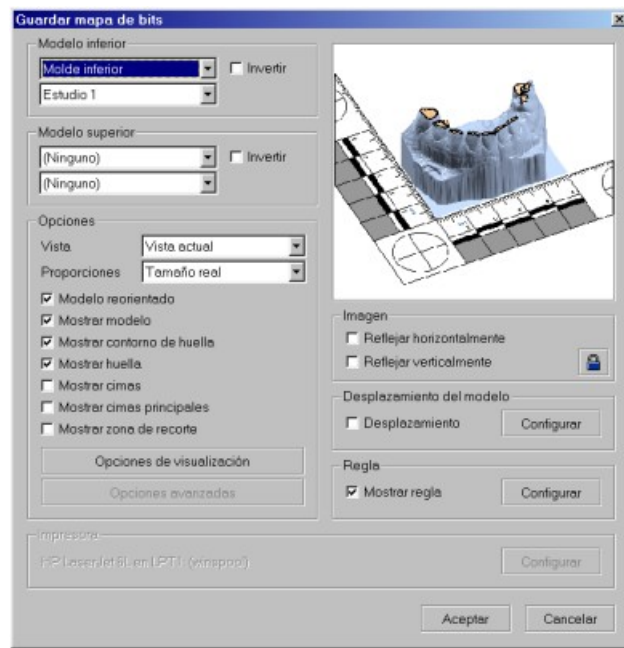
Molde inferior
50.000 mm (ancho-x), 28.000 mm (profundo-y), 35.525 mm (alto-z)
1
Cimas: radio = 1.000, ángulo = 30.000°
Orientación: iteraciones = 1, umbral = 5.000, ajuste = 0.000, 0.000
Huella: ángulo de corte = 45.000°, altura de corte = 10.000

Este ejemplo muestra un modelo utilizando la vista de edición, por lo que no aparece e escala real (1:1). En este caso no se utiliza separación respecto del punto de referencia. El papel usado es formato A4.

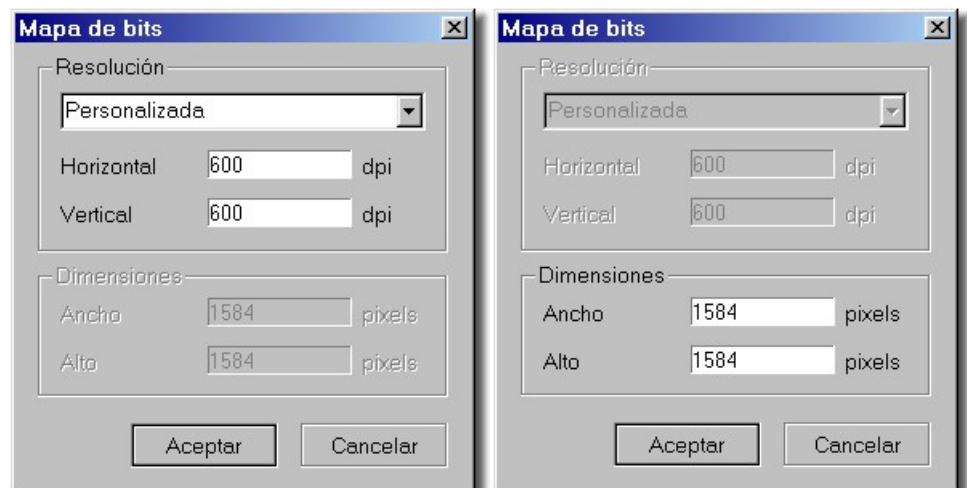
Impresión en mapa de bits

Ventana de impresión en mapa de bits

La ventana de impresión en mapa de bits es la misma que la utilizada para la impresión normal, aunque en esta ocasión se desactivan los controles asociados con la configuración de la impresora.



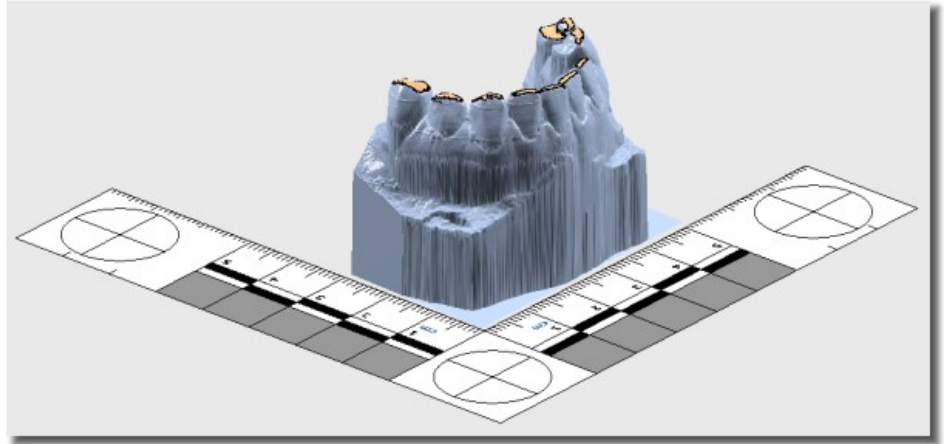
Cuando se pulsa sobre aceptar para imprimir, aparece una ventana que permite configurar el tamaño final de la imagen en pixels, según sea a escala 1:1 ó la vista de edición.



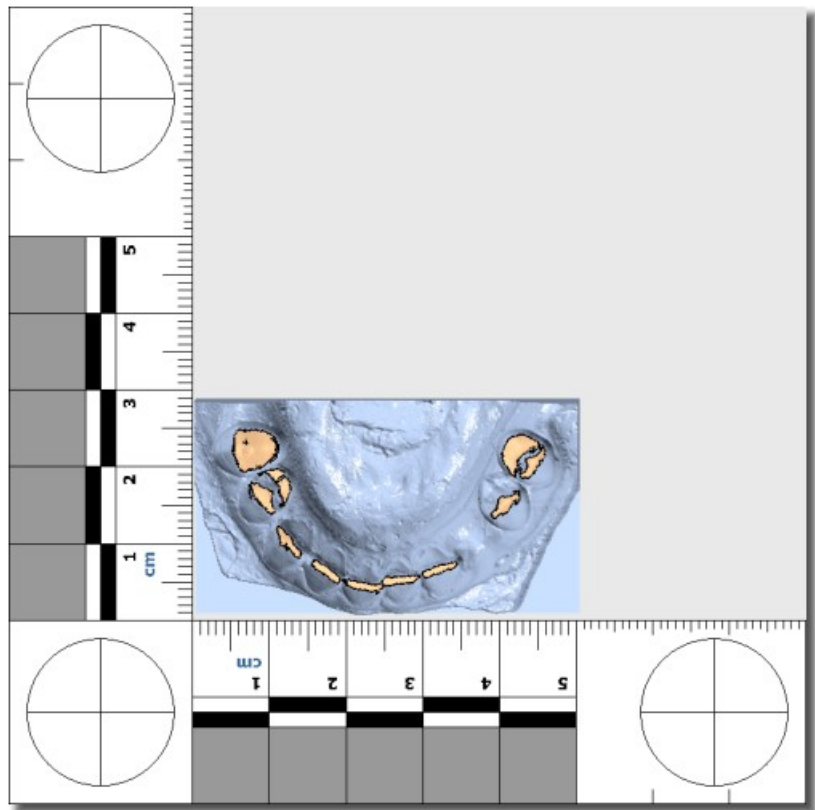
Si se selecciona la impresión a escala real, el parámetro que determina las dimensiones finales de la imagen (en pixels) es la resolución en puntos por pulgada (dpi). Es lógico pensar que, para obtener una impresión a tamaño real del bitmap con otro programa

de tratamiento de imágenes, éste debe utilizar la misma resolución en puntos por pulgada que el bitmap.
En caso de especificar la vista de edición, las dimensiones se definen directamente en pixels.

Ejemplos de impresión en mapa de bits



Este ejemplo muestra un modelo utilizando la vista de edición. La imagen original es mucho mayor; se ha reducido (y alisado) para una correcta presentación. El color de fondo es parte del bitmap (tal y como se configura en la ventana de opciones de visualización).



Este ejemplo muestra un modelo utilizando la vista superior a escala real (1:1) con una resolución de 600x600dpi. Aunque aquí se ha reducido para una correcta visualización, el bitmap original lleva incorporada la información de resolución que permitirá a cualquier programa de tratamiento gráfico 2D la impresión a escala 1:1.

Configuración

Opciones de visualización

Las opciones de visualización incluyen los colores de los elementos que se muestran en pantalla, así como los radios de los puntos (cimas) y los grosores de contornos (huellas y planos).

La información se guarda en el fichero de configuración de la aplicación, y afecta a todos los documentos por igual.



Los colores corresponden a los siguientes elementos:

- **Fondo:** El fondo de la imagen.
- **Modelo rápido:** El modelo cuando se mueve con la opción movimiento con modelo simplificado activada.
- **Contorno de huella:** La línea exterior de la huella.
- **Marca de huella:** El interior de la huella.
- **Colores de planos:** Cada plano, así como la zona de recorte, tiene su propio color redefinible.
- **Cimas normales:** El color de las cimas cuando no hay rectángulo de recorte definido.
- **Cimas descartadas:** El color de las cimas descartadas por el rectángulo de recorte.
- **Cimas seleccionadas:** El color de las cimas que quedan dentro del rectángulo de recorte.
- **Cimas principales:** Las cimas utilizadas para la orientación del modelo.

Las opciones se refieren a los radios de los puntos que representan a las cimas y el grosor de los contornos de huella y planos (medidos en pixels).

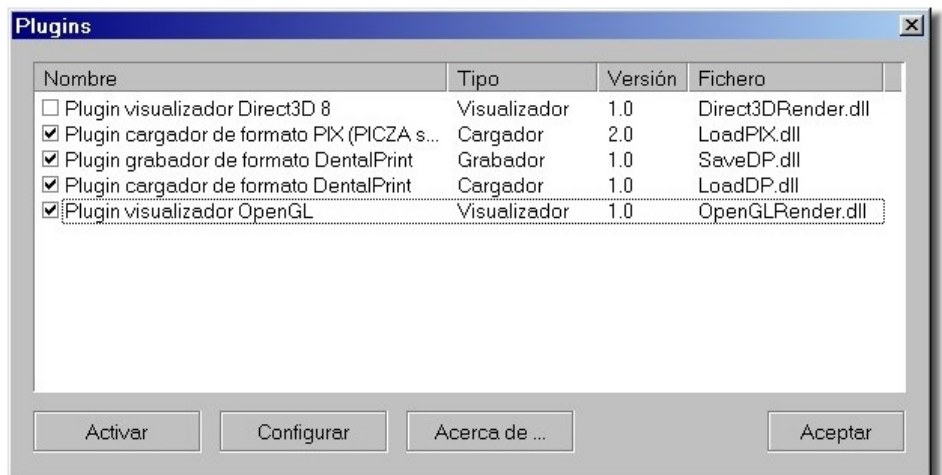
Configuración de plugins

Los plugins son módulos independientes del programa, y como tales deben ser configurados aparte.

El menú de configuración de plugins permite mostrar los plugins cargados y activos (con una marca en la lista), además de los localizados pero inactivos (sin marcar).

En la lista se muestran los detalles de cada uno de los módulos, como el tipo (visualizador, cargador, grabador), la versión y el nombre del archivo. Seleccionando un plugin en la lista se tiene acceso a las funciones de configuración:

- **Activar:** Esta opción sólo está disponible para los plugins visualizadores; sirve para seleccionar el módulo gráfico que se utilizará a partir de la siguiente ejecución del programa.
- **Configurar:** La opción se activa si el plugin ofrece la posibilidad de ser configurado. Mediante este comando se abre la ventana de diálogo del módulo que permite ajustar los parámetros necesarios.
- **Acerca de...:** Muestra información sobre el módulo.



Plugins

Los plugins son módulos no pertenecientes al programa principal, que permiten realizar varias funciones. En particular, se encargan de tres tareas:

- **Carga de archivos.** Para proporcionar flexibilidad a la hora de tratar con diversos formatos de fichero existentes y futuros, la aplicación delega la función de acceso a disco en los plugins de carga de archivos.
- **Grabación de archivos.** Al igual que en el caso anterior, para grabar datos es necesario un plugin para cada tipo de archivo. Los plugins para cargar y grabar son independientes, ya que algunos formatos sólo se trabajan como entrada o como salida.
- **Visualización.** Los plugins gráficos o de visualización se encargan de la representación del modelo 3D y toda la información asociada. La aplicación no puede funcionar sin un plugin gráfico; aunque se ejecutara, no se podría hacer nada.

Todos los plugins para cargar y grabar archivos se inicializan junto con la aplicación. Para ver si están disponibles basta con consultar la ventana de configuración de plugins. Si la casilla de verificación asociada está activada, el plugin se encuentra funcionando, de lo contrario se ha detectado pero no se ha cargado (probablemente el plugin se ha instalado mientras se ejecutaba la aplicación).

En el caso de los plugins gráficos, la selección debe realizarse manualmente. En una primera instancia, cuando no hay nada configurado, el programa selecciona el primer plugin gráfico que encuentra. Para cambiarlo debe seleccionarse la opción 'activar' desde la ventana de configuración de plugins.

Si se instala un plugin y la aplicación no lo reconoce, quiere decir que no funciona correctamente o no es compatible con la versión del programa. En este caso, si el plugin depende de otro subsistema (ej.: OpenGLRender depende de OpenGL) es probable que aquél no funcione correctamente.

Instalación de plugins

Para instalar un plugin basta con copiar el archivo (descomprimido) en el directorio 'plugins' que se encuentra dentro del directorio base de la aplicación.

Para que funcione el nuevo plugin basta con ejecutar el programa después de instalarlo. Si es un plugin gráfico, es necesario activarlo desde la ventana de configuración de plugins.

Plugins disponibles

Junto con esta versión de DentalPrint se suministran los siguientes plugins:

- **LoadPIX:** Se encarga de cargar datos en formato Pix, utilizado por el escáner PICZA. El modelo se define en este tipo de archivos como un mapa de elevación. La extensión habitual es '.pix'.
-

-
- **LoadDP:** Es el plugin responsable de cargar datos en el formato propio de la aplicación. La extensión habitual es '.dp'.
 - **SaveDP: Graba datos en el formato propio de la aplicación.** La extensión habitual es '.dp'.
 - **OpenGLRender: Es un plugin visualizador.** Necesita disponer de un driver OpenGL correctamente instalado. Soporta todo tipo de aceleración 3D en ventana; de hecho, es muy recomendable tener una placa de vídeo con aceleración 3D compatible con OpenGL para obtener un rendimiento aceptable.
-

Menús

Menú archivo

- **Abrir:** Abre un archivo compatible con la aplicación (según los plugins de entrada).
- **Guardar como:** Guarda toda la información en un archivo (según los plugins de salida instalados).
- **Guardar:** Almacena la información en el archivo de trabajo actual.
- **Cerrar:** Cierra el archivo.
- **Importar:** Añade un modelo desde disco al documento actual. Es la forma habitual para reunir varios modelos en un mismo archivo.
- **Exportar modelo:** Permite seleccionar uno de los modelos del documento y almacenarlo en un archivo aparte (en uno de los formatos compatibles de salida).
- **Configurar impresora:** Configura la impresora. Esta opción es común a casi todos los programas de Windows.
- **Imprimir:** Abre el diálogo de impresión que permite seleccionar los parámetros para imprimir el modelo. En este programa no hay opción de impresión directa.
- **Guardar como mapa de bits:** Abre el diálogo de impresión (modificado) que permite seleccionar los parámetros para imprimir el modelo a una imagen.
- **Salir:** Cierra la aplicación.

Menú edición

- **Editar modelos:** Abre el diálogo de edición de modelos. Permite modificar la información complementaria de cada modelo.
 - **Eliminar modelo:** Abre el diálogo de eliminación de modelos; se descartará el seleccionado (que no podrá recuperarse en adelante).
 - **Rotar el modelo:** Permite rotar el modelo en incrementos de 90°. Esto permite corregir la orientación inicial del modelo.
 - **Regla:** Permite cambiar los parámetros de la regla que se visualiza junto con el modelo.
 - **Mediciones:** Permite realizar mediciones 2D sobre la imagen. Para que éstas sean efectivas, la cámara debe situarse en una de las vistas predefinidas.
-





















Menú ver

- **Actualizar:** Actualiza la vista del documento.
- **Centrar:** Centra el modelo en pantalla sin cambiar la orientación de la cámara.
- **Encuadrar:** Vuelve a establecer la posición inicial, según la vista seleccionada, que proporciona un perfecto encuadre.
- **Movimiento:** Opciones básicas de movimiento; posición, rotación, zoom y zoom por zona.
- **Movimiento con modelo simplificado:** En ordenadores poco potentes y/o con modelos muy complejos, esta opción permite simplificar la información representada a una nube de puntos, durante las operaciones críticas de respuesta (las interactivas, como los movimientos de cámara).
- **Ver superficie:** Muestra la superficie del modelo.
- **Ver contornos:** Muestra los contornos de la huella calculada.
- **Ver huella:** Muestra la huella calculada.
- **Ver cimas:** Muestra las cimas calculadas (en colores diferentes si pertenecen o no al volumen de recorte).
- **Ver cimas principales:** Muestra las cimas seleccionadas para el cálculo del plano de contacto.
- **Transformación del modelo:** Muestra el modelo transformado, esto es, girado para que el plano de contacto sea paralelo al plano base (en el que se incluye la regla).
- **Vistas:** Selecciona una vista predefinida (Superior, izquierda, derecha, frontal, posterior).
- **Modo de visualización:** Selecciona el modo de visualización (alambre, sólido, etc.). Depende del plugin gráfico.
- **Barras de herramientas:** Activa o desactiva las barras de herramientas de la aplicación. Cuando alguna se cierra estando en modo flotante queda desactivada.

Menú opciones

- **Opciones de visualización:** Muestra el diálogo de configuración de visualización.
 - **Plugin gráfico:** Muestra la información sobre el plugin gráfico.
 - **Configuración plugin gráfico:** Configura el plugin gráfico.
 - **Configuración de plugins:** Abre el diálogo de configuración de plugins.
-

Referencia de iconos

-  **Cargar e importar modelos**
 -  **Grabar**
 -  **Imprimir**
 -  **Guardar como mapa de bits**
 -  **Exportar**
 -  **Eliminar modelos**
 -  **Editar modelos**
 -  **Rotaciones del modelo**
 -  **Posición/mover**
 -  **Rotación**
 -  **Zoom**
 -  **Zoom por zona**
 -  **Centrar**
 -  **Encuadrar**
 -  **Vistas/Modo de visualización**
 -  **Transformación del modelo**
 -  **Ver superficie**
 -  **Ver contornos**
 -  **Ver huella**
 -  **Ver cimas**
-

 **Ver cimas principales**

 **Ver planos**

 **Ver/ocultar regla**

 **Unidad métrica**

 **Anchura**

 **Altura**

 **Ajuste automático**

 **Segmentos**

 **Punto de referencia**




 **Medir distancias**

Teclas de acceso rápido

Ctrl+A	Cargar e importar modelos
Ctrl+B	Guardar archivo
Ctrl+G	Guardar como mapa de bits
Ctrl+I	Imprimir
Ctrl+M	Editar modelos
C	Centrar
E	Encuadrar
R	Ver regla
T	Ver transformación
F5	Actualizar vista
F6	Siguiente documento
Shift+F6	Documento anterior
F1	Ayuda

Glosario

A continuación se muestran los términos más relevantes que aparecen en la documentación, así como los significados que se ajustan al uso concreto que se hace de ellos en la aplicación.

Bitmap (mapa de bits)	Un mapa de bits es la representación de una imagen, codificada como una matriz bidimensional formada por pixels. En cada punto de la matriz se especifica un color o nivel de gris. Cuanto mayor sea la resolución del bitmap, más puntos hay, y más detalle tiene la imagen.
Caso de estudio	Un caso de estudio se define como un conjunto de parámetros que permiten la obtención de una huella a partir del modelo dental. Ya que es interesante poder comparar los resultados al cambiar uno ó varios valores en el juego de parámetros, la aplicación permite tener varios casos de estudio para cada modelo.
Cimas	Es una denominación que se le da a los máximos locales de la superficie del modelo.
Cimas principales	Las cimas principales (son 3) son los puntos más altos del modelo (o de la parte limitada por la zona de recorte). Se utilizan para calcular el plano de contacto.
Contorno de huella	Es el contorno de la zona que resulta de intersectar el plano de corte con el modelo de la dentadura. Ver marca de huella.
Escanear	Proceso mediante el cual el escáner digitaliza una imagen (2D) o un objeto (3D).
Escáner	Dispositivo que permite la digitalización de imágenes, en el caso de ser un escáner 2D, u objetos, en el caso de ser en 3D.
Huella dental	La huella dental es la marca que deja la dentadura al incidir sobre una superficie. En DentalPrint se supone que la superficie de contacto es plana.
Marca de huella	Es la zona que resulta de intersectar el plano de corte con el modelo de la dentadura. Se supone que la zona de la mordida queda entre el plano de contacto y el de corte, sin embargo, la huella comprende la parte del modelo que queda por encima del plano de corte.
Material	En programas de edición 3D se considera un material como la aproximación más o menos simplificada de las características visuales que ofrecería el material equivalente en el mundo real. En DentalPrint los materiales son muy simples y

contienen muy pocos parámetros.

Máximo global	Es el punto máximo de toda la superficie del modelo. Por extensión, cuando se buscan los puntos más altos (por ejemplo, las cimas principales), se los consideran por extensión como máximos globales, aún cuando por definición sólo puede haber un máximo global.
Máximo local	Un máximo local en una superficie es el punto más alto de entre todos los incluidos dentro de un entorno determinado.
Modelo	En DentalPrint, por modelo se entiende la representación 3D de una dentadura (realmente de su molde digitalizado). Por extensión, modelo y dentadura se consideran como lo mismo. En programas de edición y tratamiento de gráficos 3D, a cada objeto se le suele llamar también sólido o modelo.
Nivel de detalle	El nivel de detalle de un modelo u objeto 3D indica la cantidad de información que se utiliza para representarlo. Cuanto mayor sea el detalle, más datos se utilizan. Para representar una dentadura de forma rápida es necesario reducir el nivel de detalle, siempre y cuando el ordenador no tenga la capacidad de cómputo necesaria.
Nombre del modelo	Cada dentadura puede identificarse mediante una cadena de caracteres. Esta información es interna y no tiene nada que ver con el nombre del fichero donde se encuentra el modelo.
OpenGL	Software de procesamiento de gráficos 3D en tiempo real diseñado por Silicon Graphics Inc. Existen varias implementaciones, así como gran cantidad de hardware compatible (tarjetas aceleradoras 3D). Para más información visitar la página web de OpenGL.
Plano base	Es el plano donde se sitúan la regla y el modelo. Sería equivalente, en cierto modo, a la superficie de una mesa de trabajo.
Plano de contacto	Es el plano sobre el cual se simula la mordida utilizando el molde de la dentadura. Si, por ejemplo, se coloca el molde real (el que se escanea para obtener el computerizado ó virtual) sobre una mesa, de forma que los dientes contacten con algunas de sus cúspides sobre la superficie, el plano que forma la mesa sería equivalente al que se calcula con la aplicación, y que recibe el nombre de plano de contacto. La diferencia es que en la aplicación el molde se visualiza sobre su base, con las piezas dentales hacia arriba, quedando por tanto el plano en la parte superior.

Plano de corte	El plano de corte es paralelo al plano de contacto, y se sitúa respecto de este último a una distancia determinada por la altura de corte. Sirve para limitar la profundidad de la huella.
Plano de la cámara	Es el plano donde se proyecta la información 3D para generar la imagen que aparece en pantalla. En programas de edición 3D, la cámara es una analogía de una cámara de fotos, cine o TV de la realidad, y se emplea para situar el plano de proyección y establecer otros parámetros, como el ángulo de visión (que no se utiliza en este programa). Si se pudiera colocar la pantalla del ordenador dentro del entorno virtual 3D, el plano de la cámara coincidiría exactamente con el plano que ocuparía la superficie de la pantalla.
Plano superior	Es el plano paralelo al de contacto que incluye al punto más alto del modelo. El punto más alto del modelo es equivalente al máximo global (la más alta de las cimas principales) sólo cuando la zona de recorte no está definida.
Plugin	Es un módulo software externo que se asocia al programa proporcionándole funcionalidad extra. En Windows, los plugins suelen ser archivos de biblioteca DLL que se instalan en el directorio del sistema o de la aplicación. Mediante la utilización de plugins siempre pueden añadirse prestaciones al programa sin tener que actualizarlo.
Proyección paralela	Cuando se pasa información 3D a 2D para representarla en pantalla, es necesario hacer una proyección. La proyección paralela hace que los objetos no se reduzcan en función de la distancia, que es lo que ocurre con la proyección en perspectiva. Este tipo de representación es muy útil en la industria para trabajar con diseños 3D.
Travelling	Movimiento de una cámara real o virtual de forma lateral o en profundidad (acercándose al objetivo). Es una técnica muy básica de cámara empleada en el cine.
Volumen de recorte	El volumen de recorte define el espacio 3D en el que se seleccionan máximos locales para el cálculo de cimas. Ver también zona de recorte.
Zona de recorte	Sirve para limitar el área de búsqueda de los máximos locales y descartar la parte del modelo que no interesa en el proceso de cálculo de cimas. La zona de recorte y el volumen de recorte hacen referencia a lo mismo; la diferencia es conceptual: si se considera la vista superior de la dentadura en la ventana de definición de la zona de recorte, ésta será un área 2D (zona), mientras que su extrusión

para cubrir el espacio (3D) que ocupa el modelo, será un volumen. Cuando la zona de recorte no está definida, se considera toda la superficie en los cálculos.

Enlaces

Universidad de Granada	http://www.ugr.es
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos	http://lsi.ugr.es
Departamento de Medicina Legal y Toxicología	http://www.ugr.es/~dpto_mlp/
Microsoft	http://www.microsoft.com
OpenGL	http://www.opengl.org
Aurora Valenzuela Garach	agarach@ugr.es
Stella Martín de las Heras	stella@ugr.es
Juan Carlos Torres Cantero	jctorres@ugr.es
Carlos Javier Ogayar Anguita	cogayar@terra.es

