

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA
Departamento de Oftalmología y Otorrinolaringología



TESIS DOCTORAL

**Análisis de la cuantificación tridimensional de las vías
lagrimales en tomografía computarizada**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Lucía Jáñez García

Directores

José Manuel Ramírez Sebastián
Nicolás Toledano Fernández
Luis Jáñez Escalada

Madrid, 2017

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN OFTALMOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE OFTALMOLOGÍA Y OTORRINOLARINGOLOGÍA



**ANÁLISIS DE LA CUANTIFICACIÓN TRIDIMENSIONAL DE LAS VÍAS
LAGRIMALES EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA**

LUCÍA JÁÑEZ GARCÍA

DIRECTORES DE LA TESIS DOCTORAL

PROF. JOSÉ MANUEL RAMÍREZ SEBASTIÁN

DR. NICOLÁS TOLEDANO FERNÁNDEZ

PROF. LUIS JÁÑEZ ESCALADA

Madrid, 2015

Madrid, 30 de septiembre de 2015

D. José Manuel Ramírez Sebastián, catedrático de Oftalmología de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid y Subdirector del Instituto de Investigaciones Oftalmológicas Ramón Castroviejo. Como director de la Tesis Doctoral titulada "Análisis de la cuantificación tridimensional de las vías lagrimales en tomografía computarizada", realizada por D^a Lucía Jáñez García; considera que:

Revisado el trabajo de investigación, la doctoranda posee un amplio conocimiento del estado actual de su tema de investigación como demuestra en la introducción del mismo. La hipótesis del trabajo planteada como que la mayoría de los estudios realizados en TC presentan mediciones bidimensionales y no en todas las secciones del conducto nasolagrimal, así como que éstas pueden contener errores al realizarse manualmente en alguno de sus pasos y por tanto esta situación solo podría ser resuelta, si las mediciones fueran llevadas a cabo de forma automatizada, lo que motiva el desarrollo de una nueva vía de investigación completamente original y de innegable interés, científico, técnico y clínico.

Los objetivos planificados, uno general que intenta demostrar la viabilidad de la segmentación automatizada del canal nasolagrimal en TC y otros secundarios en los que se plantea la obtención de un modelo matemático del canal así como la caracterización tridimensional de la estructura, para facilitar su medición automatizada, dan lugar a un proyecto bien planificado y metodológicamente correcto en todos sus aspectos.

Los resultados del estudio, ponen de manifiesto la validación de la segmentación automática y de los cinco modelos analizados del CNLO, el modelo cúbico resulta ser el más ajustado a los datos y el que proporciona más sensibilidad si se compara con los otros existentes actualmente en uso.

La discusión de los resultados es amplia y pone de manifiesto el valor de los nuevos datos que se concretan en siete conclusiones, concisas, bien definidas y acordes con los objetivos previamente planteados.

La bibliografía consultada es extensa y actual. Por todo ello, considero que se trata de un trabajo científico original de gran valor que abre camino a nuevas vías de investigación.



Fdo. José Manuel Ramírez Sebastián

La originalidad e importancia del presente trabajo se basa en que ha conseguido desarrollar un nuevo sistema de cuantificación automatizada de las características tridimensionales del conducto nasolagrimal, en base a las mediciones realizadas con TAC de senos, base de cráneo, mastoides, conducto auditivo interno y cerebro. Mediante un novedoso método de segmentación automática de 1115 cortes, no sólo se comparó con la segmentación manual de un radiólogo experto, sino que se estableció que el modelo de medición cúbico era el de mayor sensibilidad. Por otro lado, se compararon un grupo control con otro de pacientes con obstrucción de la porción baja de la vía lagrimal, encontrándose diferencias en cuanto a las áreas seccionales medias y mínimas del conducto nasolagrimal. En definitiva, con el presente trabajo se ha validado un sistema de medición polinómico cúbico, capaz de caracterizar la estructura tridimensional del canal, demostrándose una mayor sensibilidad que los medios axiales utilizados hasta la actualidad.

Madrid, a 29 de Septiembre de 2015

A handwritten signature in blue ink, consisting of a vertical line on the left and a large, sweeping horizontal stroke that loops back to the left.

Fdo.: Nicolás Toledano Fernández

D. Luis Jáñez Escalada, catedrático de Psicología Matemática en el Dpto. de Metodología de las Ciencias del Comportamiento y Director del Dpto. de Imagen y Telemedicina del Instituto de Tecnología del Conocimiento de la Universidad Complutense de Madrid, como director de la tesis doctoral titulada ANÁLISIS DE LA CUANTIFICACIÓN TRIDIMENSIONAL DE LAS VÍAS LAGRIMALES EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA realizada por Dña. Lucía Jáñez García, expone a continuación su valoración de la misma.

La revisión bibliográfica que recoge es extensa y detallada, a la vez que compleja, dada la heterogeneidad en los métodos de medición y en los resultados disponibles.

Los objetivos planteados responden directamente a la necesidad de encontrar métodos más fiables que los manuales al uso.

El primer objetivo, encontrar un procedimiento para segmentar automáticamente el canal en la tomografía, resulta justificado por ser ésta la base para poder eliminar los errores derivados de la medición manual. El resultado obtenido demuestra que se ha alcanzado plenamente en la tesis, pues las mediciones incluidas en este trabajo son las primeras en haber sido obtenidas de manera automática y sin ninguna intervención manual a partir de tomografía computarizada en el campo estudiado.

El objetivo de obtener modelos matemáticos de los conductos lagrimales, también ha conducido a un resultado nuevo: el eje del canal nasolagrimal puede ser representado con gran fidelidad por un polinomio cúbico; su ajuste a los datos es poco frecuente por lo alto que se ha demostrado.

Los nuevos métodos de medición para las variables tradicionalmente evaluadas también han demostrado, que además de ser plenamente objetivos, llegan incluso a mostrar mejores propiedades que las de los métodos en uso. Además se ha abierto el camino para medir variables nuevas que podrían dar una información más precisa y directa sobre la estructura de los conductos lagrimales, sin tener que recurrir a aproximaciones.

La metodología utilizada ha sido adecuada, tanto en el análisis estadístico de los datos como en el análisis de las imágenes tomográficas.

Las consideraciones anteriores llevan a considerar que el tema abordado es muy relevante, el trabajo ha sido extenso, profundo y metodológicamente correcto, y los resultados obtenidos son relevantes e innovadores. Ello conduce a una valoración muy positiva de la tesis doctoral.

Madrid, a 29 de septiembre de 2015



Luis Jáñez Escalada

*“Pour examiner la vérité il est besoin, une fois en sa vie,
de mettre toutes choses en doute autant qu’il se peut”*

René Descartes

AGRADECIMIENTOS

A Javi, por su apoyo incondicional, por sacar lo mejor de mí, por quererme siempre.

A Sergio y a Blanca, por vuestra ternura, por vuestra mirada, por hacerme tan feliz.

Sois parte de mí.

A mi padre, por su ejemplo, por su paciencia infinita, por su inestimable ayuda.

A mi madre, por su fortaleza, por haberlo dado todo, por haberme guiado, y por haberme enseñado tanto, y tan importante.

A Encarna y a Lázaro, por su ayuda, por su cariño.

A Javier, a Diana y a Luna, por sus necesarias frases de ánimo, aun en la distancia.

A José Manuel, por su implicación, por sus ánimos, por su rigor, por conseguir acelerar mi ritmo de trabajo.

A Nico, por su profesionalidad, por su ayuda en los obstáculos, por confiar en mí.

A María, por su amabilidad, por su cooperación.

A Isabel, por escucharme, por creer en mí.

Y a todos los que de un modo u otro han colaborado en la realización de esta tesis:

Nacho, Araceli, Rafa, Enrique, Fede, Juanjo, Vicky,...

GRACIAS

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

2-D: bidimensional

3-D: tridimensional

CNL: canal nasolagrimal

CNLO: canal nasolagrimal óseo

CBCT (cone-beam computed tomography): tomografía computarizada de haz cónico

DCG: dacriocistografía

DCG-CBCT: dacriocistografía por tomografía computarizada de haz cónico

DCG-TC: dacriocistografía por tomografía computarizada

DCR: dacriocistorrinostomía

DS-DCG (digital subtraction dacryocystography): dacriocistografía por sustracción digital

FNA (frontonasal angle): ángulo frontonasal

FZS (fronto-zigomatic sutures): suturas frontozigomáticas

MSCT (multislice computed tomography): tomografía computarizada multicorte

NLC (nasolacrimal canal): canal nasolagrimal

PANDO (Primary Acquired Nasolacrimal Duct Obstruction): obstrucción primaria adquirida del conducto nasolagrimal

RDI: región de interés

RM: resonancia magnética

SPECT: single photon emission computed tomography

TAC: tomografía axial computarizada

TC: tomografía computarizada

UH: unidades Hounsfield

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	7
3. INTRODUCCIÓN.....	13
3.1. ANATOMÍA E HISTOLOGÍA DE LA VÍA LAGRIMAL.....	13
3.2. PATOLOGÍA DE LA VÍA LAGRIMAL.....	22
3.2.2. Fisiopatología.....	23
3.2.3. Diagnóstico por imagen en la patología de la vía lagrimal.....	33
3.2.3.1. Radiografía convencional.....	34
3.2.3.2. Tomografía computarizada.....	35
3.2.3.2.1. Fundamentos de la tomografía computarizada.....	35
3.2.3.2.2. Anatomía del sistema de drenaje lagrimal en TC.....	37
3.2.3.2.3. Patología de la vía lagrimal en tomografía computarizada.....	41
3.2.3.2.4. Tomografía computarizada combinada con dacriocistografía.....	43
3.3. ANTECEDENTES DE MEDICIONES DEL CNLO.....	44
3.3.1. Mediciones realizadas en cadáver.....	44
3.3.2. Mediciones realizadas en radiografía convencional.....	52
3.3.3. Mediciones realizadas en tomografía computarizada.....	57
4. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.....	91
4.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	91
4.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	92
4.3. OBJETIVOS DE LA TESIS.....	92
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	95
5.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	95
5.2. APROBACIÓN DEL COMITÉ DE ÉTICA.....	95

5.3.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	96
5.4.	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	97
5.5.	SELECCIÓN DE CASOS Y RECOGIDA DE DATOS.....	98
5.6.	OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES	99
5.6.1.	Identificación de los cortes que contienen el canal nasolagrimal.....	100
5.6.2.	Delimitación de la región de interés (RDI)	101
5.6.3.	Segmentación automática del canal en cada corte.....	102
5.6.4.	Análisis de la forma de la sección axial del canal resultante de la segmentación automática.....	103
5.7.	MODELADO DEL CANAL NASOLAGRIMAL.....	105
5.7.1.	Modelos del eje del canal	105
5.7.1.1.	Ejes de interpolación.	106
5.7.1.2.	Ejes polinómicos	106
5.7.2.	Modelos del canal	108
5.7.2.1.	Modelo sólido directo	108
5.7.2.2.	Modelo de la superficie que delimita el conducto	108
5.8.	VARIABLES Y SUS MÉTODOS DE MEDICIÓN.....	110
5.8.1.	Métodos de medición de la longitud del canal	110
5.8.2.	Métodos de medición del área seccional del canal.....	111
5.8.2.1.	Área seccional axial	111
5.8.2.2.	Área seccional ortogonal.....	112
5.8.3.	Método para medir el volumen del canal.....	113
5.9.	HERRAMIENTAS	115
5.10.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS.....	116
5.10.1.	Validación de la segmentación automática.	116
5.10.2.	Comparación de los distintos modelos del eje del canal.	117

5.10.3. Comparación de los diferentes métodos de medición	117
5.10.4. Comparación de los grupos de controles y obstruidos.....	118
6. RESULTADOS.....	119
6.1. RESULTADOS DE LA SEGMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FORMA.....	119
6.2. VALIDEZ DE LA SEGMENTACIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL NASOLAGRIMAL EN CORTES DE TC	121
6.3. EL MODELO POLINÓMICO PARA EL EJE DEL CANAL NASOLAGRIMAL	124
6.4. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DE LA LONGITUD, EL ÁREA SECCIONAL Y EL VOLUMEN DEL CANAL NASOLAGRIMAL ..	129
6.4.1. Métodos de medida de la longitud del canal nasolagrimal.....	129
6.4.2. Métodos de medida del área seccional del canal nasolagrimal.....	132
6.4.2.1. Métodos de medida del área seccional media	132
6.4.2.2. Métodos de medida del área seccional mínima	134
6.4.3. Métodos de medida del volumen del canal nasolagrimal	135
6.5. HALLAZGOS CLÍNICOS CON LOS NUEVOS MÉTODOS DE MEDIDA ...	136
6.5.1. Volumen del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles	140
6.5.2. Longitud del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles.....	142
6.5.3. Área seccional media del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles.....	143
6.5.4. Área seccional mínima del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles	146
7. DISCUSIÓN.....	151
7.1. ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES DE LOS TRABAJOS PREVIOS	151
7.1.1. Limitaciones en el diseño del estudio	151
7.1.1.1. Limitaciones por ser estudios retrospectivos.....	151
7.1.1.2. Limitaciones por la selección de los sujetos.....	152
7.1.1.2.1. <i>Utilización de TC de senos en pacientes sin obstrucción</i>	<i>153</i>
7.1.1.2.2. <i>Limitaciones por edad, sexo o raza de los sujetos.....</i>	<i>155</i>
7.1.1.2.3. <i>Limitaciones derivadas de los criterios de inclusión y exclusión.....</i>	<i>156</i>

7.1.1.3. Limitaciones por el tamaño muestral	157
7.1.2. Limitaciones por la metodología de medición	158
7.1.2.1. Errores derivados de las mediciones manuales	158
7.1.2.2. Errores por realizar las mediciones en cortes axiales	160
7.1.2.3. Limitaciones derivadas de la tecnología de la TC	164
7.1.2.4. Errores derivados de la determinación de la distancia o superficie a medir	165
7.1.2.4.1. <i>Imprecisión en el marcado de límites anatómicos</i>	166
7.1.2.4.2. <i>Errores en la aproximación de las áreas seccionales</i>	169
7.1.2.5. Aprovechamiento limitado de la información proporcionada por la TC	170
7.1.3. Errores en el análisis estadístico y en la interpretación de resultados	171
7.2. MEDICIONES DEL CONDUCTO NASOLAGRIMAL ÓSEO EN LOS DISTINTOS TRABAJOS	174
7.2.1. Diámetro anteroposterior	174
7.2.2. Diámetro transverso	176
7.2.3. Diámetro coronal	177
7.2.4. Diámetro mínimo	178
7.2.5. Diámetro máximo	181
7.2.6. Longitud del canal	181
7.2.7. Área seccional	182
7.2.8. Área seccional mínima	185
7.2.9. Localización de la parte más estrecha del canal nasolagrimal óseo	185
7.2.10. Volumen del canal nasolagrimal	187
7.2.11. Ángulo del canal nasolagrimal	188
7.2.12. Espesor de la pared interna del conducto nasolagrimal	189
7.3. DIFERENCIAS EN EL CANAL NASOLAGRIMAL ÓSEO	190
7.3.1. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo entre sexos	190

7.3.1.1. Diferencias en los diámetros	190
7.3.1.2. Diferencias en la longitud del canal	192
7.3.1.3. Diferencias en las áreas del canal	192
7.3.1.4. Diferencias en el volumen del canal	192
7.3.1.5. Diferencias en otros parámetros	193
7.3.2. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo en función de la edad.....	193
7.3.2.1. Diferencias en los diámetros del canal	194
7.3.2.2. Diferencias en la longitud del canal	196
7.3.2.3. Diferencias en las áreas del canal	196
7.3.2.4. Diferencias en el volumen del canal.....	197
7.3.2.5. Diferencias en otros parámetros	197
7.3.3. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo entre grupos raciales	197
7.3.3.1. Diferencias en los diámetros del canal	197
7.3.3.2. Diferencias en la longitud del canal	199
7.3.3.3. Diferencias en el área del canal	199
7.3.3.4. Diferencias en el volumen del canal.....	199
7.3.4. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo en función de la presencia o ausencia de patología obstructiva de la vía lagrimal	200
7.3.4.1. Diferencias en los diámetros del canal	200
7.3.4.2. Diferencias en el área del canal.....	201
7.3.4.3. Diferencias en el volumen del canal.....	201
7.3.5. Diferencias en el conducto nasolagrimal óseo entre los lados derecho e izquierdo	202
7.3.6. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo en función del pronóstico tras la cirugía	203
7.4. ANÁLISIS DE NUESTROS RESULTADOS Y COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS DE TRABAJOS PREVIOS	203
7.4.1. Dificultades en la aplicación de las técnicas de visión artificial	203
7.4.2. Metodología de medición	205

7.4.3. Herramientas	205
7.4.4. Asociación entre las dimensiones del canal y la patología obstructiva	207
7.4.5. Relación de la anatomía del canal nasolagrimal con la edad	212
7.4.6. Correlación entre los parámetros del sistema de drenaje lagrimal y la antropometría craneal	215
7.4.7. Etiología multifactorial de la PANDO	219
7.4.8. Congruencia de nuestros resultados con los de trabajos anteriores	221
7.4.8.1. Longitud del canal nasolagrimal.....	222
7.4.8.2. Área seccional media del canal	223
7.4.8.3. Área seccional mínima del canal.....	224
7.4.8.4. Volumen del canal	226
7.5. APORTACIONES DEL TRABAJO.....	228
7.5.1. Aportaciones técnicas	228
7.5.2. Aportaciones científicas	229
7.5.3. Aportaciones clínicas	230
7.6. LIMITACIONES DE NUESTRO TRABAJO	232
7.7. NUEVAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN	234
8. CONCLUSIONES.....	237
9. BIBLIOGRAFÍA.....	239
10. ANEXO: OTRAS APORTACIONES.....	255

1. RESUMEN

INTRODUCCIÓN

La descripción de la anatomía del sistema de drenaje lagrimal en la literatura es poco precisa. Se han realizado mediciones del canal nasolagrimal óseo (CNLO) en cadáver, radiografía y tomografía computarizada (TC).

JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Hasta ahora, todas las mediciones realizadas sobre imágenes tienen al menos un paso manual, lo que inevitablemente degrada la fiabilidad de los datos obtenidos. La mayoría de las mediciones realizadas en TC son bidimensionales y únicamente en unos pocos niveles del canal; y las que son tridimensionales presentan algún paso manual. Se han publicado resultados contradictorios sobre la relación entre las dimensiones en TC del canal nasolagrimal óseo y la patología obstructiva del sistema de drenaje lagrimal, que obligan a revisar la calidad de las mediciones en las que se basan.

Objetivos:

- 1.** Demostrar la viabilidad de una cuantificación automatizada y objetiva de las características tridimensionales del canal nasolagrimal en TC.
- 2.** Obtener un modelo matemático del canal nasolagrimal que pueda generarse de manera objetiva para cada canal y del que puedan deducirse las propiedades

tridimensionales del canal y a la vez sirva de base para definir nuevas variables y nuevos métodos de medición.

3. Identificar variables e índices que permitan describir la estructura tridimensional del canal y establecer los métodos para medirlos de forma automatizada.

4. Evaluar la utilidad de las nuevas herramientas para el conocimiento de la estructura 3-D de los CNLO, y su utilidad clínica, particularmente en las patologías obstructivas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión retrospectiva, incluyendo TC de senos de pacientes con obstrucción de la vía lagrimal, sometidos a dacriocistorrinostomía (DCR) desde el 1 de enero de 2008 al 31 de mayo de 2014. Los controles se seleccionaron entre los TC de base de cráneo, mastoides y conducto auditivo interno, y cerebro, realizados en ese período de tiempo, con espesor de corte $<0,625$ mm. Tanto los pacientes como los controles tenían sus TC en formato DICOM, con grosor de corte $\leq 1,25$ mm y tamaño de píxel $\leq 0,5$ mm.

Se incluyeron en la muestra 34 sujetos, 9 hombres y 25 mujeres, edad media 56,71 años, 16 en el grupo de pacientes y 18 en el de controles.

No se seleccionaron TC de senos para el grupo control. Se excluyeron de ambos grupos los sujetos con traumatismos, cirugías, infecciones, inflamaciones, neoplasias, malformaciones o fracturas previas que hubieran podido alterar de algún modo el conducto nasolagrimal óseo.

Se realizó la segmentación automática de 1.115 cortes, correspondientes a los 68 canales de los 34 sujetos de la muestra; además, en una submuestra de 20 cortes elegidos al azar también se segmentó manualmente el CNLO por un radiólogo experto para poner a prueba la validez de la segmentación automática.

La comparación de los modelos polinómicos de los ejes del canal, obtenidos por ajuste de mínimos cuadrados a los centroides del canal en los sucesivos cortes, se realizó mediante ANOVA para un diseño factorial mixto $3 \times 2 \times 2 \times 2$, con medidas repetidas en los tres primeros factores: modelo (polinomio de grados 2, 3 y 4), lateralidad (canal derecho o izquierdo) y coordenadas (sagital, coronal), y con medidas independientes en el factor grupo (pacientes, controles).

Los diferentes métodos de medición de las variables se compararon utilizando ANOVA para un diseño factorial $k \times 2$ (k métodos, lateralidad) con medidas repetidas en ambos.

Los grupos de control y pacientes se compararon en cuanto a volumen, longitud, área seccional media y área seccional mínima del canal, incluyendo como covariables edad, sexo, lateralidad y distancia entre forámenes cigomático-orbitarios, para controlar el efecto que puedan tener sobre las variables dependientes.

RESULTADOS

En la validación de la segmentación automática, se halló una elevada coincidencia del programa con el radiólogo: Pearson= 0,96, Dice=0,82, Jaccard=0,71 y coseno=0,86.

Entre los cinco modelos estudiados para el eje del CNLO (axial, extremo-extremo, poligonal, y polinomios de 2º, 3º y 4º grado), el modelo cúbico ha mostrado el mejor equilibrio entre parsimonia y buen ajuste a los datos (promedio $r^2 = 0,97$).

Los métodos de medición de las diferentes variables basados en el modelo cúbico del eje del CNL han mostrado mejor sensibilidad que los métodos en uso; en nuestra muestra hallamos que obtener el área seccional del canal nasolagrimal directamente de los cortes axiales sobreestima el valor real en un 65%.

Al comparar los grupos de pacientes y controles, las mediciones se han realizado con los nuevos métodos aquí propuestos y se ha encontrado que las áreas seccionales media y mínima del CNLO son significativamente mayores en los pacientes que en el grupo control (15,09 mm² y 10,06 mm² versus 11,43 mm² y 7,40 mm², respectivamente). El volumen del CNLO es 27,65 mm³ mayor en los pacientes que en el grupo control, aunque esta diferencia no resultó estadísticamente significativa. Tampoco fue significativa la diferencia de 0,45 mm en que la longitud media de los controles supera a la de los pacientes. La distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios es significativamente mayor en los hombres que en las mujeres y se ha hallado una correlación intensa y significativa entre dicha distancia y sexo.

CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado la viabilidad de la segmentación automatizada del CNLO en TC, lo cual proporciona precisión, objetividad, velocidad y menor coste en las mediciones.
2. Un polinomio cúbico describe con precisión el eje del canal nasolagrimal .

3. Se han definido y validado nuevos métodos más fiables que los convencionales para medir el volumen, obtener el área ortogonal por proyección de la axial sobre el plano ortogonal al eje del canal, y calcular el área ortogonal al eje, junto con las magnitudes relacionadas con ella.
4. Se ha desarrollado un método capaz de caracterizar la estructura tridimensional del canal, midiéndose de forma automatizada la longitud, las áreas seccionales media y mínima y el volumen.
5. Demostramos la relevancia de las nuevas herramientas en la clínica, especialmente en patologías obstructivas.
6. Las áreas seccionales medias y mínimas del canal nasolagrimal han resultado significativamente mayores en los pacientes con obstrucción que en el grupo control.
7. Nuestros resultados invitan a abandonar el método axial para evaluar las áreas seccionales del CNLO, y a utilizar en su lugar preferentemente el modelo polinómico cúbico.

2. ABSTRACT

Anatomical descriptions of the lacrimal drainage system in the literature have been largely inaccurate. Such descriptions have been based on measurements taken of the bony nasolacrimal canal (BNLC) in cadaver, radiography and computed tomography (CT) studies.

JUSTIFICATION, HYPOTHESES AND OBJECTIVES

The procedures used so far to make measurements on images including 3-D CT have involved a manual step, which reduces the reliability of the data obtained. Most CT measurements are 2-D and only taken at a few levels of the canal. The relationship between the dimensions of the healthy and obstructed BNLC has also been disputed determining a need to review the quality of measurements.

Objectives:

1. To test the feasibility of an automated and objective method of quantifying the 3-D features of the BNLC on CT images.
2. To obtain a mathematical model of the BNLC that can be generated objectively and is able to predict the canal's 3-D properties.
3. To use this model to identify the variables best describing the 3-D structure of the canal and establish methods of measuring these variables in an automated way.

4. To assess the efficacy of new tools for understanding the 3-D structure of the BNLC and their usefulness in clinical practice, especially for obstructive disorders.

MATERIALS AND METHODS

A retrospective review was performed of the sinus CT images of patients with tear duct obstruction undergoing dacryocystorhinostomy (DCR) from January 1, 2008 to May 31, 2014. Control images were selected among CT scans obtained during this period of the skull base, mastoid and internal auditory canal and brain of slice thickness <0.625 mm. Both patient and control CT scans were in DICOM format (slice thickness ≤ 1.25 mm, pixel size ≤ 0.5 mm).

The study population included 34 subjects, 9 men and 25 women, of mean age 56.71 years (16 patients, 18 controls).

No sinus CT scans were selected for the control group. Exclusion criteria for both patient and control CT scans were trauma, surgery, infection, inflammation, tumors, malformations or previous fractures that could have altered the BNLC in any way.

Automatic segmentation was performed on 1,115 slices corresponding to the 68 right and left canals of the 34 participants. In a random subsample of 20 slices, the BNLC was also manually delimited by a skilled radiologist to test the validity of automatic segmentation. Agreement between the manual and automatic segmentation procedures was assessed through correlation and similarity coefficients of Pearson, Jaccard, Dice and cosine.

Polynomial models of canal axes were constructed by least squares fitting of polynomial functions to the centroids of canals segmented in successive slices. These models were compared using ANOVA for a mixed factorial design 3x2x2x2 with repeated measures in the first three factors: model (polynomial models of 2, 3 and 4 degrees), laterality (right, left canal) and coordinates (sagittal, coronal), and independent measurements in the factor group (patient, control).

The different methods of measuring variables were compared using ANOVA for a kx2 factorial design (k methods, laterality) with repeated measures on both factors.

Control and patient groups were compared in terms of volume, length, mean sectional area and minimum sectional area of the BNLC, including as covariates age, sex, laterality and zygomatic-orbital foramina distance to correct for their possible effects on the dependent variables.

RESULTS

High agreement was detected between the automatic segmentation and radiologist procedures (Pearson = 0.96, Dice = 0.82, Jaccard = 0.71 and cosine = 0.86).

Among the five models constructed to represent the BNLC axis (axial, end-to-end, polygonal, and 2nd, 3rd and 4th degree polynomials), the cubic polynomial model showed best balance between parsimony and good data fitting (average $r^2 = 0.97$).

Methods based on a cubic axis model have shown better sensitivity than other methods in use to analyse the BNLC. In our sample, we found that obtaining the

sectional area of the nasolacrimal canal directly on axial slices overestimates their real value by 65%.

Measurements made with the new methods proposed here indicated significantly greater average and minimum BNLC sectional areas in patients than controls (15.09 mm² and 10.06 mm² versus 11.43 mm² and 7.40 mm², respectively). BNLC volume was 27.65 mm³ higher and average canal length was 0.45 mm longer in controls than patients, though differences were not significant. Zygomatic-orbital foramina distance was significantly greater in men than women and was strongly correlated with sex.

CONCLUSIONS

1. 3D reconstruction of the BNLC through automated segmentation of CT slices provides a feasible, rapid and cost effective method of obtaining anatomical measurements.
2. The BNLC axis can be accurately described using a cubic polynomial model.
3. By defining and validating new measurement methods for variables already in use, several procedures were identified as more efficient than conventional methods: volume measuring methods, obtaining the orthogonal area by projection of the axial on the plane orthogonal to the canal axis and calculating the area orthogonal to the axis and other related variables.
4. The 3-D structure of the canal was characterized in terms of its length, average sectional area, minimum sectional area and volume.

5. Our results indicate the usefulness of new tools to improve our understanding of the 3-D structure of the nasolacrimal canal and suggest their possible clinical applications.
6. Average and minimum cross sectional areas of the canal were significantly greater in patients with tear duct obstruction than in controls.
7. Based on these findings, we recommend leaving aside the axial method of evaluating sectional areas of the bony nasolacrimal canal and switching to the use of methods based on models of the canal axis, preferably the cubic model.

3. INTRODUCCIÓN

La tomografía computarizada (TC) es la técnica más efectiva para definir la extensión y la naturaleza de la patología de la cavidad nasal, los senos paranasales y la órbita. Los relativamente simples medios clínicos para el diagnóstico de las enfermedades del sistema de drenaje lagrimal obvian las pruebas de imagen en la mayoría de los casos de obstrucción de la vía lagrimal. Probablemente por esto, muchas descripciones radioanatómicas y patológicas de la órbita, la nariz y el macizo óseo facial, pasan por encima o ignoran la anatomía de la órbita inferomedial (Russell EJ, 1985).

3.1. ANATOMÍA E HISTOLOGÍA DE LA VÍA LAGRIMAL

La descripción de la anatomía del aparato lagrimal es vaga en libros de texto y en la literatura médica, y los detalles de la morfología básica del saco lagrimal y conducto nasolagrimal se describen de forma superficial.

Los orificios de los puntos lagrimales superior e inferior marcan el comienzo de los canalículos. Los canalículos superior e inferior atraviesan la fascia lagrimal y se unen para formar el canalículo común (seno de Maier) (Russell EJ, 1985), que se abre al saco lagrimal.

Los puntos lagrimales tienen un diámetro de alrededor de 2 mm. Los canalículos tienen una longitud de unos 10-12 mm y un diámetro de unos 0,3-1 mm. La parte inicial de cada canalículo es vertical durante unos 2 mm para a continuación

dirigirse hacia medial en un ángulo de 90° (Weber AL, 1996). En el 10% los canalículos superior e inferior se conectan con el saco lagrimal de forma independiente. El seno de Maier se une con la pared lateral del saco lagrimal a nivel de la unión entre los tercios superior y medio. En esta entrada se encuentra un pliegue de mucosa llamada válvula de Rosenmüller (Schatz CS, 1984). Algunos autores cuestionan la existencia de esta válvula, argumentando que es una simple angulación de aproximadamente 58° formada por la unión entre el canalículo común y el saco lagrimal (Linberg JV, 1988).

El saco lagrimal es un tejido membranoso situado en la fosa lagrimal, que es una depresión ósea en la pared orbitaria medial que queda delimitada anteriormente por la cresta lagrimal anterior del proceso frontal del hueso maxilar, y posteriormente por la cresta lagrimal posterior, una elevación lineal en el hueso lagrimal (Russell EJ, 1985). En la pared medial de la órbita, la fosa lagrimal se proyecta medial y posterior con respecto al canal nasolagrimal (Fisch AE, 1976). El saco lagrimal, el conducto nasolagrimal y el meato nasal inferior constituyen el sistema de drenaje inferior de las lágrimas (Russell EJ, 1985).

El saco lagrimal está rodeado por la fascia lagrimal, que es parte del periostio orbitario (periórbita). A nivel de la cresta lagrimal posterior, la periórbita se divide en dos capas que envuelven el saco lagrimal. Inferiormente, el conducto nasolagrimal está también rodeado por esta fascia, que se continúa con el periostio adyacente hasta el meato inferior. El conducto nasolagrimal representa la continuación inferior del saco lagrimal, y está parcialmente separado del saco por unos pliegues de la mucosa (válvulas de Krause). El conducto nasolagrimal

consta de dos partes: intraósea y membranosa. La porción intraósea recorre el canal nasolagrimal óseo, un surco en la maxila que desciende en sentido posterior (Russell EJ, 1985), (Rouvière H, 1999). El conducto blando ocupa solo una pequeña parte del canal nasolagrimal óseo, dado que habitualmente está colapsado. La parte membranosa o meatal mide 5 mm de longitud y discurre bajo la mucosa nasal, antes de desembocar bajo el cornete inferior a través de una apertura en forma de hendidura (Russell EJ, 1985).

En 1977, Ruiz-Barranco et al observaron un brusco descenso de la anchura del saco lagrimal en hombres entre los 25 y los 55 años, aumentando a partir de entonces; en cambio en mujeres hay un aumento entre los 25 y los 35 años, para descender bruscamente hasta los 55 años y comenzar de nuevo a aumentar. También observaron que la angulación canalicular tiende a aumentar con la edad en hombres y a disminuir en mujeres.

El surco lagrimal es la parte más ancha de la vía lagrimal y mide unos 4-8 mm en el diámetro anteroposterior, 1-2 mm transversalmente y 10-12 mm de longitud. En su extremo proximal hay un pliegue mucoso denominado válvula de Krause. Por debajo de esta válvula la vía lagrimal continúa como conducto nasolagrimal 12-18 mm (10 mm a través del canal nasolagrimal óseo), hasta el meato nasal inferior. En la mitad de la porción intraósea del conducto nasolagrimal hay otro pliegue mucoso denominado válvula de Taillefer, y al final del conducto nasolagrimal, la válvula de Hasner (Francisco FC, 2007). Con excepción de la válvula de Hasner, que puede en ciertos casos oponerse al reflujos de los líquidos o del aire desde el

meato nasal inferior hacia las vías lagrimales, todas las demás válvulas son insuficientes (Aubaret M, 1911).

La cresta lagrimal anterior es vertical en el proceso frontal de la maxila, y el surco tras ella se llama surco lagrimal. El límite anterior de este surco se llama margen lagrimal. El surco lagrimal está cubierto por hueso lagrimal, cornete nasal inferior, y el canal formado se llama canal nasolagrimal. La cresta lagrimal anterior es sólida, mientras que la cresta lagrimal posterior es frágil. La lámina papirácea se encuentra detrás de la cresta lagrimal posterior (Tao H, 2014). El hueso lagrimal se considera el más variable del cráneo en cuanto a tamaño, forma, posición, grosor y patrón sutural (Post RH, 1969). Whitnall 1921 afirmó que cuanto menos contribuye el hueso lagrimal en la formación del canal óseo, más pequeño es su tamaño.

El conducto nasolagrimal óseo está constituido: lateralmente, por el surco lagrimal de la cara medial del maxilar y por el gancho lagrimal del hueso lagrimal, que se enrolla sobre el borde externo del orificio superior del conducto; medialmente, por el lagrimal en la parte superior, y por la apófisis lagrimal del cornete nasal inferior en la parte inferior (Rouvière H, 1999). En el punto donde la cresta lagrimal posterior se encuentra con el borde superior del maxilar, existe una pequeña apófisis en forma de gancho, llamada gancho lagrimal. Este gancho se dirige lateral y anteriormente para articularse con el borde superior escotado del maxilar y limitar lateralmente el orificio superior del conducto nasolagrimal (Rouvière H, 1999).

Truchot et al 1953 afirmaron que la longitud del canal nasolagrimal óseo era de 10 mm. También apuntaron que la luz del canal es circular en el origen, y se aplana a continuación transversalmente, siendo su diámetro anteroposterior de 3 mm y su diámetro transversal de 2,5 mm. Aclararon que estas cifras eran una media y presentaban variaciones según el nivel del canal y el individuo. También afirmaron que los dos canales óseos son de iguales dimensiones. En la mayoría de los casos, las dimensiones del orificio inferior oscilaban entre 7 y 10 mm de longitud en sentido anteroposterior, y entre 4 y 6 mm de longitud en sentido transversal. El orificio superior tiene una forma ovalada, un poco menos alargada en el sentido anteroposterior. El diámetro anteroposterior varía entre 4 y 5 mm; el diámetro transversal entre 3 y 4,5 mm. El orificio superior no puede en ocasiones ser medido por mala o nula visualización.

Se ha hallado una marcada variabilidad en el canal nasolagrimal (Zabel E, 1900), (Whitnall SE, 1912). El primero estudió 200 cráneos, y halló 3 sin hueso lagrimal y 3 con hueso lagrimal rudimentario, mientras que 16 tenían huesos accesorios en esta zona. Las observaciones hechas por Whitnall 1912 en 15 maxilas, revelaron que en 7, los labios del surco lagrimal (Rouvière H, 1999) se unían para formar parte de la pared medial del canal óseo, interponiéndose así entre el proceso descendente del hueso lagrimal por encima y el proceso lagrimal del cornete inferior por abajo; estos 2 procesos normalmente se unían en la pared medial del canal. En 4 de estos 7 casos se halló una constricción en el canal en el lugar donde los labios del surco se habían fusionado (Phillips CI, 1956).

El canal nasolagrimal óseo se inclina ligeramente hacia atrás, desde superoanterior hasta inferoposterior en un ángulo de aproximadamente 20° con el plano coronal, y también se inclina ligeramente hacia lateral (Weber AL, 1996).

Las dos crestas lagrimales anterior y posterior se unen en la extremidad inferior de la fosa del saco lagrimal para transformar esta fosa en canal y delimitar así el orificio superior (Truchot P, 1953). La salida nasal del canal nasolagrimal óseo está inmediatamente por debajo de la unión del cornete inferior con la maxila (Fisch AE, 1976). El área media de la fosa lagrimal es 120 mm² en adultos (Fayet B, 2005).

Una "cresta ósea" protuberante vertical se encuentra en el atrio del meato medio, que se corresponde con la cresta lagrimal anterior. La cresta lacrimal posterior se corresponde con la base de la apófisis unciforme en la pared lateral de la cavidad nasal. El borde inferior anterior de las inserciones del agger nasi y del cornete medio podría ser utilizado como un marcador proyectivo del saco lagrimal superior. El borde superior anterior de la inserción del cornete nasal inferior podría ser tomado como un marcador proyectivo del saco lagrimal inferior (Tao H, 2014).

Estudios de varios autores han mostrado que la longitud del conducto nasolagrimal varía entre 6 y 21 mm y la anchura entre 1 y 7 mm; mientras que la longitud del saco lagrimal estaba entre 6 y 18 mm, la anchura del saco lagrimal no excedía los 4 mm, 4-8 mm anteroposteriormente, y el diámetro del conducto nasolagrimal medía 1-4 mm (Nema HV, 2002) (Groell R, 1997) (Weber AL, 1996). Más recientemente, Tatlisumak et al 2010 midieron el conducto nasolagrimal de 15 cadáveres obteniendo una longitud media de 21,9 ± 2,03 mm. También

hallaron que el orificio intranasal del conducto nasolagrimal se localiza aproximadamente a 25 mm de la espina nasal anterior, y a 15 mm de la inserción anterior del cornete inferior. El conducto nasolagrimal discurre superior y anteriormente desde el orificio intranasal hasta la inserción anterior del cornete medio. El proceso unciforme se inserta inmediatamente posterior al conducto nasolagrimal, que es solo 4 mm anterior al ostium del seno maxilar. En la mayoría de los casos, el saco nasolagrimal se localiza por encima de la inserción anterior del cornete medio (Tatlisumak E, 2010).

Linberg et al 1986 tomaron biopsias durante DCR del tejido blando contenido en el canal nasolagrimal. Las muestras (quirúrgicas de pacientes y de cadáver de controles), generalmente tenían un extremo proximal circular y uno distal más aplanado y ligeramente ensanchado. En las muestras de cadáver, varios pliegues de tejido conectivo se extendían hacia la luz para formar estructuras valvulares. El epitelio de estos pliegues y del resto del conducto era pseudoestratificado columnar con numerosas células caliciformes. A lo largo de todo el conducto había pequeñas formaciones glandulares de células secretoras de moco. Distalmente, el tejido subepitelial de la porción membranosa del conducto también contenía glándulas seromucinosas nasales. La luz ocupaba hasta aproximadamente dos tercios del diámetro seccional del canal óseo y se sostenía por tejido conectivo periductal. Dentro del tejido periductal, se encontraba de forma constante un plexo vascular. Células mononucleares inflamatorias se hallaban dispersas por el tejido subepitelial. No se ha hallado diferencia en la histología de la pared del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal (Weber AL, 1996). El estudio microscópico realizado por varios autores mostró que el epitelio

del saco lagrimal tenía 2 ó 3 capas nucleares de media (ocasionalmente hasta 5 capas), y contenía células caliciformes además de glándulas mucosas (Knop E, 2001), lo cual se cumple en el estudio de Kumar et al 2009. Paulsen et al 1998 demostraron que el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal contenían una doble capa de epitelio, sobre una ancha membrana basal.

Mientras que el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal se describían como circulares en las secciones transversas anteriormente, Prabhu et al 2003 y Kumar et al 2009 encontraron que en casi todas las muestras, la estructura estaba aplanada de lado a lado. No pudieron distinguir externamente entre el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal una clara constricción, el istmo, como se menciona en la literatura (Jones LT, 1961). Kumar et al 2009 sí observaron solo un pequeño estrechamiento externamente, en el límite entre el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal.

El canal nasolagrimal y la fosa lagrimal son simétricos en tamaño y apariencia, aunque el conducto nasolagrimal y el saco lagrimal normales están a menudo aireados de forma asimétrica. El saco normal no mide más de 2 mm de diámetro, a no ser que esté distendido por aire (Russell EJ, 1985).

El eje largo del saco lagrimal está normalmente inclinado posterior y lateralmente y el conducto nasolagrimal se dirige principalmente hacia posterior y ligeramente hacia lateral. Sin embargo, la diferencia entre individuos es considerable. El eje longitudinal del saco lagrimal forma un ángulo con el conducto nasolagrimal (Narioka J, 2007). Los autores realizaron un estudio en cadáveres de japoneses y observaron que el ángulo entre el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal se

clasifica en tres tipos anatómicos, según la inclinación del saco lagrimal y el conducto nasolagrimal en los planos coronal y sagital: el anterior hacia dentro (43,5%), el anterior hacia afuera (37%), y el posterior hacia afuera (19,5%). Los autores concluyeron que hay una gran variabilidad en el ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal, y que la profundidad, altura y longitud nasales pueden utilizarse para predecir este ángulo. En el plano sagital, los ejes largos del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal se inclinaban hacia posterior en todos los casos. La inclinación media del saco lagrimal fue $27,2^\circ \pm 7,6^\circ$ (de 11° a 44°), y la del conducto nasolagrimal fue $22,5^\circ \pm 9,7^\circ$ (de 6° a 46°). Se identificaron dos tipos de ángulos saco lagrimal-conducto nasolagrimal: el tipo anterior, en el cual la inclinación del saco lagrimal fue mayor que la del conducto nasolagrimal (80,4%), y el tipo posterior en el cual la inclinación del saco lagrimal fue menor que la del conducto nasolagrimal (19,6%). En el plano coronal, el eje largo del saco lagrimal se dirigía hacia lateral en todos los casos, y la inclinación media fue $24,7 \pm 7,9^\circ$ (de 5° a 39°). La dirección de la inclinación del eje largo del conducto nasolagrimal en el plano coronal se clasificó en 2 tipos: el tipo hacia dentro (63%), que se dirigía hacia el interior desde la línea sagital y el tipo hacia afuera (37%) que se dirigía hacia el exterior desde la línea sagital. En ningún caso la inclinación lateral del conducto nasolagrimal fue mayor que la del saco lagrimal, por lo que el eje largo del conducto nasolagrimal se dirigía siempre hacia dentro desde el del saco lagrimal (Narioka J, 2007). El ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal medio fue $28,3^\circ \pm 12,2^\circ$ (de 6° a 55°). La inclinación del saco lagrimal fue significativamente mayor en mujeres que en hombres. Para ambas mitades, los autores observaron simetría anatómica del sistema de drenaje nasolagrimal. El

ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal se clasificó en tres tipos para ambos planos sagital y coronal. En primer lugar, todos los pertenecientes al tipo posterior (9 lados) eran del tipo hacia dentro. Por otra parte, el tipo anterior se dividió en los tipos hacia dentro (20 lados, 43,5%) y hacia afuera (17 lados, 37%) (Narioka J, 2007).

3.2. PATOLOGÍA DE LA VÍA LAGRIMAL

La obstrucción del sistema de drenaje lagrimal puede ser congénita o adquirida. La obstrucción del conducto nasolagrimal en adultos puede ser primaria (idiopática) (PANDO) o secundaria (por factor reconocible) (Bartley GB, 1992) (Linberg JV, 1986).

3.2.1. Epidemiología

La obstrucción primaria del conducto nasolagrimal es más frecuente en mujeres (50-83% de los casos) que en hombres, y se desarrolla sobre todo en pacientes de 40 años o mayores (Linberg JV, 1986) (Steinkogler FJ, 1986) (Woog JJ, 2007). Se produce más frecuentemente en caucásicos que en otros grupos raciales (Groessl SA, 1997). Stallard 1958 afirmó que la obstrucción del conducto nasolagrimal afectaba más frecuentemente al lado izquierdo que al derecho.

3.2.2. Fisiopatología

La epífora causada por obstrucción del conducto lagrimal es un problema oftalmológico frecuente y representa el 3% de las consultas oftalmológicas (Traquair HM, 1941). La PANDO (Primary Acquired Nasolacrimal Duct Obstruction) es una enfermedad multifactorial, que implica diversos factores a menudo presentes en mujeres mayores (Groessl SA, 1997).

Bartley 1992 clasificó las obstrucciones adquiridas del conducto nasolagrimal en primarias (idiopáticas) y secundarias (infecciosa, inflamatoria, neoplásica, traumática o por procesos mecánicos). La obstrucción adquirida secundaria, a nivel del saco lagrimal y/o del conducto nasolagrimal, es causada más frecuentemente por traumatismo o cirugía facial, neoplasia, sarcoidosis o granulomatosis de Wegener. Las causas principales de obstrucción adquirida secundaria de los canalículos incluyen infecciones, quemaduras cutáneas, fármacos para el glaucoma, o agentes quimioterápicos, como el fluorouracilo (Janssen AG, 2001).

La etiología de la PANDO permanece sin aclarar (Estes JL, 2015). Se han propuesto varios factores predisponentes de la PANDO: tabaquismo, traumatismo facial-nasosinusal, historia de dacriocistitis (Yazici Z, 2001). Ya en 1840, Mackenzie habló de disposición hereditaria para una estrechez innata del canal. La causa de inflamación no está clara, aunque muchas enfermedades inflamatorias afectan más a mujeres que a hombres (Groessl SA, 1997).

Linberg et al 1986 tomaron biopsias durante dacriocistorrinostomía que revelaron cambios que se correlacionaban con la duración de los síntomas, desde

inflamación crónica a lo largo de toda la longitud del conducto nasolagrimal estenosado, hasta obliteración fibrosa del conducto. Aunque la causa desencadenante permanece incierta en la PANDO, la correlación clínico-patológica sugiere que la compresión del conducto por infiltrados inflamatorios y edema precede a la dacriocistitis crónica clínica. La fibrosis respetaba a menudo los 1-3 mm distales del conducto. El plexo vascular periductal era mucho más prominente, a menudo con vasos de pared engrosada con diversos grados de proliferación íntima o hipertrofia muscular (Linberg JV, 1986). Sin embargo, DeAngelis et al 2001 afirmaron que los cambios inflamatorios eran independientes de las siguientes variables: género, duración de los síntomas, historia de dacriocistitis, presencia de mucocele del saco lagrimal, localización de la obstrucción, y presencia de cálculos en el saco lagrimal. Los autores constataron que los cambios inflamatorios estaban presentes en casi todos los pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal. Los cambios inflamatorios en el hueso probablemente sean secundarios a la inflamación del saco lagrimal.

La PANDO (Linberg JV, 1986) se desarrolla sobre todo a nivel del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal, pero puede también extenderse a los canaliculos. El proceso se caracteriza por obstrucción creciente del sistema de drenaje, primero en sitios de estrechamiento fisiológico del sistema de drenaje lagrimal, como la válvula de Rosenmüller, la unión entre el saco lagrimal y el conducto, o el tracto del conducto lagrimal. En general, las estenosis se producen de forma bilateral y tienden a desarrollarse en localizaciones simétricas (Janssen AG, 1999), con el desarrollo de la estenosis en un lado separada varios años de la estenosis en el otro lado, por lo que muchos pacientes presentan epífora unilateral. La

inflamación causa reflejo de hipersecreción de lágrimas, exacerbando la epífora (Janssen AG, 2001).

Varios factores que pueden contribuir a la diferencia entre ambos sexos (Ruiz-Barranco F, 1977):

1. Diferencias anatómicas del canal óseo lagrimonasal: el orden por el que pueden actuar las diversas circunstancias en la producción de obstrucción de la vía lagrimal es: estrechez del orificio superior que representa el punto más estenosado de la vía de drenaje, angulación entre el conducto y la pared interna de la órbita, y solo secundariamente la longitud y capacidad del mismo (Ruiz-Barranco F, 1966) (Truchot P, 1953).
2. Aumento de la cantidad de células de descamación de la mucosa de las vías lagrimales, apoyando a otros factores de mayor importancia (Ruiz-Barranco F, 1968).
3. Estado de la red vascular pericanal
4. Diferencias anatómicas de las vías lagrimales.

La diferencia entre las características anatómicas entre ambos sexos justificaría en parte el predominio femenino en las obstrucciones del canal lagrimonasal. Hay varios factores que dan el predominio al sexo femenino: un mayor aumento en la descamación celular de las vías lagrimales, sobre todo durante los períodos menstruales (Ruiz-Barranco F, 1968); una disminución en el tamaño del conducto óseo lagrimonasal, tanto en longitud como en anchura (Ruiz-Barranco F, 1966); una disminución en el tamaño del conducto mucoso lagrimonasal, tanto en

longitud como en anchura; un ángulo saco-canal lagrimonasal más cerrado, y por tanto mayor dificultad para el desagüe de las lágrimas y una mayor facilidad para la obstrucción (Ruiz-Barranco F, 1977).

Se ha hallado mayor estrechez del canal nasolagrimal en mujeres que en hombres, siendo los más estrechos los canales de las mujeres caucásicas (Duke-Elder S, 1952) (Groessl SA, 1997) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007) (Takahashi Y, 2014). Duke-Elder 1952 afirmó que en los pacientes con epífora debe de existir una leve obstrucción en el canal nasolagrimal óseo, particularmente en la entrada, el sitio de unión del saco lagrimal con el conducto nasolagrimal, dado que éste es el sitio común de obstrucción. Una relativamente pequeña entrada del canal nasolagrimal óseo en mujeres puede ser un potencial factor causal en PANDO. Takahashi et al 2013 hallaron, en un estudio en cadáveres de japoneses, que los diámetros más cortos anteroposterior y transversos estaban a la entrada del canal en la mayoría de los canales nasolagrimales óseos. Esto concuerda con la tasa de obstrucción en la entrada del canal en la PANDO. Takahashi et al 2014 hallaron que los diámetros transversos en la entrada del canal nasolagrimal óseo eran menores en las mujeres que en los hombres en casos de obstrucción del conducto nasolagrimal (tanto en el lado obstruido como en el no obstruido). También hallaron que el diámetro transversal mínimo fue menor en las mujeres que en los hombres en los lados obstruidos. Los autores sugieren que los canales nasolagrimales óseos con el punto más estrecho en la entrada, o cercano a la misma, tienen riesgo aumentado de PANDO.

Wilhelm et al 2009 apuntaron que el diámetro del canal nasolagrimal óseo era de gran interés, puesto que la mayoría de las obstrucciones se producían a nivel del conducto nasolagrimal, que se halla rodeado por dicho canal óseo. Debido al diámetro limitado de esta zona anatómica, la tumefacción de la mucosa puede causar obstrucción de la luz. Por lo tanto, un menor diámetro del canal óseo puede resultar en una oclusión más temprana del sistema de drenaje lagrimal. Los autores hallaron que el diámetro óseo mínimo del lado con epífora estaba significativamente disminuido con respecto al lado no afectado.

Aunque la entrada ósea aumenta con la edad (Francisco FC, 2007), una combinación de los factores contribuyentes mencionados, que contrarrestan el ensanchamiento, puede aumentar la prevalencia de PANDO en mujeres mayores (Groessl SA, 1997).

En la parte superior del canal, el mayor eje axial fue significativamente mayor en pacientes de más edad que en los más jóvenes, mientras que no se observó crecimiento del menor eje axial. Se puede considerar que el menor eje seccional es limitador del flujo, por lo que su incapacidad para aumentar con la edad en esta zona superior del canal puede predisponer teóricamente a la obstrucción nasolagrimal. En contraste, el menor eje axial fue mayor en la porción inferior del canal de los pacientes de más edad, mientras que el mayor eje axial permanecía relativamente constante.(Ramey NA, 2013). Este aumento de tamaño del menor eje axial con la edad, se corresponde con la relativa menor incidencia de PANDO en la parte distal del canal (Paulsen FP, 2001) (Ramey NA, 2013).

Geoméricamente, la sección de la parte superior del canal toma progresivamente una forma más elongada y elíptica con la edad, mientras que la parte inferior del canal se hace más circular (Ramey NA, 2013).

Mediciones del cráneo en pacientes con PANDO revelan una alta prevalencia de braquicefalia, que se asocia con canales nasolagrimales más estrechos (Heinonen O, 1920) (Avasthi P, 1971). Un menor espacio óseo combinado con inflamación de la mucosa pondría las superficies más próximas, favoreciendo la obstrucción secundaria a la cicatrización. La ulceración mucosa conduciría a adherencia y fibrosis (Groessler SA, 1997) (Hyde KJ, 1988).

Krause 1956 afirma que hasta el 70% de los cierres primarios se encuentran en el paso del saco al conducto (pliegue de Krause). El ángulo entre el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal puede explicar en parte la alta incidencia de obstrucción nasolagrimal en esta región (Steinkogler FJ, 1986) (Narioka J, 2007). Entre los 36 y los 65 años, existe un ángulo más cerrado del canal lagrimonasal-saco, lo que podría correlacionarse con una mayor frecuencia de dacriostenosis en el sexo femenino (Ruiz Barranco F, 1977).

También se han propuesto los factores hormonales como factor contribuyente. Roussos et al 1973 encontraron que el número de lágrimas que pasaban a través del conducto nasolagrimal disminuía 4 días antes del ciclo menstrual, aumentaba durante la menstruación, y alcanzaba un máximo 4 días tras la menstruación. Estos autores también hallaron un 20% de incidencia de hipotiroidismo no tratado en su población de estudio y propusieron como efecto contribuyente la retención de electrolitos y líquidos con el consiguiente edema de la mucosa, que produciría

estrechamiento de los conductos y disminución del flujo. Zolli et al 1982 apuntaron que un bajo nivel de estrógenos puede conducir al desecamiento, atrofia y disminución de la secreción de la mucosa y a cambios tisulares similares a los cambios vaginales atróficos postmenopáusicos, produciéndose adhesión. Los autores se basan en que el 43% de las mujeres de sus series de DCR tenían historia de histerectomía u otras causas de disminución de los niveles de estrógenos. Aunque posteriormente, Kashkouli et al 2010 concluyeron que la mayor incidencia de obstrucción del conducto nasolagrimal en mujeres no está relacionada con hormonas sexuales, infección viral o maquillaje de ojos.

Steinkogler 1986 afirmó que el ángulo óseo es uno de los muchos factores que facilitan una inflamación ascendente en la mucosa lagrimal. Según este autor, la estenosis distal del conducto nasolagrimal es causada por una inflamación ascendente desde la nariz, y por tumefacción de la mucosa lagrimal. La dacriostenosis idiopática es una estenosis postsacal inflamatoria sin una relación clínica obvia con una rinitis o una sinusitis (etmoidal). La mayoría de las teorías documentadas en la literatura se basan en el origen ascendente de la dacriostenosis postsacal. Solo unos pocos autores describen que una inflamación descendente causa la dacriostenosis idiopática (Summerskill WH, 1956) (Melanová J, 1969). Una inflamación periódica de la nariz y de los senos nasales puede causar dacriostenosis (Steinkogler FJ, 1986). Sin embargo, Seidenari 1947 no encontró evidencia histológica de anomalía en la mucosa nasal cerca de la salida del conducto, ni tampoco en las celdillas etmoidales anteriores en casos de dacriocistitis.

La inflamación descendente desde el ojo o la inflamación ascendente desde la nariz inicia la tumefacción de la mucosa, la remodelación de la disposición helicoidal de las fibras de tejido conectivo, el mal funcionamiento del cuerpo cavernoso subepitelial con hiperemia reactiva, y la oclusión temporal del sistema lagrimal (Paulsen FP, 2001).

No se ha establecido una causa específica bacteriana (Janssen AG, 2001). La *Chlamydia trachomatis* es endémica en las islas del Pacífico y la Western Pacific Region tiene la carga más alta de tracoma en el mundo (World Health Organization, 2003). Ésto podría explicar la mayor incidencia de PANDO en la población del Pacífico. Sin embargo en un estudio que tomó biopsias del saco lagrimal de pacientes con tracoma durante la DCR, ninguno fue positivo para *Chlamydia*, lo que se atribuyó a enfermedad inactiva (Rice CD, 1988).

Paulsen et al 2000 describieron un plexo vascular en la submucosa del conducto nasolagrimal, que se localizaba alrededor del saco lagrimal y conducto y drenaba al tejido cavernoso del cornete inferior. La histología se parece al cuerpo cavernoso, en el cual el volumen puede alterarse notablemente. Esta estructura forma parte de la regulación del drenaje de lágrimas, y cuando los vasos se ingurgitan, el flujo de lágrimas disminuye. Éste fenómeno puede desencadenarse por traumatismo o patología de la superficie ocular, liberándose mediadores inflamatorios y sustancias vasoactivas. Una mala función de este cuerpo cavernoso puede causar estrechamiento del conducto, que podría explicar la obstrucción funcional del conducto nasolagrimal (irrigación lagrimal patente en paciente sintomático), o ser un factor en el proceso que conduce a la oclusión.

El plexo venoso que rodea el conducto nasolagrimal se comunica directamente con el plexo venoso de la mucosa nasal. El edema de la mucosa nasal conduce a la congestión de este plexo con compresión secundaria del conducto nasolagrimal (Weber AL, 1996).

El tiempo de tránsito de la lágrima hasta el meato inferior, presenta gran variabilidad individual, y es independiente del lado, del género o del porte de gafas. El cuerpo cavernoso del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal juega un papel importante en la regulación del flujo de lágrimas. Está sujeto a control autónomico e integrado en un complejo reflejo neuronal que comienza en la inervación corneal, cuya función puede ser influenciada farmacológicamente (Ayub M, 2003). Las gotas oculares adrenérgicas ensanchan la luz del conducto nasolagrimal y las gotas colinérgicas lo reducen. Este control autónomico, o la ausencia del mismo puede ser un factor en la PANDO, quizá a través de su acción sobre el cuerpo cavernoso (Narioka J, 2006). Los mismos autores en 2007 observaron que un antagonista adrenérgico (bunazosina) disminuía el diámetro de la luz significativamente, y los cambios eran más marcados en el conducto nasolagrimal, especialmente las regiones media e inferior. El diámetro de la luz del saco lagrimal no cambiaba significativamente. Un antagonista muscarínico y colinérgico (tropicamida), no produjo cambios significativos en el diámetro de la luz del sistema de drenaje nasolagrimal. Por tanto, sugieren que el diámetro de la luz del sistema de drenaje nasolagrimal, especialmente el conducto nasolagrimal se encuentra bajo un tono simpático continuo, siendo el tono parasimpático débil.

Se ha demostrado una mayor presencia de hallazgos radiológicos de patología sinusal o nasal en pacientes con obstrucción de la vía lagrimal adquirida (Kallman JE, 1997). La dacriostenosis está íntimamente relacionada con la patología nasal o sinusal (Francis IC, 1999). Más recientemente, Habesoglu et al 2013 estudiaron la co-ocurrencia de las anomalías nasosinusales con la obstrucción primaria adquirida del conducto nasolagrimal. Compararon el lado obstruido con el lado contralateral sano. Observaron un aumento significativo en la tasa de concha bullosa, hipertrofia del cornete inferior, enfermedad del complejo osteomeatal (engrosamiento mucoso en infundíbulo, meato medio o hiato semilunar) y sinusitis maxilar en el grupo de estudio. En dicho grupo también fue alta pero no estadísticamente significativa la incidencia de desviación septal nasal, irregularidad del cornete medio, cornete medio paradójico, sinusitis etmoidal, celdillas etmoidales de Ager Nassi y celdillas de Onodi. Los autores concluyeron que los problemas rinológicos tienen una gran importancia en la etiología de la obstrucción primaria adquirida del conducto nasolagrimal. Un detallado examen endoscópico y un TC de senos paranasales preoperatorio pueden revelar el posible papel etiológico de las estructuras nasales y paranasales adyacentes, antes de calificar de idiopática una obstrucción de la vía lagrimal. Cervelli et al 2008 investigaron, mediante dacriocistografía y TC, los cambios en el flujo lagrimal tras rinoseptoplastia en pacientes con dificultades respiratorias debidas a desviación septal y concha hipertrófica, pero sin epífora. Observaron que la corrección del septum y la turbinectomía parcial resolvían completamente el flujo lagrimal alterado en todos los pacientes. También detectaron que casi la mitad de

los pacientes tenían un cierre parcial del ostium interno del conducto nasolagrimal, que resultaba en una reducción de flujo.

La obstrucción unilateral del conducto nasolagrimal ocurre en el lado hacia el cual el septo está desviado, y que hay una tendencia de la desviación septal hacia el lado más pequeño de la cara (Taban M, 2011). Farkas et al 1981 observaron una asimetría facial con dominancia de la hemicara derecha. La hemicara más corta o pequeña presenta desviación nasal con pliegue nasolabial más profundo, distopia orbitaria, ángulo de la boca elevado, ala nasal más elevada y pómulo más elevado. Existe mayor incidencia de asimetría facial en pacientes con desviación nasal (Taban M, 2011).

El radioyodo (I-131) se ha relacionado significativamente con obstrucción lagrimal. El 4,6% de los pacientes desarrollaron epífora tras dosis altas de radioyodo (I-131), existiendo una dosis acumulativa mínima de 5,5 GBq para el desarrollo de epífora (Burns JA, 2004). Se ha evidenciado mediante SPECT/TC acúmulo de radioyodo (I-131) en el conducto nasolagrimal. El radioyodo (I-131) es secretado en la lágrima y acumulado en el conducto nasolagrimal, y este nivel bajo pero concentrado de radioactividad produce inflamación que conduce a la estenosis y obstrucción del sistema de drenaje lagrimal (Sakahara H, 2007).

3.2.3. Diagnóstico por imagen en la patología de la vía lagrimal

Los estudios de imagen deben realizarse en casos seleccionados para confirmar la localización de la obstrucción e identificar patologías asociadas (Dantas RR,

2010). Las pruebas de imagen del sistema de drenaje lagrimal pueden estar indicadas para ayudar en el diagnóstico y la planificación quirúrgica en pacientes que presentan epífora, una masa en la zona del saco lagrimal, lágrimas hemorrágicas o traumatismo medifacial (Freitag SK, 2002). También en los casos en los que no se encuentra explicación a los síntomas de los pacientes o al fallo tras la cirugía, las pruebas de imagen pueden ser útiles (Lefebvre DR, 2012).

A continuación se revisarán las técnicas de imagen que proporcionan mayor definición ósea:

3.2.3.1. Radiografía convencional

La radiografía del canal nasolagrimal fue estudiada en primer lugar por Brunetti 1930, Kopylow 1930, y Toth 1932. La radiografía del canal nasolagrimal, que da una visión transversal del canal óseo, pone en evidencia los orificios superior e inferior del canal y permite descartar anomalías de calibre y alteraciones congénitas o patológicas del contorno del canal óseo. Rodeado por los huesos faciales, el canal nasolagrimal óseo aparece netamente bajo la forma de dos orificios ovalados superpuestos, uno de ellos de menor tamaño, y cuyo eje común es ligeramente oblicuo de posterior a anterior y de exterior a interior. El pequeño orificio y el gran orificio corresponden respectivamente al orificio superior y al orificio inferior del canal nasolagrimal óseo. En la parte posterior del canal es frecuentemente visible bajo la forma de una línea opaca transversal el reborde orbitario superior. Solo el contorno óseo del orificio inferior es correctamente visualizado, por ser el más cercano a la placa (Truchot P, 1953).

Fisch et al 1976 propusieron una técnica para la visualización óptima de la fosa lagrimal y del canal nasolagrimal en proyección basal angulando el haz de rayos X 14° para proyectar el canal anterior a los huesos faciales.

3.2.3.2. Tomografía computarizada

3.2.3.2.1. *Fundamentos de la tomografía computarizada*

La TC es el procedimiento de elección para determinar la extensión de tumores malignos del macizo óseo facial, la órbita y la cavidad nasal, y la técnica más efectiva para definir la extensión y naturaleza de las enfermedades de la cavidad nasal, senos paranasales y órbita (Russell EJ, 1985).

La TC utiliza radiación X en un patrón helicoidal para producir un conjunto de datos volumétricos de imágenes de rayos X que se reconstruyen para producir imágenes de los cortes (del griego *tomos*) del área escaneada (Herman GT, 2009). La resolución de una TC moderna es muy alta, lo cual implica una mayor exposición a radiación (unas 75 veces más que una radiografía de tórax). La TC preoperatoria puede mostrar factores de riesgo para obstrucción nasolagrimal y para el fallo de la cirugía (Lefebvre DR, 2012).

El uso de la TC helicoidal tiene varias ventajas sobre la TC convencional: el volumen puede cubrirse mucho más rápido con menos movimiento del paciente durante la adquisición de datos, se obtienen imágenes multiplanares óptimas, incluso aunque el paciente no tolere la posición necesaria para su obtención

directa en planos distintos del axial (las imágenes se adquieren solo en el plano axial, pudiéndose realizar reconstrucciones en múltiples planos); no aparecen artefactos por rellenos dentales, que pueden aparecer durante el escaneo coronal directo; se produce menor irradiación del paciente, al eliminarse la adquisición directa fuera del plano axial; y existe la posibilidad de reconstrucción tridimensional (Caldemeyer KS, 1998). Las desventajas de la TC son la ausencia de paso dinámico de contraste y la exposición a radiación del cristalino (Kassel EE, 1995).

Garcier et al 2002 evaluaron la calidad de opacificación en TC tras la simple instilación del medio de contraste diluido, sin cateterizar el canalículo. Concluyeron que es una técnica bien tolerada, fisiológica y sensible (sensibilidad 100% y especificidad 84%).

Algunos autores preconizan el uso de la TC en la evaluación prequirúrgica del paciente con epífora de causa no evidente, para evitar sorpresas quirúrgicas, manejos terapéuticos inadecuados, y demoras en diagnóstico y tratamiento de ciertos tumores (Francis IC, 1999). También es de utilidad para dar a los pacientes un pronóstico fundamentado, sobre todo en casos de obstrucción funcional, así como para evaluar pacientes en los que ha fracasado la dacriocistorrinostomía. Los autores consideran que la DCG-TC, la DCG, o la TC helicoidal pueden ser relevantes en ocasiones, teniendo la DCG generalmente un papel menos importante que la TC en el manejo de las dacriostenosis. Argumentan que la dosis de radiación recibida en una TC de la región lagrimal es de 15 a 34 mGy (Nadas S, 1994), mientras que la dosis cataratogénica aceptada es de 4000 mGy

(Siddle KJ, 1990). Francis et al 1999 proponen un protocolo axial y si fuese posible evitando el cristalino, no debiendo utilizar de rutina cortes de menos de 5 mm.

La CBCT (Cone-beam computed tomography) es una nueva tecnología para obtener imágenes del tipo TC utilizando una sistema de angiografía que rota alrededor del paciente. (Wallace MJ, 2008). Las imágenes del tipo TC pueden obtenerse fácilmente con CBCT durante un procedimiento diagnóstico sin tener que mover al paciente. Se basa en una reconstrucción de tejido blando con imágenes adquiridas con dosis de radiación reducida, reconstruyéndose imágenes de alto contraste axiales, coronales y sagitales y de superficie 3D (Wilhelm KE, 2009). El escaneo del tejido blando realizado proporciona mayor resolución espacial que la TC convencional, y una resolución satisfactoria del contraste que permite la diferenciación del tejido blando (Miracle AC, 2009).

3.2.3.2.2. Anatomía del sistema de drenaje lagrimal en TC

Puntos lagrimales y canalículos

Los puntos lagrimales y los canalículos se incluyen dentro de la imagen de tejido blando de los párpados y no pueden ser visualizados de forma independiente en TC (Russell EJ, 1985). Las estructuras de drenaje menores se visualizan de forma más consistente en la DCG-TC (con contraste tópico) que en la DCG-RM (con solución salina tópica) (Caldemeyer KS, 1998).

Saco lagrimal

Debido al excelente contraste entre estructuras óseas y tejidos blandos o grasos, el TC axial de corte fino es un método de imagen efectivo para evaluar las estructuras relacionadas con el sistema de drenaje lagrimal inferior y el tejido circundante. El TC diferencia el proceso frontal del hueso maxilar del hueso lagrimal más fino, debido a la marcada diferencia en el grosor cortical (en modo “ventana hueso”). Medialmente, el saco lagrimal se relaciona con las celdillas etmoidales y el meato nasal medio, espacio situado por debajo del cornete medio y en el que desembocan las celdillas etmoidales anteriores, los senos frontales y los maxilares. En TC, el saco lagrimal aparece con densidad de tejido blando entre las crestas lagrimales anterior y posterior. Un saco lagrimal aireado y dilatado no debe ser interpretado erróneamente como patológico (Groell R, 1997).

Conducto nasolagrimal

Las proyecciones coronales directas, o reformateadas a partir de imágenes axiales, son especialmente útiles en la demostración del curso completo del canal nasolagrimal (Russell EJ, 1985). El canal nasolagrimal y la fosa lagrimal se ven bien en secciones transversas axiales de TC obtenidas en un plano paralelo al paladar duro.

El contorno y la posición del saco lagrimal, el conducto nasolagrimal y el meato nasal inferior se reconoce fácilmente en los cortes axiales de la TC (Russell EJ, 1985). Potter 1972 afirmaba que la tomografía coronal en proyección frontal se prefiere para el estudio del canal nasolagrimal, aunque la mayoría de estudios han utilizado cortes axiales para su estudio.

El conducto nasolagrimal blando ocupa solo una pequeña parte del NLC, dado que a menudo está colapsado. No es infrecuente que se visualice aire en el interior de uno o de los dos conductos nasolagrimales normales en TC. El final del canal nasolagrimal tiene forma de embudo (Russell EJ, 1985).

Loftus et al 1996 no hallaron relación entre la opacidad del conducto nasolagrimal en TC y la enfermedad inflamatoria sinusal, y afirmaron que en la población normal el conducto nasolagrimal normalmente aparece opaco en TC.

El conducto nasolagrimal, en su parte superior presenta la forma de un surco vertical de concavidad externa excavado en el maxilar por delante y en el hueso lagrimal por detrás. En su parte inferior, presenta la forma de un canal excavado en el maxilar por fuera, y cerrado por dentro por el hueso lagrimal en su parte superior, y por la apófisis lagrimal del cornete inferior en su zona inferior (Bourjat P, 1992). Están descritos una serie de planos de TC con las referencias anatómicas propias de cada uno: el plano de corte T13 (fosa pterigopalatina y agujero esfenopalatino) comprende la zona inferior del conducto nasolagrimal, excavado entre el hueso maxilar por delante y por fuera, y la apófisis lagrimal del cornete inferior por dentro. A nivel del plano de corte T14 (suelo de la órbita), el conducto nasolagrimal está delimitado por el maxilar por delante y por fuera y por el hueso lagrimal por dentro. A nivel del plano de corte T15 o plano orbitomeatal (nasion-trago), que está realizado según un plano distinto al del resto de la serie, se visualiza el saco lagrimal. A nivel del plano de corte T16 (que pasa por la parte baja de la apófisis unciforme y del cornete medio), a nivel de meato medio, el conducto nasolagrimal empieza a abrirse lateralmente. A nivel del plano de corte

T17 (que pasa por la apófisis unciforme) a nivel del meato medio, el conducto nasolagrimal ya está claramente abierto, siempre limitado por dentro por el hueso lagrimal y por delante por la apófisis frontal del maxilar. A nivel del plano de corte T18 (que pasa por la apófisis unciforme y la bulla etmoidal), la pared medial de la órbita está constituida por el hueso lagrimal y la lámina orbitaria del etmoides. A nivel del plano de corte T19 (que pasa por el ager nassi, la apófisis unciforme y la bulla etmoidal), el saco lagrimal aparece como una formación de densidad tisular situada por fuera de la apófisis frontal del maxilar (Bourjat P, 1992).

Aunque la TC muestra claramente las estructuras óseas relacionadas con el canal lagrimal, las suturas entre los diferentes huesos son demasiado pequeñas como para permitir su diferenciación exacta. Lateralmente, el canal nasolagrimal se relaciona con el seno maxilar y medialmente con el meato nasal inferior y medio. En TC, el conducto nasolagrimal se presenta con densidad de tejido blando que normalmente rellena todo el canal nasolagrimal, a no ser que esté relleno de aire. Las partes caudales del conducto pueden discurrir por debajo de la mucosa nasal durante una distancia variable (parte membranosa) hasta que éste finaliza en la válvula de Hasner, que se abre al meato nasal inferior aproximadamente 1 cm detrás del límite anterior del cornete inferior (Groell R, 1997).

3.2.3.2.3. *Patología de la vía lagrimal en tomografía computarizada*

Patología obstructiva e inflamatoria

La exploración clínica es a menudo suficiente para diagnosticar la mayoría de los casos de obstrucción. Sin embargo, en los casos en los que el edema periorbitario impide la adecuada exploración clínica, la TC diferencia claramente la celulitis preseptal del absceso orbitario (Russell EJ, 1985). La imagen reformateada coronal es extremadamente útil para confirmar la dilatación del saco lagrimal.

Una colección de fluido orbitario centrada tras la cresta lagrimal posterior es un absceso orbitario. La TC con contraste es útil para demostrar el absceso como una región sin realce rodeada por tejido inflamatorio. Estas colecciones pueden no apreciarse en estudios sin contraste (Russell EJ, 1985).

Patología tumoral

Los tumores del saco lagrimal pueden simular clínicamente una dacriocistitis crónica, aunque la presencia de sangre en el fluido del saco y una zona de tumefacción medial por encima del ligamento cantal medial sugiere patología tumoral. La TC y la dacriocistografía pueden revelar erosión de la fosa lagrimal e irregularidad luminal, que deben hacer sospechar tumor. El diagnóstico de tumores originados en la cúpula del saco requiere a menudo inyección de contraste (dacriocistografía). La TC puede diferenciar fácilmente los tumores de la dacriocistitis crónica. Es el procedimiento de elección para determinar la extensión de los tumores malignos del macizo facial, la órbita y la cavidad nasal. La presencia de signos de obstrucción lagrimal en un paciente con historia de tumor

nasal o de senos paranasales es indicación de TC. El conocimiento de la anatomía del aparato lagrimal en TC puede permitir al examinador definir la relación del tumor con la vía lagrimal y el punto de obstrucción (Russell EJ, 1985).

Patología traumática

Las fracturas de la estructura ósea de la fosa lagrimal y del canal nasolagrimal se asocian con obstrucción lagrimal postraumática aguda o diferida. La TC axial es adecuada para la definición de estas fracturas y del grado de desplazamiento y rotación de los fragmentos. La conminución de los fragmentos puede poner al aparato lagrimal en situación de riesgo, aunque la incidencia de esta lesión asociada es baja. La parte ósea del conducto nasolagrimal es muy vulnerable, dado que las fracturas se propagan frecuentemente a través de la débil estructura del canal nasolagrimal. La TC puede y debe utilizarse para demostrar con exactitud las fracturas asociadas con epífora postraumática, pero no debe realizarse de rutina para diagnosticar la obstrucción de la vía lagrimal, dado que la exploración clínica suele ser suficiente. La manipulación indebida de fragmentos de la fractura desplazados en la región del conducto nasolagrimal puede conducir a laceración del saco o del conducto, seguido de cicatrización. La TC puede detectar estos peligrosos fragmentos antes de la manipulación, permitiendo un tratamiento apropiado (Russell EJ, 1985).

La dacriocistitis crónica en el adulto puede ser postraumática, debido a la estenosis del conducto nasolagrimal. En el 85% de los casos, la obstrucción es en la unión del saco lagrimal con el conducto nasolagrimal. La dacriocistografía puede diferenciar la clásica obstrucción alta de las obstrucciones más bajas del

conducto nasolagrimal medio, que normalmente acompañan a las fracturas del canal nasolagrimal. No parece que el TC pueda diagnosticar de forma precisa el punto de obstrucción, a no ser que la localización de los fragmentos de la fractura pueda sugerirlo (Russell EJ, 1985).

3.2.3.2.4. Tomografía computarizada combinada con dacriocistografía

Freitag et al 2002 utilizaron DCG-TC con reconstrucción 3-D para apreciar bien la imagen global y la forma del sistema de drenaje lagrimal (que es una limitación de la DCG-TC convencional), potenciando la interpretación del dacriocistograma y haciendo más fácil y precisa la identificación de patología sutil, como una estenosis parcial del conducto nasolagrimal. Los autores describieron una técnica de DCG-TC con reconstrucción 3-D que permite la rotación de las imágenes de TC para permitir la evaluación multiplanar de la columna de contraste dentro del sistema de drenaje lagrimal. Esta evaluación multiplanar puede ser útil en la demostración de áreas de estenosis que pueden no ser evidentes en un único plano de la imagen.

Aprovechando la buena visualización de la anatomía ósea, Gökçek et al 2005 emplearon la DCG-TC para comparar casos de fracaso y éxito tras DCR, hallando que la localización de la osteotomía era inapropiada en 15 de los 18 casos de fracaso y en solo uno de los 15 casos de éxito. También observaron la presencia de una celdilla etmoidal anterior medial a la osteotomía en 78% de los casos de fracaso frente al 20% de los casos de éxito. El diámetro de la osteotomía también fue más frecuentemente menor (< 15 mm) en los casos de fracaso.

Kemeny-Beke et al 2012, tras realizar una dacrioscintigrafía, obtuvieron imágenes de SPECT/CT durante la DCG-TC para establecer la indicación quirúrgica. La cámara SPECT/CT ofrece la oportunidad de realizar estas dos sensibles técnicas simultáneamente, permitiendo localizar de forma precisa la posición anatómica de la lágrima marcada e identificar cualquier obstrucción.

3.3. ANTECEDENTES DE MEDICIONES DEL CNLO

Existen varios trabajos en la literatura en los que se toman medidas del canal nasolagrimal óseo. Se pueden clasificar en mediciones realizadas en cadáver, mediciones realizadas en radiografía convencional, y mediciones realizadas en tomografía computarizada.

3.3.1. Mediciones realizadas en cadáver

Post 1969 estudiaron una muestra de cráneos de hombres de raza negra y de hombres y mujeres de raza blanca, y realizaron mediciones de la sección de la apertura externa del canal nasolagrimal y de la longitud del canal. El área del canal se estimó mediante plantillas metálicas con agujeros con tamaños estandarizados. Se midió la longitud del canal con un cable flexible de longitud conocida doblado en ángulo recto en la punta formando un acodamiento de aproximadamente 0,5 mm, que se insertaba dentro del canal y se enganchaba a la parte inferior del cornete inferior, en el punto que diese la mínima longitud. Se midió el cable que sobresalía por encima de la apertura para restarlo a la longitud

total y obtener la longitud del canal. Los cráneos procedían de la Washington University Medical School y el resto eran cráneos neolíticos de 5 museos europeos. Hallaron aperturas de tamaño significativamente mayor en la raza negra. La longitud del conducto fue menor en la raza negra. También hallaron que los sujetos de mayor edad tenían aperturas ligeramente mayores que los menores de 40 años en ambas razas. Las mujeres caucásicas presentaban menores tamaños que los hombres caucásicos en menores de 50 años, mientras que en mayores no se hallaron diferencias estadísticamente significativas.

Saxena 1984 estudió 200 cráneos de adultos de sexo desconocido de Uttar Pradesh (India). Las mediciones se realizaron de la misma forma que Post 1969.

La longitud media de los canales derecho e izquierdo fue 2,152 cm y 2,390 cm (estadísticamente significativo), respectivamente. La longitud media del diámetro transversal derecho fue 0,410, y del izquierdo 0,394. La longitud media del diámetro anteroposterior derecho fue 0,426, y del izquierdo 0,434. El diámetro anteroposterior de la apertura superior fue mayor que el diámetro transversal en ambos lados (solo estadísticamente significativo en lado izquierdo). El canal derecho tenía un mayor diámetro transversal que el izquierdo (estadísticamente significativo), pero su diámetro anteroposterior era menor que en el lado izquierdo (no estadísticamente significativo).

La correlación entre la longitud del canal derecho con el diámetro anteroposterior no fue significativa. Sin embargo, las correlaciones entre la longitud del canal derecho con el diámetro transversal; la longitud del canal izquierdo con el diámetro

anteroposterior; y la longitud del canal izquierdo con el diámetro transversal sí fueron significativas. Se halló una correlación positiva en ambos lados entre la longitud del canal y la longitud de la nariz.

Steinkogler 1986 estudió 25 hemicráneos izquierdos y 26 derechos para definir los ángulos y medidas de las estructuras lagrimales óseas y establecer posibles conexiones entre la estenosis postsacal y ciertas configuraciones óseas del sistema lagrimal. El principal objetivo fue determinar el ángulo entre la fosa lagrimal y la dirección principal del canal nasolagrimal, así como los ángulos hallados en el curso del canal nasolagrimal.

Se rellenaron el canal y la fosa con resina epoxy. Se realizaron radiografías (anterior, posterior y lateral), para asegurarse de que todo el sistema estaba completamente relleno de resina, y mostrar la posición y tortuosidad del molde. A continuación, el hueso circundante se disolvió químicamente, y los moldes de resina quedaron libres. Los moldes se midieron para saber la longitud y diámetro medios del conducto nasolagrimal. El ángulo máximo entre la fosa lagrimal y el canal nasolagrimal no se midió propiamente, sino que se utilizó un método trigonométrico-fotográfico para definir los ángulos del sistema lagrimal óseo, y el ángulo máximo entre la fosa lagrimal y el canal nasolagrimal. Se fotografiaron los moldes desde dos lados perpendiculares y las fotos se examinaron y se midieron. En las fotos se trazó la estructura del molde y se dibujaron los ejes geométricos. Estos ejes describían dos ángulos, que mostraban la proyección del máximo

ángulo hacia los dos planos perpendiculares de los moldes. Por un método de proyección de ángulo recto, se construyó el tamaño del ángulo máximo.

El canal óseo se dirigía principalmente en dirección dorsomedial y mostraba una considerable variabilidad. En todos los casos el canal nasolagrimal se dirigía medialmente en visión frontal. En el 82,4% se midió un ángulo dirigido hacia dorsal en visión lateral. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas en el ángulo máximo entre hombres y mujeres, y tampoco entre los lados derecho e izquierdo.

Ipek et al 2007 evaluaron no solo las características morfológicas y tipos, sino también las medidas morfométricas del surco lagrimal, que es una parte importante de la pared del canal nasolagrimal, en 60 (30 derechos y 30 izquierdos) cadáveres de adultos turcos (hombres y mujeres).

Para las mediciones utilizaron un compás digital con sensibilidad de 0,01 mm para medir las estructuras anatómicas entre el límite superior del proceso frontal de la maxila y la crista del canal nasolagrimal, que fueron los límites superior e inferior respectivamente del surco lagrimal.

La longitud media del surco lagrimal fue $9,62 \pm 2,10$ mm y su anchura media fue $5,88 \pm 1,53$ mm en tercio superior, $8,04 \pm 2,05$ mm en tercio medio, y $5,94 \pm 1,28$ mm en tercio inferior. La dirección del surco lagrimal fue inferior perpendicular en 83,3% y posterior en 16,7%. En 87,7% de los casos se halló una crista al final del

surco lagrimal cuya dirección fue en el 34% vertical inferior, en el 54% posterior y en el 12% horizontal.

Se observaron 6 tipos de surco lagrimal: forma de S (11,3%), forma de barco (1,6%), forma de reloj de arena (11,3%), forma de cilindro (59,7%), forma de barril (11,3%), y forma de embudo (4,8%), con la entrada más ancha que la parte inferior.

Takahashi et al 2011 realizaron mediciones en 29 cadáveres japoneses (37 órbitas de 19 hombres y 20 órbitas de 10 mujeres), de 61 a 96 años en el momento de la muerte, sin historia previa de cirugías ni enfermedades lagrimales, de párpados, orbitarias, u otorrinolaringológicas.

Se midieron los diámetros anteroposterior y transversal de la entrada del canal óseo nasolagrimal con una regla milimétrica y se tomaron fotografías con cámara digital. Los diámetros medios anteroposterior y transversal fueron 6,9 mm (rango 4,0-9,5) y 5,7 mm (rango: 4,0-10,0 mm), respectivamente. Los diámetros anteroposteriores medios en hombres fueron 6,8 mm (rango 4,0-9,5 mm) y en mujeres 7,2 mm (rango 4,0-9,5 mm). Los diámetros transversales medios en hombres fueron 6,1 mm (rango 4,0-10,0 mm), y en mujeres 5,0 mm (rango 4,0-7,5 mm).

No hallaron diferencia estadísticamente significativa entre géneros en el diámetro anteroposterior. Tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa en cuanto al género en la edad media en el momento de la muerte.

El diámetro transversal de la entrada del canal óseo nasolagrimal fue significativamente más pequeño en mujeres que en hombres. Este hecho puede ser un factor contribuyente a la mayor incidencia de PANDO en mujeres.

El objetivo de Takahashi et al 2013 fue determinar el diámetro más estrecho del canal óseo, estudiando para ello 29 cadáveres de japoneses (12 hombres y 17 mujeres con edad media en el momento de la muerte de 83,4 años, rango 70-99 años). Ninguno tenía historia de enfermedades o cirugías lagrimales, orbitarias, maxilofaciales o nasales. Se expuso la mitad medial del canal óseo en 44 canales de 22 cadáveres. En 14 canales de 7 cadáveres se expuso la parte posterior del canal óseo.

Se determinó a la inspección la parte del canal con el diámetro anteroposterior o transversal más corto y se midió la distancia desde la entrada del canal con una regla milimetrada. La ratio de distancia indica la localización del mínimo diámetro en relación con la longitud total del canal y se calculó como (distancia desde la parte con el mínimo diámetro a la entrada/longitud del canal óseo) x 100. Estos valores se determinaron a lo largo de la línea entre los puntos medios en la entrada y la salida del canal. Los diámetros se examinaron perpendiculares a la línea. Las medidas se repitieron 2 veces por uno de los autores, y cuando había dos medidas diferentes, se obtenía una tercera y se calculaba la media. Se tomaron fotografías con una cámara digital.

Los canales se dividieron en cuatro grupos: mínimo diámetro anteroposterior a la entrada del canal (grupo 1), mínimo diámetro transversal a la entrada del canal

(grupo 2), mínimo diámetro anteroposterior en el canal (grupo 3) y mínimo diámetro transverso en el canal (grupo 4).

Los diámetros más cortos anteroposterior y transverso estaban a la entrada del canal en 32 de los 44 canales (72,7%), y en 9 de los 14 canales (64,3%), respectivamente (grupos 1 y 2). En los grupos 1 y 2 la mitad posterior y medial de los canales siempre mostraba una forma de embudo. En los grupos 3 (12 canales de 10 cadáveres), y 4 (5 canales de 3 cadáveres), la distancia media desde la entrada del canal al punto de diámetro mínimo (anteroposterior y transverso respectivamente) fue $3,6 \pm 2,3$ mm y $5,6 \pm 3$ mm (ratios de distancia $29\% \pm 18,1\%$ y $46,7\% \pm 22,5\%$ respectivamente). En los grupos 3 y 4 las mitades posterior y medial del canal siempre mostraban forma de reloj de arena.

Los diámetros medios mínimos anteroposterior y transverso fueron $5,6 \pm 1,2$ y $5,6 \pm 0,7$ mm, respectivamente. Los diámetros medios de la entrada del canal anteroposterior y transverso fueron $5,9 \pm 1,2$ y $6,1 \pm 1,1$ mm, respectivamente. No se halló diferencia estadísticamente significativa en la edad media de la muerte entre géneros. El diámetro transverso de la entrada del canal fue significativamente menor en mujeres que en hombres.

Los autores concluyeron que los diámetros más cortos anteroposterior y transverso estaban a la entrada del canal en la mayoría de canales nasolagrimales óseos, concordando esto con la tasa de obstrucción en la entrada del canal en la PANDO.

Tao et al 2014 estudiaron 20 cadáveres de adultos chinos (14 hombres y 6 mujeres). Las medidas se realizaron con una pinza deslizante (0,02 mm de precisión). La sección transversal de cada parte del canal nasolagrimal óseo se calculó de acuerdo a la fórmula, $S = \pi ab$, donde S indica el área elíptica, y a y b indican la mitad de los diámetros largo y corto, respectivamente. La longitud, el diámetro anteroposterior, y la profundidad de la fosa lagrimal fueron $17,85 \pm 1,72$ mm, $6,74 \pm 1,28$ mm, y $3,09 \pm 0,78$ mm, respectivamente. Las mediciones realizadas en la apertura superior del canal fueron: diámetro largo $6,28 \pm 2,17$ mm, diámetro corto $5,89 \pm 2,14$ mm y área seccional $29,04 \pm 3,40$ mm². Las mediciones en la parte media del canal fueron: diámetro largo $5,86 \pm 1,97$ mm, diámetro corto $5,68 \pm 1,90$ mm, área seccional $26,19 \pm 2,96$ mm². Las mediciones en la apertura inferior del canal fueron: diámetro largo $8,52 \pm 3,16$ mm, diámetro corto $6,50 \pm 2,07$ mm y área seccional $43,50 \pm 5,60$ mm². La apertura inferior del conducto nasolagrimal óseo era la más grande, seguido por la apertura superior y la parte media. Ambas aperturas superiores e inferiores eran casi redondas u ovaladas. La longitud del conducto nasolagrimal óseo fue $13,40 \pm 2,68$ mm. Los espesores de la pared interna del conducto nasolagrimal fueron $1,17 \pm 0,48$, $0,76 \pm 0,39$, y $0,40 \pm 0,22$ mm en el tercio superior, tercio medio, y tercio inferior, respectivamente. Los autores observaron que la parte media y media posterior de la fosa lagrimal fueron las áreas más finas de la fosa lagrimal.

3.3.2. Mediciones realizadas en radiografía convencional

Truchot et al 1953 afirmaron que la longitud del canal nasolagrimal óseo era de 10 mm. La luz del canal era circular en el origen, y se aplanaba a continuación transversalmente, siendo su diámetro anteroposterior de 3 mm, y su diámetro transversal de 2,5 mm. Estos valores eran una media, con variaciones según el nivel del canal y el individuo. Los autores afirmaron que los dos canales óseos eran de iguales dimensiones. En la mayoría de los casos, las dimensiones del orificio inferior oscilaban entre 7 y 10 mm de longitud en sentido anteroposterior, y entre 4 y 6 mm de longitud en sentido transversal. El orificio superior tenía una forma ovalada, un poco menos alargada en el sentido anteroposterior. El diámetro anteroposterior variaba entre 4 y 5 mm; el diámetro transversal entre 3 y 4,5 mm. El orificio superior no pudo en ocasiones ser medido por mala o nula visualización.

Phillips et al 1956 compararon los tamaños de los canales óseos observados en un grupo de sujetos normales con un grupo de pacientes con epífora. Los grupos control y de enfermos estaban equilibrados en cuanto a sexo, y cada control se eligió si su edad estaba dentro de los 3 años de al menos uno de los pacientes, con 3 excepciones: los pacientes con epífora F 78 y M 52 no se parearon, y F 65 se controló con F 60. Los pacientes con epífora se enviaban al departamento de Radiología, donde se realizaban las radiografías. En total se reclutaron 17 pacientes con epífora, con 20 conductos obstruidos. 4 de los 20 casos con epífora tenían la vía patente y la causa de la epífora no estaba clara. Para el grupo

control se tomaron 12 pacientes referidos para radiografía de cráneo, senos, dientes, tórax, etc. Fue imposible obtener vistas satisfactorias de los extremos superior e inferior del canal nasolagrimal óseo, así que el objetivo fue el extremo superior. Los criterios de exclusión fueron anomalías de los puntos o de los canalículos, o historia de lesión o cirugía facial o del sistema lagrimal. No se registró ningún caso con obstrucción del canalículo común junto con obstrucción del conducto nasolagrimal. Las áreas se estimaron a partir de una rejilla en un cristal superpuesto a la radiografía. El área media de entrada al canal en los controles fue 24,35 mm², y en el grupo de pacientes con epífora 23,1 mm² en el lado con epífora y 22,16 mm² en el lado sin epífora.

No se halló diferencia estadísticamente significativa entre lados derecho e izquierdo en grupo control, ni entre la edad media del grupo control y el de pacientes. Tampoco se halló diferencia entre el área media de la entrada del canal nasolagrimal óseo entre pacientes y controles, ni en las medias de los pacientes con vía completamente obstruida a la irrigación y los controles.

Aunque parecía que los lados derecho e izquierdo diferían más en el grupo de pacientes que en el de controles, no se halló diferencia estadísticamente significativa entre los grupos control y el de pacientes en la diferencia media entre los lados derecho e izquierdo. En casos de epífora unilateral, no se halló diferencia estadísticamente significativa del lado con epífora en cuanto al tamaño de la entrada respecto al lado asintomático.

Los autores concluyeron que el área media de la entrada en un grupo de pacientes con epífora y obstrucción del conducto nasolagrimal, es casi idéntica a

la de otro grupo sin epífora controlado para edad y sexo. Aunque las anomalías óseas puedan a veces influir en casos de epífora, los autores opinan que su importancia como causa de epífora es pequeña.

Kesavachar 1958 estudió radiografías de ambos lados para visualizar la entrada al canal nasolagrimal de pacientes con epífora (24 ojos) y de casos sin epífora (21 ojos). Se midieron la anchura máxima y la longitud máxima, y se calculó el área a partir de ambas mediciones, comparándose entre ambos grupos. Se excluyeron los casos con causas de epífora como oclusión de los puntos lagrimales, malposición de las pestañas, cicatrices, errores refractivos, etc. En más del 60% de los pacientes con epífora, se comprobó permeabilidad al menos parcial de las vías en la irrigación forzada. Solo 3 pacientes eran mujeres de un total de 24 pacientes. Los autores afirman que esto probablemente no tenga un significado especial. Todos los pacientes tenían entre 17 y 39 años. Los casos normales se eligieron entre aquellos que no presentaban queja de epífora.

En las series normales la medición mínima fue $16,5 \text{ mm}^2$ y la máxima $42,75 \text{ mm}^2$, y la diferencia entre los lados derecho e izquierdo en la mayoría de los casos varió de $1,5$ a 4 mm^2 , excepto en dos casos en los cuáles la diferencia fue $7,5$ y 8 mm^2 , indicando probablemente un leve grado de asimetría facial. La media de las 21 entradas normales fue $32,60 \text{ mm}^2$. Por otro lado, en los ojos con epífora la medición mínima fue $11,25 \text{ mm}^2$ y la máxima $40,5 \text{ mm}^2$.

La media de las 15 entradas de los ojos con epífora fue $25,78 \text{ mm}^2$, representando una considerable y significativa diferencia de aproximadamente 7

mm² entre las entradas de los canales normales y anormales, siendo éstos últimos más estrechos. Incluso asumiendo un error involuntario en la toma de mediciones, esta diferencia de aproximadamente 7 mm² no puede explicarse por esta razón. Parece razonable pensar que la entrada del canal nasolagrimal en los ojos con epífora es más estrecha.

Los autores concluyeron que en un buen número de estos ojos con epífora, en los cuáles la entrada al canal es más estrecha, la obstrucción parcial se produce por hipertrofia de la mucosa del conducto. Esto se ve apoyado por el hecho de que en el 60% de los casos de epífora, se puede demostrar permeabilidad de la vía en la irrigación forzada. Las anomalías congénitas probablemente desempeñen un papel menor.

Shukla et al 1965 realizaron una investigación aleatorizada de 50 casos de dacriocistitis crónica, con edades entre 4 y 80 años, 21 hombres y 29 mujeres, y 10 controles. Se midió la superficie delimitada por el contorno elíptico correspondiente a la entrada del canal nasolagrimal contando el número de cuadrados cubiertos de un papel cuadriculado transparente.

En los controles, el área de entrada del canal fue 4,4 mm² más pequeña en mujeres. Sin embargo, dado que en los controles existía una diferencia en las medias de los lados derecho e izquierdo de 5,6 mm², los autores consideran que esta diferencia no tiene significación estadística. No hubo apenas diferencia en el área media de entrada del canal nasolagrimal entre los casos normales (23,6 mm²) y los casos bilaterales de dacriocistitis crónica (22,7 mm²). De forma similar,

en los casos unilaterales la diferencia en la media entre los lados normal y afectado fue solo 3,8 mm², mientras que en los casos normales fue 5,6 mm². Los autores opinan que el área de entrada del canal nasolagrimal no es un factor contribuyente en la patogénesis de la dacriocistitis crónica. Sin embargo, la forma del canal parece ser un factor importante, pudiendo un septo o un espolón óseo causar estenosis como se observó en uno de los casos.

Ruiz Barranco et al 1977 trataron de explicar el predominio de estenosis lagrimales en el sexo femenino estudiando radiológicamente las vías lagrimales. Para ello estudiaron 120 pacientes con vías lagrimales permeables, 60 hombres y 60 mujeres, divididos en varios grupos de edad. Se realizó un lavado de vías lagrimales antes de la radiografía, para evitar cualquier imagen anómala. La radiografía la realizan durante la inyección de contraste por el canalículo inferior.

Observaron que la longitud del canal lacrimonasal (desde su punto de unión con el saco a su desembocadura en el meato nasal), la anchura del canal lagrimonasal (diámetro transversal en proyección anteroposterior)-en caso de que hubiese dilataciones o estrecheces, tomaron la medida del diámetro mayor y del menor e hicieron la media-, el ángulo del canal lagrimonasal con el saco lagrimal y ángulo del canal lagrimonasal con la línea sagital (ángulo que forma la prolongación del eje longitudinal del canal lagrimonasal con la línea sagital), eran mayores en hombres que en mujeres. La longitud del canal lagrimonasal fue 1,70 cm en mujeres y 2,13 cm en hombres, y la anchura del canal lagrimonasal fue 0,18 cm en mujeres y 0,20 en hombres.

Hallaron una correspondencia de tamaño entre las medidas craneales y las de las vías lagrimales: a mayor tamaño del cráneo, mayor tamaño de las vías lagrimales. La angulación del canal lagrimonasal-saco fue mayor en hombres, con más tendencia a acercarse a los 180°. No hallaron relación con la edad de la anchura del canal ni de la angulación del canal lagrimonasal-saco. Observaron una tendencia de la longitud del canal lagrimonasal a aumentar con la edad en ambos sexos hasta los 65 años, y a partir de ahí comenzaba a disminuir. El ángulo canal lagrimonasal-línea sagital (13° de media) es el único parámetro que no se relacionaba con la edad, ni con el sexo, ni con las medidas de las estructuras craneales.

Los autores concluyen que los canalículos son iguales en anchura y angulación en ambos sexos; que el saco lagrimal es mayor en hombres que en mujeres tanto en longitud como en anchura; que el canal lagrimonasal también es mayor en hombres que en mujeres tanto en longitud como en anchura, y que la angulación canal lagrimonasal-saco lagrimal es más abierta en hombres que en mujeres.

3.3.3. Mediciones realizadas en tomografía computarizada

El objetivo de Groell et al 1997 fue realizar mediciones morfométricas del sistema de drenaje lagrimal con TC de cortes finos para establecer estándares anatómicos de base y describir variaciones anatómicas del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal. Se incluyeron TC axiales de cabeza de 147 pacientes (80 mujeres y 67 hombres), estudiados por varios problemas (principalmente intracerebrales, relacionados con patologías de la fosa posterior), no relacionados con la órbita,

los senos paranasales, o la cavidad nasal, para asegurarse de que podían considerarse normales con respecto al sistema de drenaje lagrimal. Se excluyeron pacientes con signos clínicos de epífora u ojo seco, o infección de las vías respiratorias altas.

En ambos lados, se midió la anchura del canal nasolagrimal en cada nivel axial. Para el conducto nasolagrimal y el saco nasolagrimal, las mediciones de longitud se realizaron en ambos lados multiplicando el número de escáneres consecutivos que mostraban el conducto nasolagrimal y el saco lagrimal por el grosor del corte. Adicionalmente, en 96 pacientes estaban disponibles las imágenes MPR (multiplanares reformateadas), que se obtuvieron en los planos coronal y sagital del canal nasolagrimal, en ambos lados. La longitud del conducto nasolagrimal se midió directamente en las imágenes MPR en ambos lados y se comparó con los valores de longitud evaluados en los cortes axiales, como se ha descrito anteriormente.

Las imágenes se analizaron en una estación de trabajo para imagen digital (Sienet Magic-View 1100, Siemens, Erlangen, Germany). El tipo de imagen utilizada fue TC axial (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Germany) de cabeza, de cortes finos (2-3 mm) consecutivos obtenidos con una matriz de 512^2 paralela al plano palato-occipital.

La media de edad fue de 58 ± 21 años (rango: 19-84 años). La longitud media del conducto nasolagrimal fue $11,2 \pm 2,6$ mm (rango: 6-21 mm). El diámetro transversal más estrecho del canal nasolagrimal fue $3,8 \pm 0,7$ mm (rango: 2-7 mm), predominantemente localizado en la porción media y superior del canal. La

longitud media del saco nasolagrimal fue $11,8 \pm 2,5$ mm (rango: 6-18 mm). La anchura del saco nasolagrimal no excedía los 4 mm, a no ser rellena de aire; el diámetro máximo de un saco lagrimal aireado fue 8 mm. Juntos, el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal midieron $22,9 \pm 3,5$ mm (rango 15-33 mm). La porción intraósea constituye el $48,1 \pm 7,6\%$ (rango: 33,3-66,6%) de la longitud de saco + conducto.

Las diferencias de lado (diferencia media entre las estructuras correspondientes entre los lados derecho e izquierdo, para todos los sujetos) en las longitudes del conducto nasolagrimal fueron $0,4 \pm 1$ mm (rango 0-3 mm). Las diferencias de lado del diámetro más estrecho del canal nasolagrimal fueron $0,5 \pm 0,6$ mm (rango 0-4 mm). Las mediciones de longitud en las imágenes MPR del conducto nasolagrimal se correspondían bien con los valores de longitud evaluados en los cortes axiales (diferencia media: $1,0 \pm 1,4$ mm). Como hallazgos en los TC, en 43 sujetos (29,3%) se vio aire dentro del saco lagrimal o conducto nasolagrimal; en 19 (12,9%) este hallazgo fue bilateral.

Groessl et al 1997 realizaron un estudio retrospectivo, en el cual se midió el diámetro anteroposterior del conducto nasolagrimal óseo a 3 niveles, en cortes axiales de TC, en los lados derecho e izquierdo. Examinaron las TC de 71 adultos (35 mujeres y 36 hombres). Las TC se revisaron en orden alfabético.

Los criterios de inclusión fueron:

- 1) Edad entre 18 y 80 años;

- 2) No evidencia de patología del sistema de drenaje nasolagrimal o de senos en TC;
- 3) Campo de visión estandarizado con mínima rotación del sujeto. Todas los TC eran de cortes de 1,5 a 3 mm, axiales y con ventana de hueso.

Se utilizó un micrómetro para medir el diámetro axial del canal a nivel de la fosa inferior, del conducto nasolagrimal medio y del conducto nasolagrimal bajo en ambos lados. La fosa inferior se usó como el punto de referencia para la primera medida. Los cortes axiales 3 y 6 mm inferiores a este punto se utilizaron también para tomar medidas, correspondiendo estos niveles al conducto nasolagrimal medio y bajo respectivamente. Todas las medidas se realizaron por 2 examinadores. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando prueba t bilateral, análisis de varianza y regresión lineal.

Se halló menor diámetro en mujeres en el conducto nasolagrimal medio y en la fosa inferior. Se observó que la fosa inferior ósea aumenta de tamaño con la edad en hombres y mujeres, mientras que el conducto nasolagrimal medio solo en hombres. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los lados derecho e izquierdo a ningún nivel, ni entre hombres y mujeres en el conducto nasolagrimal inferior.

En este estudio se demuestra una diferencia estadísticamente significativa en las dimensiones del sistema de drenaje nasolagrimal óseo entre hombres y mujeres. La fosa inferior ósea aumenta de tamaño con la edad en hombres y mujeres, coincidiendo con cambios osteoporóticos en el cuerpo. Las diferencias

anatómicas halladas contribuyen a explicar la prevalencia aumentada de obstrucción primaria adquirida del conducto nasolagrimal (PANDO) en mujeres.

Rheeman et al 1998 estudiaron en una serie de 3 casos mediante TC el ensanchamiento asimétrico del canal nasolagrimal y del conducto nasolagrimal en ausencia de neoplasia, que es una patología poco común. Dos pacientes tenían antecedente de dacriocistocele y el tercero no tenía ningún antecedente de patología lagrimal.

Se midieron los diámetros anteroposteriores de ambos lados del canal nasolagrimal óseo en cortes axiales de TC maxilofaciales de 3 mm, comenzando a nivel de la fosa inferior y continuando en sentido inferior a intervalos de 3 mm hasta que el canal alcanzaba la cavidad nasal. Debido a la diferente longitud de los canales óseos, cada caso tenía distinto número de medidas (el paciente del canal más corto a 4 niveles y el del más largo a 6 niveles).

La tabla 1 recoge los diámetros anteroposteriores máximos de los canales nasolagrimales fueron 12,5 mm, 15,4 mm y 15,1 mm, todos ellos por encima del rango normal (8 mm Whitnall 1921 y 10 mm Groessl et al 1997).

Tabla 1. Mediciones antero-posteriores del CNL (tomada de Rheeman et al 1998)

Rheeman and Meyer · Nasolacrimal Canal Enlargement

Table 1. Anteroposterior Measurements of the Nasolacrimal Canal

Level	Case 1 (mm)		Case 2 (mm)		Case 3 (mm)	
	Right	Left	Right	Left	Right	Left
Inferior fossa	4.2	6.3	11.6	10.3	7.4	4.5
3 mm below inferior fossa	4.2	6.0	11.0	9.2	9.9	5.6
6 mm below inferior fossa	4.6	8.3	11.0	9.4	11.9	7.4
9 mm below inferior fossa	8.1	12.5	12.7	9.9	15.1	8.4
12 mm below inferior fossa			14.9	8.8	14.9	9.3
15 mm below inferior fossa			15.4	4.4		

El objetivo de Janssen et al 2001 fue determinar la distribución normal de los diámetros del canal óseo en la población de estudio, y esclarecer si hay una asociación entre el diámetro del canal óseo y la PANDO. En el grupo control, incluyeron 50 hombres y 50 mujeres con trastornos de los senos, nariz, o epifaringe, y sin epífora, presentados en su departamento entre diciembre de 1997 y junio de 1998. En el grupo de pacientes incluyeron 19 adultos con epífora debida a PANDO (15 mujeres y 4 hombres con edad media de 58 años, rango 38-87 años), con un total de 24 conductos nasolagrimales obstruidos. En este grupo Estos sujetos se seleccionaron de un grupo de 200 pacientes con epífora debida a obstrucción del sistema de drenaje lagrimal, que fueron tratados con dacriocistoplastia con balón entre septiembre de 1992 y julio de 1997. De los 200 pacientes tratados con dacriocistoplastia con balón, 19 pacientes con 24 sistemas obstruidos fueron seleccionados para inclusión en el estudio, porque en ellos se había determinado el mínimo diámetro del canal lagrimal óseo mediante TC antes de la dacriocistoplastia con balón.

En el grupo de pacientes, el grado de la obstrucción se determinó mediante dacriocistografía de sustracción digital antes de la dacriocistoplastia con balón. De

los 24 sistemas obstruidos, 20 obstrucciones se extendían hasta la unión del saco con el conducto, 18 hasta el conducto lagrimal, y 8 hasta la válvula de Hasner. La obstrucción proximal al saco se halló en 3 casos. Los criterios de inclusión para la dacriocistoplastia con balón incluían obstrucción completa o parcial del tracto del saco lagrimal, la unión entre el saco y el conducto, el conducto o la válvula de Hasner. Los criterios de exclusión incluían dacriocistitis activa, reflejo de hipersecreción de lágrimas, malformación palpebral, obstrucción de los canaliculos, disfunción del mecanismo de bomba lagrimal y obstrucción secundaria adquirida del conducto nasolagrimal (obstrucción postraumática del canal óseo, tumor, sarcoidosis o granulomatosis de Wegener). La dacriocistoplastia se realizó en lado derecho en 9 pacientes, en el lado izquierdo en 5 pacientes y bilateral en 5 pacientes. La dacriocistoplastia se realizó en 10 obstrucciones completas, requiriendo recanalización del sistema de drenaje lagrimal utilizando una guía, y en 14 obstrucciones parciales.

Los autores midieron el mínimo diámetro del canal lagrimal óseo observado en cualquiera de los cortes de TC axial con cortes de 2 mm de grosor, en ventana de hueso. Los diámetros fueron medidos por 2 de los autores, utilizando herramientas para efectuar medidas en una pantalla de ordenador.

La edad media en el grupo control de los hombres fue de 48 años (rango 20-83 años), y la de las mujeres 47 años (rango, 17-81 años). El diámetro mínimo medio del canal óseo en el grupo control fue 3,5 mm (rango 1,5-6,3 mm). Se observó una diferencia estadísticamente significativa en el diámetro mínimo medio entre hombres (3,70 mm, rango 2-6,3 mm) y mujeres (3,35 mm rango 1,5-5,4) en el

grupo control. No se halló asociación entre la edad y el diámetro mínimo del canal óseo en el grupo control.

En el grupo de pacientes, el diámetro mínimo medio del canal óseo fue 3,0 mm (rango 2-4,2 mm). El diámetro mínimo medio del canal óseo en los 5 hombres con obstrucción fue 2,6 mm y en las 19 mujeres con obstrucción fue 3,1 mm. No se halló diferencia entre hombres y mujeres en el diámetro mínimo en el grupo de pacientes. El diámetro mínimo medio en el grupo de pacientes fue significativamente más pequeño que en el grupo control.

En 9 de los 24 sistemas obstruidos tratados con dacriocistoplastia con éxito, el mínimo diámetro medio del canal óseo fue 3,1 mm, y en los 15 sistemas obstruidos en los cuáles la dacriocistoplastia no tuvo éxito fue 2,9 mm. Sin embargo esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Se halló una asociación inversa estadísticamente significativa entre la edad y el diámetro mínimo del canal óseo en el grupo con obstrucción adquirida del sistema de drenaje lagrimal (a más edad menor diámetro), aunque no se encontró explicación para este hallazgo. Para el análisis estadístico se empleó el test de la t de Student para muestras independientes y pareadas.

Como conclusión, los autores afirman que un pequeño diámetro del canal óseo parece ser uno de los factores etiológicos de la PANDO.

Siricki et al 2001 realizaron una revisión retrospectiva de un período de 2 años, de secciones coronales de 2,5 mm de espesor de 950 TC de senos paranasales

obtenidos por una variedad de razones, como cefalea o sinusitis, para determinar el diámetro en el plano coronal y la forma estándar del canal nasolagrimal. Ninguno de los pacientes tenía signos o síntomas que sugiriesen patología del canal nasolagrimal. Se determinaron las anomalías en la configuración y el diámetro coronal superior e inferior del canal nasolagrimal. Se incluyeron 450 mujeres con edad media de $37 \pm 11,8$ años, y 500 hombres con edad media de $37 \pm 13,1$ años. No se halló diferencia en la edad media entre hombres y mujeres (Chi^2 , $p > 0,05$). Los pacientes también estaban ajustados para la variable sexo ($\text{Chi}^2=106$, $p < 0,01$).

La porción superior del canal se midió en la sección en la que el canal nasolagrimal comenzaba a ser óseo en los dos lados, aproximadamente al nivel de la porción bulbosa del cornete medio. La porción inferior del canal se midió en la sección donde se veía el último segmento del canal nasolagrimal, cuando desaparecía el hueso en el lado medial del canal, a nivel del meato inferior.

Los diámetros coronales medios del canal nasolagrimal fueron $4,8 \pm 1,2$ mm en el lado derecho y $4,7 \pm 1,1$ mm en el izquierdo. En el lado derecho, el diámetro del canal en la porción superior fue 4,6 mm en mujeres y 4,7 mm en hombres; y en la porción inferior del canal fue 4,8 mm en mujeres y 5 mm en hombres. En el lado izquierdo, el diámetro del canal en la porción superior fue 4,6 mm en mujeres y 4,6 mm en hombres, y en la porción inferior del canal 4,8 mm en mujeres y 4,9 en hombres. No se halló diferencia estadísticamente significativa en el diámetro coronal medio entre ambos lados, entre los límites superior e inferior o entre hombres y mujeres.

Se halló una dilatación anormal de la parte inferior (2 ó 3 veces mayor que la parte superior) del canal nasolagrimal (de apariencia fusiforme) en dos casos (hombres de 29 y 39 años). Los diámetros de las partes superior e inferior fueron 3,2 y 9 mm en el lado derecho, y 3,2 y 7 mm en el lado izquierdo en uno de los pacientes. En el otro paciente, los diámetros de las partes superior e inferior fueron 3,5 y 7 mm en el lado derecho, y 3 y 6 mm en el lado izquierdo.

Una marcada dilatación idiopática y congénita del canal nasolagrimal puede ocurrir en ausencia de neoplasia o proceso obstructivo. La dilatación segmentaria no siempre es un indicador de patología, sobre todo en casos asintomáticos y puede ser considerada una variación anatómica rara.

El objetivo de Shigeta et al 2007 fue determinar los diámetros del canal nasolagrimal óseo, y evaluar diferencias por edad y sexo mediante un estudio retrospectivo en población japonesa. Entre el 1 de enero de 2002 y el 31 de diciembre de 2004, 368 pacientes se sometieron a un TC de senos estándar axial por patología maxilofacial. Se incluyeron 314 (de los 368) pacientes sin epífora y sin evidencia de condiciones patológicas que afectasen al canal nasolagrimal óseo. Se usó escáner de alta velocidad (General Electric CT HiSpeed Advantage; GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin), obteniéndose imágenes axiales contiguas de 3 a 5 mm, paralelas al suelo orbitario, a 120 kVp, de 40 a 300 mA y reconstrucción de hueso. Las imágenes se transfirieron a un PC (VAIO PCV-RZ55; Sony, Tokyo, Japan), conectado a un monitor a color de alta resolución

(SDM-S74H; Sony, Tokyo, Japan). Las mediciones anatómicas se realizaron con Photoshop CS (Adobe Systems, San José, California).

Los autores consideraron que, dado que el menor diámetro se localiza habitualmente en la mitad del canal, 2 investigadores midieron los diámetros anteroposterior y transversal, así como el área seccional del canal nasolagrimal óseo al nivel del reborde orbitario inferior. Identificaron los puntos más anteriores del canal nasolagrimal óseo en cada sección de TC y calcularon el ángulo que formaba la línea que unía dichos puntos con la línea del suelo nasal. Para calcular la línea del suelo nasal tomaron 2 puntos: el primer punto correspondiendo con punto más anterior del paladar duro en el primer corte en el que aparece dicha estructura desde el reborde orbitario inferior y el segundo punto correspondiendo con el punto más posterior del paladar duro en el último corte en el que aparece. El ángulo entre estas dos líneas calculadas se midió como el ángulo entre el canal nasolagrimal óseo y el suelo nasal.

Para realizar los test estadísticos se utilizó la versión 11.0J para Windows del SPSS Software, Chicago, Illinois. El test no paramétrico de Mann-Whitney se usó para comparaciones entre sexos, y el test de Kruskal-Wallis para comparaciones de edad. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de hombres y mujeres en cuanto a la distribución de edad.

El diámetro anteroposterior medio fue 5,6 mm: lado derecho 5,6 mm y lado izquierdo 5,7 mm. El diámetro transversal medio fue 5,0 mm: lado derecho 5,0 mm y lado izquierdo 4,9 mm. El área seccional fue 22,6 mm²: lado derecho 22,5 mm² y lado izquierdo 22,6 mm². El ángulo entre el canal nasolagrimal óseo y el suelo

nasal fue 78,3°: lado derecho 78,4 ° y lado izquierdo 78,3°. Las mujeres tuvieron diámetros anteroposterior y transversal significativamente más pequeños (0,6 mm menor el anteroposterior y 0,3 mm menor el transversal). El área seccional del canal nasolagrimal óseo fue un 13% más pequeño en mujeres (estadísticamente significativo). El ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal fue una media de 1,1° más obtuso en hombres (estadísticamente significativo).

Se dividieron los sujetos en 4 grupos de edad (<20, 20-39, 40-59, >59), observándose que con la edad, el diámetro transversal, el área seccional del canal nasolagrimal óseo y el ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal aumentan en hombres (estadísticamente significativo). También observaron que con la edad, el diámetro anteroposterior, el área seccional del canal nasolagrimal óseo y el ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal aumentan en mujeres (estadísticamente significativo). Aunque no estadísticamente significativa, se observó una tendencia del diámetro anteroposterior a aumentar con la edad en hombres y del diámetro transversal a aumentar con la edad en mujeres. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los lados derecho e izquierdo en los diámetros anteroposterior y transversal, área seccional del canal nasolagrimal óseo, ni en el ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal

Los hallazgos en TC fueron: sinusitis paranasal (67%), mucocele (13%), tumores benignos (incluyendo papiloma y angiofibroma) (6%), epistaxis (5%), desviación septal (4%), tumores malignos (incluyendo carcinoma de células escamosas y linfoma maligno) (2%) y trauma (1,5%) .

Los autores concluyen que en mujeres, la estrechez del canal nasolagrimal óseo y el ángulo agudo entre el canal óseo y el suelo nasal predisponen a la inflamación crónica del sistema de drenaje nasolagrimal.

Wladis et al 2005 revisaron TC realizados desde enero hasta marzo de 2005 en 40 pacientes, 20 hombres y 20 mujeres. Se excluyeron las pruebas de imagen realizadas para evaluar la obstrucción del conducto nasolagrimal, así como los casos de traumatismos y enfermedades sinusales que alterasen la anatomía facial. Midieron el diámetro axial mínimo del canal nasolagrimal, usando el sistema de medición de General Electric PACS Workstation, tras marcar los límites superior e inferior del canal en los cortes axiales. La longitud del canal se midió en una imagen coronal.

Los diámetros mínimos medios axiales fueron: 3,78 mm en mujeres frente a 4,67 mm en hombres; 3,507 mm en caucásicos (n=14), 4,44 mm en asiáticos (n=12) y 4,67 mm en afroamericanos (n=14); 3,06 mm en mujeres caucásicas (n=7) frente a 3,96 mm en hombres caucásicos (n=7); 4,25 mm en mujeres asiáticas (n=6) frente a 4,63 mm en hombres asiáticos (n=6); 4,09 mm en mujeres afroamericanas (n=7), frente a 5,18 mm en hombres afroamericanos (n=7). La longitud media del canal nasolagrimal fue 1,35 cm en caucásicos, 1,35 cm en asiáticos, 1,34 cm en afroamericanos y 1,19 cm en mujeres frente a 1,49 cm en hombres.

Con la prueba t para muestras relacionadas, las diferencias en el diámetro axial mínimo medio entre hombres y mujeres, y entre caucásicos y los demás grupos

raciales fueron estadísticamente significativas. Las diferencias entre hombres y mujeres en cada grupo racial fueron estadísticamente significativas, excepto en asiáticos. No hallaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud del canal nasolagrimal entre los diferentes grupos raciales, pero sí entre hombres y mujeres.

Los autores concluyeron que las mujeres tienen canales nasolagrimales más estrechos que los hombres, y los caucásicos tienen canales más estrechos que los otros grupos raciales. Por consiguiente, las mujeres caucásicas tienen los canales más estrechos que cualquier otra combinación racial y de género. La mayor estrechez del canal nasolagrimal en mujeres caucásicas explica probablemente la incidencia aumentada de obstrucción del conducto nasolagrimal en este grupo.

Wilhelm 2009 evaluaron la utilidad y seguridad de la DCG-CBCT (dacriocistografía por tomografía computarizada de haz cónico) en la detección de lesiones, identificación de cambios coexistentes en el tejido blando y determinación de las opciones de tratamiento en pacientes con epífora.

Se realizó DS-DCG (dacriocistografía por sustracción digital) y DCG-CBCT en 45 pacientes con epífora (32 mujeres y 13 hombres, con edad media de 57 años, rango 20-86 años, 17 en el lado izquierdo y 28 en el lado derecho) que fueron referidos para DCG entre marzo de 2005 y marzo de 2007. En los 45 pacientes había 18 estenosis y 19 oclusiones. Se identificaron estenosis, oclusiones y cambios coexistentes como desviación septal y dacriolitos. Se midió el diámetro

del conducto lagrimal óseo de los lados afectado y no afectado, y se relacionó con la epífora. Se evaluaron las dosis de radiación de la DCG-CBCT en comparación con la MSCT (multislice computed tomography). Los pacientes se colocaron en posición supina con la cabeza en una almohada de posicionamiento de gomaespuma para impedir los artefactos por movimiento. Se identificaron en DCG-CBCT la morfología del sistema lagrimal y la patología circundante (desviación septal, espolón septal, perforación septal, sinusitis, pólipos, dacriocèle, dacriolitos, concha bullosa, hipertrofia de cornetes, fístula del conducto lagrimal, tumor y malformación congénita).

Se midió el mínimo diámetro del conducto nasolagrimal óseo en los cortes de CBCT axiales en el lado afectado (lleno de contraste) y en el lado sano (sin contraste). El conducto nasolagrimal óseo del lado con epífora tenía un diámetro mínimo de 4,61 mm (rango 2,48-6,49 mm) versus 4,93 mm (rango 2,72-6,70 mm) en el lado no afectado. Esta diferencia fue estadísticamente significativa en ambos sexos. El lado no afectado fue siempre más ancho que el afectado. Hasta un diámetro de 4,5 mm, existía una relación lineal entre el diámetro óseo del lado afectado y no afectado. No se halló relación lineal entre la edad y el diámetro del conducto. Tampoco se halló relación estadísticamente significativa entre la patología circundante y la epífora.

Los autores concluyen que al estar los niveles de radiación de la CBCT muy por debajo de los de la MSCT, la DCG-CBCT es una técnica segura y rápida para evaluar el sistema lagrimal en pacientes con epífora, y permite mediciones claras del conducto nasolagrimal óseo.

McCormick et al 2009, partiendo de que la incidencia de DCR es alta en el pacífico, buscó diferencias raciales y de sexo en el diámetro del canal nasolagrimal. Se realizó una revisión retrospectiva de TC de todas las series de la base de datos con TC de senos entre agosto de 2002 y mayo de 2006, sin PANDO conocida (se les escribió y preguntó si habían tenido cirugía de vías lagrimales o lagrimeo que les cayera por la mejilla), recogiendo edad, sexo, raza y diagnóstico en el informe del TC. Tras las respuestas al cuestionario los sujetos se dividieron en: 68% sin epífora o cirugía de vía lagrimal, 8% cirugía de vía lagrimal, 32% epífora. Se incluyeron 178 TC (de las 343 TC revisadas) de senos (al ser el protocolo de TC que incluye más probablemente una vista axial a nivel del conducto nasolagrimal), con cortes axiales perpendiculares al canal. Se excluyeron si había ausencia de imágenes axiales, patología que distorsionase el canal nasolagrimal, menores de 18 años, o grupos raciales de pequeño número.

Se midió el mínimo diámetro del canal nasolagrimal en cortes axiales. Entre las imágenes que incluían el canal nasolagrimal, eligieron la imagen que parecía incluir la parte más estrecha del canal. Los puntos inicial y final de medida fueron el reborde interno del canal. Las mediciones se llevan a cabo con la herramienta de medida del IMPAX software que, según los autores, mide hasta 1/10 de mm haciendo click con el ratón en cada extremo de la distancia a medir. El plano de la TC a menudo no era perpendicular, sino oblicuo al canal, obteniéndose una sección elíptica. Los lados derecho e izquierdo se midieron por un único investigador.

Se utilizó la t de Student de dos colas para comparar los diámetros medios, encontrando que las mujeres tienen canales más estrechos que los hombres. No se halló diferencia entre maorís de Nueva Zelanda y caucásicos. A pesar de la mayor incidencia de DCR se encontró que la población del Pacífico tiene canales con mayor diámetro que los caucásicos y que los maorís de Nueva Zelanda. No se halló diferencia entre los lados derecho e izquierdo

Los hallazgos en TC fueron: sinusitis (36%), sin hallazgos (17%), otros (47%) (pólipos nasales, absceso lóbulo frontal, quiste paladar duro, dacrioadenitis, desviación septal, patología del oído medio).

Los autores concluyen que la PANDO es probablemente de etiología multifactorial, y el diámetro del canal nasolagrimal puede no ser un factor significativo. Los autores afirman que el método de medida del estudio del diámetro del canal nasolagrimal en TC es comparable a un estudio de cadáver.

Lee et al 2012 estudiaron retrospectivamente 228 TC (120 hombres y 108 mujeres) realizados en Korea University Medical Center entre enero de 2005 y junio de 2010, para medir los diámetros, ángulos y área seccional del conducto nasolagrimal óseo en pacientes sin epífora y sin evidencia de enfermedades que afectasen al canal nasolagrimal óseo. Se obtuvieron imágenes contiguas de 3 mm axiales y sagitales, paralelas y perpendiculares al suelo orbitario. Un solo investigador midió en las imágenes axiales los diámetros internos (excluyendo la parte ósea) anteroposterior, transverso y mínimo, y el área seccional (calculada a partir de los diámetros anteroposterior y transverso) del canal nasolagrimal óseo a

nivel del reborde orbitario inferior (el primero que mostraba la porción central del reborde orbitario inferior). También se midió el ángulo formado por la línea que unía las partes proximal y distal del canal nasolagrimal óseo con una línea paralela al suelo nasal, en el corte sagital donde aparecía el canal nasolagrimal más largo y en el que eran visibles sus límites proximal y distal.

La edad media fue de 37,3 años: mujeres 37,7 años (rango 1-82 años) y hombres 35,1 (rango 1-86 años). No hubo diferencia significativa en la proporción de hombres y mujeres en cada grupo de edad.

El diámetro anteroposterior fue $6,4 \pm 1,8$ mm ($6,5 \pm 1,9$ mm en hombres y $6,4 \pm 1,7$ mm en mujeres); el diámetro transverso fue $4,5 \pm 1,4$ mm ($4,5 \pm 1,4$ mm en hombres y $4,6 \pm 1,4$ mm en mujeres); el diámetro mínimo fue $3,2 \pm 1,2$ mm ($3,3 \pm 1,3$ mm en hombres y $3,3 \pm 1,2$ mm en mujeres); el área seccional fue $24,1 \pm 12,7$ mm² ($24,2 \pm 13$ mm² en hombres y $24 \pm 12,3$ mm² en mujeres); el ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal fue $63,6 \pm 7,6^\circ$ ($63,6 \pm 7,7^\circ$ mm en hombres y $63,5 \pm 7,4^\circ$ mm en mujeres). El ángulo entre el canal nasolagrimal óseo y el suelo nasal fue significativamente más agudo en pacientes pediátricos (<10 años) que en adultos (>10 años).

No se halló que ninguno de los parámetros se afectase significativamente con la edad en el test de correlación, sin embargo dividiendo en 9 grupos de edad, se halló que los pacientes menores de 10 años tenían todos los parámetros significativamente más bajos que los de los pacientes con más de 10 años; y que el área seccional y los diámetros anteroposterior y transverso del canal óseo mostraban una tendencia a aumentar con la edad en menores de 5 años.

En base a estos resultados, en el sondaje en la obstrucción congénita del conducto nasolagrimal, la sonda debe orientarse más hacia la parte posterior de la cavidad nasal.

El objetivo de Ramey et al 2013 fue caracterizar de forma precisa las diferencias anatómicas en la morfología del canal nasolagrimal normal según edad, género y raza, y describir una nueva y precisa técnica para medir parámetros del canal nasolagrimal en TC de alta resolución.

Se revisaron retrospectivamente las imágenes de TC disponibles de 72 pacientes del Duke University Hospital que se sometieron a TC facial de alta resolución (espesor de corte menor o igual a 2,5 mm) entre el 1 de mayo de 2003 y el 1 de mayo de 2010, y se agruparon de acuerdo a su edad, género y raza. Los datos demográficos se enmascararon al lector de las imágenes. El 44% de los pacientes se incluyeron en la cohorte de los más jóvenes (edad media 24,9 años) y 56% en la de los mayores (edad media 59,6 años). El 50% eran hombres y el 50% mujeres. El 61% eran caucásicos y el 39% negros. Se excluyeron pacientes menores de 18 años, pacientes con historia de sinusitis de larga evolución, traumatismo facial, neoplasia maligna nasofaríngea o patología del conducto nasolagrimal. Los exámenes eran angiografías por TC del polígono de Willis o TC de los senos paranasales. Se obtuvieron los datos contiguos helicoidales axiales con espesor de corte de 0,6 mm. Los parámetros primarios medidos fueron longitud del canal nasolagrimal, volumen del canal, diámetro mínimo del canal, área mínima del canal, localización del diámetro mínimo del canal. Los

parámetros secundarios medidos fueron diámetros axiales máximo y mínimo de las elipses seccionales medidas en las 6 localizaciones normalizadas.

Las imágenes fueron analizadas por un lector (N.A.R.) que recibió entrenamiento y supervisión de un neurorradiólogo (J.K.H.). Usando la función *Vitrea Multiplanar Reformatting* de la *Vitrea Enterprise Suite Workstation* (Vital Images, Inc., Minnetonka, MN, U.S.A.), se dibujó una línea a través del centro del canal nasolagrimal derecho en el plano coronal. Esta línea se ajustó en una tercera dimensión usando las visiones sagitales. Finalmente esta línea se utilizó para definir el eje del canal nasolagrimal, que se verificó en las vistas axiales.

La longitud del canal nasolagrimal (longitud lineal del eje largo del canal nasolagrimal desde su límite distal en el meato inferior hasta su límite proximal en la unión del conducto nasolagrimal con el saco lagrimal) media fue significativamente mayor en hombres que en mujeres (12,3 mm frente a 10,8 mm). La longitud media del canal fue 11,3 mm en negros y 11,7 mm en caucásicos; y 12,1 mm en jóvenes y 11,1 mm en mayores (diferencias no estadísticamente significativas).

El diámetro mínimo medio (menor eje de la elipse seccional creada por la intersección del eje largo del canal con un plano ortogonal), a nivel de 6 localizaciones normalizadas e igualmente separadas a lo largo de la longitud del canal (límite distal, 20% de altura, 40% de altura, 60% de altura, 80% de altura, límite proximal) fue 3,63 mm en hombres y 3,62 mm en mujeres; 3,8 mm en negros y 3,5 mm en caucásicos; 3,4 mm en los jóvenes y 3,8 mm en los mayores (diferencias no estadísticamente significativas).

El área mínima del canal (área de la elipse seccional) media fue 16 mm² en hombres y 14,8 mm² en mujeres; 16,3 mm² en negros y 14,8 mm² en caucásicos; y 13,9 mm² en los jóvenes y 16,6 mm² en los mayores (diferencias no estadísticamente significativas).

El volumen (medido a partir de las 6 localizaciones normalizadas descritas) medio del canal nasolagrimal fue significativamente mayor en hombres que en mujeres (337,9 mm³ frente 274,6) p=0,055. El volumen medio fue 321,3 mm³ en negros y 296,7 mm³ en caucásicos; y 283,7 mm³ en los jóvenes y 324,3 mm³ en los mayores (diferencias no estadísticamente significativas). El volumen del canal nasolagrimal fue significativamente mayor en hombres jóvenes que en mujeres jóvenes (327 mm³ frente a 244 mm³) p=0,05. La media de localización del diámetro mínimo del canal (distancia a lo largo del eje largo del canal, medida desde su límite distal) estuvo entre 7,6 y 8,1 mm en los distintos grupos.

Se hallaron diferencias significativas en el diámetro del canal a nivel del ápex y de la base del canal en los pacientes de más edad. Los mayores diámetros axiales (de las elipses seccionales) en el límite proximal (superior) y al 80% de altura del canal fueron significativamente mayores en pacientes de mayor edad (aproximadamente 0,5% de aumento cada año). Los menores diámetros axiales fueron significativamente mayores con la edad en el límite distal (inferior) y al 20% de altura (aproximadamente 0,4% de crecimiento al año).

El área seccional en el límite distal del canal nasolagrimal y al 20% de altura fue significativamente mayor en negros que en caucásicos. No se hallaron diferencias

significativas de género en el diámetro o en el área seccional a lo largo de la longitud del canal.

El área seccional mínima del canal fue mayor en pacientes de mayor edad. Se observó una tendencia al aumento del diámetro seccional del canal en pacientes mayores de 50 años con respecto a los pacientes más jóvenes.

Se estudiaron los efectos de la edad (edad como variable continua) en las mediciones primarias usando modelos de regresión lineal, y se halló que en pacientes negros existía una tendencia estadísticamente significativa de mayores valores de mínimo diámetro del canal, mínima área seccional y volumen del canal a mayor edad. En cuanto al género no se hallaron relaciones estadísticamente significativas para ninguna de las mediciones primarias.

Los autores concluyen que, aunque existen variaciones significativas en la morfología del canal nasolagrimal en cuanto a edad, género y raza, éstas no explican totalmente la epidemiología de la obstrucción primaria adquirida del conducto nasolagrimal. Afirman que su nuevo método de medida del canal nasolagrimal descrito es directo y teóricamente más preciso que los definidos previamente en la literatura.

Fasina et al 2013, partiendo de que los africanos de raza negra tienen una menor prevalencia de PANDO (atribuida a un mayor tamaño del conducto nasolagrimal), estudiaron una muestra de población normal adulta de raza negra de Nigeria para determinar el diámetro del canal nasolagrimal óseo.

Los autores midieron de forma retrospectiva el menor diámetro transversal del canal nasolagrimal óseo en imágenes axiales de 401 TC de adultos (286 hombres y 115 mujeres), con una edad media de 48,5 años (rango 16 a 86 años) desde enero de 2006 hasta diciembre de 2010. Se excluyeron los pacientes con evidencia clínica o radiológica de patología orbitaria y sinusal. 378 eran escáneres craneales y 23 de senos paranasales. Solo se usaron las imágenes que incluían una vista axial a nivel del conducto nasolagrimal. Los escáneres generalmente eran perpendiculares al canal. Se elegía la imagen que parecía incluir la parte más estrecha del canal antes de tomar 3 medidas en secciones consecutivas para asegurarse del mínimo diámetro a ese nivel. El inicio y fin de la medida fue el reborde interno del canal. Se podía medir hasta 1/10 de mm.

El diámetro mínimo medio del canal nasolagrimal fue $3,52 \pm 0,69$ mm en hombres y $3,36 \pm 0,64$ mm en mujeres (diferencia estadísticamente significativa). No hallaron diferencias significativas en la edad media entre hombres y mujeres. Tampoco hallaron diferencias significativas entre los grupos de edad (ni en hombres ni en mujeres), ni entre los lados derecho e izquierdo.

El diámetro medio del canal óseo en TC en nigerianos es menor que los publicados en afroamericanos, asiáticos y caucásicos, a pesar de la menor prevalencia de PANDO en la raza negra.

Takahashi et al 2014 compararon el diámetro mínimo del canal nasolagrimal y su localización en pacientes japoneses con y sin PANDO. Se revisaron los pacientes con TC orbitario de abril 2006 a mayo de 2013. Se revisaron todos los pacientes

con PANDO. El diagnóstico se realizó mediante historia clínica, irrigación lagrimal, sondaje, dacrioscopia, y / o dacriocistografía, y se realizó de forma rutinaria TC en pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal para identificar patología nasal y descartar tumores del saco lagrimal. Se excluyeron pacientes con obstrucción incompleta, canalicular, congénita y secundaria (tumor, traumatismo o sarcoidosis). Todos los pacientes con irrigación permeable y sin fractura del canal nasolagrimal óseo se incluyeron en el grupo control y se controlaron por edad. Se incluyeron 101 pacientes con PANDO unilateral (26 hombres, 75 mujeres; edad media, 65,16 años; rango, 29-90 años) y 50 pacientes sin obstrucción del conducto nasolagrimal (20 hombres, 30 mujeres; edad media, 63,40 años; rango, 42-91 años). La edad del paciente y la relación hombres/mujeres fueron similares en ambos grupos ($p = 0,971$ y $p = 0,073$, respectivamente).

Los pacientes fueron divididos en 3 grupos: 101 pacientes con PANDO (Grupo A incluye los 101 lados afectados en pacientes con patología unilateral, y Grupo B comprendía 101 lados no afectados de los mismos pacientes); y 100 lados de 50 pacientes sin obstrucción (Grupo C).

Las mediciones se hicieron por uno de los autores (YT), utilizando la herramienta de medida de un visor (ShadeQuest / ViewR; Yokogawa Medical Solutions Corporation, Tokyo). El reborde orbitario inferior se utilizó como el plano de referencia de la entrada del canal. Se midieron los diámetros anteroposterior y transversal del canal nasolagrimal óseo sobre cada imagen para encontrar el

diámetro mínimo. Se clasificó la forma del canal nasolagrimal óseo en dos tipos: embudo y reloj de arena.

El número de secciones de TC se definió como la distancia desde la entrada hasta la sección con el mínimo diámetro. La reducción en el diámetro en los tipos reloj de arena se calculó restando el mínimo diámetro al diámetro en la entrada del canal. El porcentaje de reducción se calculó como la reducción en el diámetro / diámetro en la entrada del canal nasolagrimal óseo x 100.

La distancia desde la entrada al mínimo diámetro transversal fue significativamente más corta en los grupos A y B que en el Grupo C, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los grupos A y B. No hubo diferencia significativa en la distancia del mínimo diámetro anteroposterior entre los grupos. El tipo embudo fue significativamente más frecuente en los grupos A y B que en el grupo C.

El análisis de las diferencias de género mostró que los diámetros transversales en la entrada del canal nasolagrimal óseo eran más cortos en las mujeres que en los hombres en el Grupo A ($p = 0,007$) y en el Grupo B ($p = 0,023$). El diámetro transversal mínimo también fue menor en las mujeres que en los hombres en el grupo A ($p = 0,017$).

El porcentaje de reducción fue mayor en las mujeres que en los hombres en el grupo A ($p = 0,041$). El tipo embudo tendía a ser observado más frecuentemente en las mujeres que en los hombres en el grupo A; sin embargo, la diferencia no alcanzó significación estadística ($p = 0,060$). En el Grupo C, la reducción y el

porcentaje de disminución del diámetro anteroposterior fueron significativamente más grandes en hombres que en mujeres.

El porcentaje de reducción fue mayor en las mujeres que en los hombres en los lados obstruidos. En los pacientes sin obstrucción, la reducción y el porcentaje de reducción del diámetro anteroposterior fueron significativamente mayores en los hombres que las mujeres.

Los autores concluyen que los pacientes con PANDO presentan el tipo embudo más frecuentemente, o presentan una menor distancia desde la entrada a la parte con el mínimo diámetro que los pacientes sin obstrucción del conducto nasolagrimal, lo que puede aumentar el riesgo de PANDO.

Yong et al 2014 estudiaron una serie de casos para evaluar las diferencias raciales en la región nasolagrimal y cuantificar el grosor de la cresta lagrimal anterior y el diámetro mínimo del conducto nasolagrimal en asiáticos.

Los autores realizaron una revisión retrospectiva de TC consecutivas faciales u orbitarias de 90 pacientes, entre el 1 de enero 2010 y el 31 de diciembre de 2011. Se excluyeron pacientes con evidencia de tumor o traumatismo en la región de la fosa lagrimal. Todos los escáneres se recogieron y se numeraron, siendo los datos de identificación del paciente anónimos. Usando software de imagen tridimensional se realizaron las mediciones en los planos axial, sagital y coronal. Todos los exámenes se realizaron con TC helicoidal de 64 cortes (Brilliance CT; Philips Healthcare, Cleveland, OH, EE.UU.). Se adquirieron secciones axiales

contiguas de 1 mm de espesor, paralelas a la línea infraorbitomeatal, así como coronales y sagitales perpendiculares a este plano, con un campo de visión de 180 mm, tamaño de matriz de 512 x 512, y un núcleo de reconstrucción para hueso.

Las imágenes reconstruidas fueron cargadas en la estación de trabajo de CT (Extended Brilliance Workspace Philips), y las mediciones se obtuvieron utilizando herramientas software de medida manual sobre una pantalla de ordenador. El software permite la visualización simultánea de los escáneres en los 3 planos, pudiendo así verificar cualquier punto elegido para la medición. Dos observadores, un estudiante de medicina (primer autor) y un *fellow* en cirugía plástica y reconstructiva oftálmica, llevaron a cabo las mediciones de forma independiente en diferentes momentos en los primeros 23 escáneres para validar las mediciones. Todas las mediciones se realizaron en ventana hueso. Utilizando el escáner sagital, se identificó el extremo superior del conducto nasolagrimal. Desde ese punto, fue identificada la parte más gruesa de la cresta lagrimal anterior desplazándose hacia arriba (en el escáner axial) y anterior (en la exploración coronal). Las mediciones se realizaron en el escáner axial después de verificar repetidamente los puntos seleccionados en el plano coronal.

El conducto nasolagrimal fue identificado en la sección sagital, y desplazándose a través de cortes adyacentes, se determinó el eje central del conducto, y se trazó una línea a lo largo del eje. El diámetro más estrecho fue medido perpendicularmente a la línea trazada. Los puntos inicial y final de la medición fueron el reborde interno del canal. Para asegurarse de que se había medido el

diámetro mínimo, se tomaron varias mediciones a diferentes niveles y se registró la menor. El diámetro vertical de la fosa lagrimal se midió utilizando la imagen tridimensional del cráneo.

El ángulo frontonasal (FNA) se midió en el plano sagital plano dibujando 2 líneas, una sobre el tejido blando frontal y otro sobre el tejido blando nasal. La distancia entre las suturas frontozigomáticas (FZS) se midió en la imagen en 3 dimensiones mirando hacia delante. Las mediciones se hicieron desde el final orbitario de las líneas de sutura.

El análisis estadístico se realizó utilizando el Statistical Package for the Social Sciences software (SPSS) y Stata 12,1 (Stata Corp., College Station, TX, U.S.A.). Se utilizaron pruebas t para muestras relacionadas para determinar las diferencias en las características entre los individuos, mientras que el análisis de varianza (ANOVA) se utilizó para determinar las diferencias entre los grupos étnicos. Se utilizaron modelos de regresión lineal para análisis univariante y multivariante.

Los pacientes en "grupo 1" incluyen razas del sudeste asiático (SEA), con características mongoloides, incluido el chino, vietnamita, malayo, indonesio, y "grupo 2" consistía en razas del sur de Asia con rasgos caucasianoides (india, bangladeshí, pakistaní) y razas occidentales. Los dos grupos fueron elegidos en base a las características faciales. En el grupo 1 en general, tienen una cara redondeada y más amplia y un puente nasal ancho menos pronunciado, mientras que en el grupo 2 tienden a tener una cara más estrecha y un puente nasal más definido y estrecho.

La edad media fue de 40,9 años y la mediana 42 años. Había 44 hombres (48,9%) y 46 mujeres (51,1%). En el grupo 1 había 65 sujetos (72,2%) y en el grupo 2 25 sujetos (27,8%). La media de edad para el grupo 1 fue 42,75 años y para el grupo 2 fue 36,24 años. La razón hombre / mujer para grupo 1 fue 34/31, y para el grupo 2 fue 10/15. No hubo diferencia estadísticamente significativa para la edad ($p = 0,09$) y para la proporción de género ($p = 0,295$) entre los 2 grupos

Los autores analizaron la correlación inter e intraobservador de los datos recogidos por dos observadores independientes para demostrar su fiabilidad y reproducibilidad, existiendo una correlación de (0,707 a 0,917) entre todas las mediciones.

No hubo diferencia estadísticamente significativa entre los lados derecho e izquierdo en el diámetro vertical de la fosa lagrimal, el espesor de la cresta lagrimal anterior, y el diámetro mínimo del conducto nasolagrimal.

El diámetro mínimo medio del conducto nasolagrimal fue: grupo 1: lado derecho 3,82 mm y lado izquierdo 3,78 mm; grupo 2: lado derecho 3,54 mm y lado izquierdo 3,81 mm.

Este trabajo no mostró diferencias raciales en el espesor de la cresta lagrimal anterior. La prueba de ANOVA mostró que la distancia entre las suturas frontozigomáticas varió significativamente entre los grupos étnicos. El grupo 1 tenía una mayor distancia entre las suturas frontozigomáticas que el grupo 2. Sin embargo, no existían diferencias significativas en todas las otras mediciones estudiadas. En análisis univariante, el espesor de la cresta lagrimal anterior se asoció inversamente con el ángulo frontonasal ($p = 0,034$). Esto fue confirmado en

el análisis multivariante, mediante el cual un menor ángulo frontonasal se relacionaba con una cresta lagrimal anterior más gruesa ($p = 0,026$). Independientemente de la raza, un ángulo frontonasal más agudo puede predecir una mayor dificultad en la osteotomía durante la dacriocistorrinostomía.

Del mismo modo, la cresta lagrimal anterior y la distancia entre las suturas frontozigomáticas mostraron una significativa correlación en el análisis univariante y en el análisis multivariante, lo que indica que un rostro más amplio (grupo 1) tiende a tener una cresta lagrimal anterior más gruesa. Hubo una asociación significativa del espesor de la cresta lagrimal anterior con el diámetro mínimo del conducto nasolagrimal en el análisis univariante, que se confirmó en el análisis multivariante. Se observó que cuanto mayor era el diámetro del conducto nasolagrimal, más gruesa es la cresta lagrimal anterior. Además, un mayor diámetro del conducto nasolagrimal se correlacionaba significativamente con una mayor distancia entre las suturas frontozigomáticas, lo que sugiere que el grupo 2 con caras más estrechas tenían conductos nasolagrimales más estrechos.

Los autores concluyen que no hay diferencia significativa en el diámetro del conducto nasolagrimal entre los grupos étnicos. Sin embargo, éste se asocia significativamente con la distancia entre suturas frontozigomáticas, lo que sugiere que una cara más ancha se asocia con mayor diámetro del conducto nasolagrimal. Un ángulo frontonasal agudo predice una cresta lagrimal anterior más gruesa.

Estes et al 2015 realizaron un estudio de casos y controles retrospectivo de 70 TC realizados en el New York Presbyterian Hospital desde 2008 hasta 2013 para determinar si existía diferencia significativa en el volumen del conducto nasolagrimal de sujetos con PANDO en comparación con la de los controles. Se incluyeron 35 sujetos con obstrucción y 35 controles. Cada grupo estaba formado por 24 mujeres (69%) y 11 hombres (31%). En el grupo de pacientes, la edad media fue 71,3 años, y en el grupo de control 71,1 años. A todos los sujetos con obstrucción incluidos se les había realizado un TC maxilofacial como estudio preoperatorio tras el diagnóstico de PANDO. Los sujetos con obstrucción y los controles tenían más de 60 años en el momento de la prueba de imagen para probar la hipótesis de que el volumen del canal nasolagrimal óseo es menor en pacientes con PANDO. Los controles se seleccionaron de una lista aleatoria de pacientes tratados en Urgencias de la misma institución. Los sujetos control fueron elegidos entre los pacientes en los que se realizó la prueba de imagen por traumatismo facial o enfermedad inflamatoria sinusal y no tenían antecedentes o evidencia en las imágenes de patología nasolagrimal. Los sujetos control fueron pareados con los pacientes en cuanto a edad, sexo y grosor de corte de la TC. Los sujetos y los controles fueron aleatorizados antes de tomar mediciones. El lado de la obstrucción se registró para el grupo de pacientes como lado derecho, lado izquierdo o ambos lados.

Todas las exploraciones fueron adquiridas en TC helicoidal de GE (General Electric, Milwaukee, WI, U.S.A.) de 16 ó 64 cortes adquiridos en el plano axial y reconstruidos en los planos sagital y coronal. Los grupos de pacientes y controles tenían 13 escáneres (37%) en cada grupo con un tamaño de vóxel de 0,29 mm x

0,29 mm x 0,625 mm, y 22 escáneres (63%) en cada grupo con un tamaño de vóxel de 0,29 mm x 0,29 mm x 1,25 mm. Todas las imágenes incluían la órbita y tenían una tensión del tubo de 120 kVp, un campo de visión de 15 a 23 cm y una corriente del tubo de 140 a 289 mA.

Se utilizó la versión 4.2_04 de GE Advantage Workstation con software de visualización de volumen 3D para analizar el conducto nasolagrimal y determinar los datos volumétricos, que fueron analizados por un único revisor (J.L.E) y confirmado por un neurorradiólogo (A.J.T.). Con la herramienta de pincel del software, se seleccionó la luz del canal nasolagrimal óseo, primero en las imágenes axiales y luego confirmado en las sagitales y coronales. Superiormente, el límite del conducto nasolagrimal se definió como la entrada del saco lagrimal en el canal óseo en la unión entre el proceso frontal del maxilar y el hueso lagrimal, e inferiormente como la salida del conducto en el meato inferior en la válvula de Hasner. Se hicieron mediciones del volumen por un revisor ciego para cada conducto, 3 veces, no consecutivas y se calcularon las medias. Se compararon las mediciones mediante la prueba de la t de Student para muestras no pareadas. Se calculó la variabilidad inter e intraobservador. Para probar la fiabilidad interobservador, tanto el revisor principal como un neurorradiólogo experimentado realizaron mediciones de volumen en una muestra aleatoria de 13 sujetos (26 conductos). Esto se evaluó mediante el coeficiente de correlación intraclase. El coeficiente de correlación intraclase fue de 0,93 (IC del 95% = 0,81, 0,97) ($p < 0,0001$), lo que implica una excelente fiabilidad entre el revisor principal y el neurorradiólogo experimentado. La concordancia intraobservador (test-retest) también fue excelente, con el coeficiente de correlación de Pearson $> 0,90$. Todos

los análisis se realizaron con el SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.).

Todos los test estadísticos son bilaterales con un nivel de significación de 0,05. La fiabilidad intraobservador (es decir, test-retest) se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Pearson. No se halló diferencia significativa entre los conductos nasolagrimales obstruidos y no obstruidos en el grupo de pacientes. Los tres subgrupos de pacientes con obstrucción (lado derecho, lado izquierdo y ambos lados) tenían volúmenes más grandes que el grupo control, siguiendo la tendencia general de que los pacientes tenían un mayor volumen que los controles, aunque esto no fue significativo.

No se halló diferencia significativa entre el volumen del conducto nasolagrimonal de los pacientes ($0,411 \pm 0,18 \text{ cm}^3$) y el de los controles ($0,380 \pm 0,13 \text{ cm}^3$). Las mujeres tenían menor volumen de los conductos ($0,356 \pm 0,11 \text{ cm}^3$) que los hombres ($0,482 \pm 0,19 \text{ cm}^3$) ($p < 0,001$) cuando se fusionaron pacientes y controles. Los pacientes hombres tenían menor volumen de los conductos ($0,470 \pm 0,23 \text{ cm}^3$) que los hombres controles ($0,493 \pm 0,14 \text{ cm}^3$) al contrario que la tendencia general observada en pacientes en comparación con la de los controles, aunque este hallazgo no fue significativo. Sin embargo, las mujeres pacientes tenían un volumen de conducto significativamente mayor ($0,384 \pm 0,13 \text{ cm}^3$) que el de las mujeres controles ($0,328 \pm 0,08 \text{ cm}^3$) ($p = 0,01$). No se halló diferencia entre ambos lados, ni en pacientes ni en controles.

El volumen medio del conducto en los hombres controles fue un 51% mayor que en las mujeres controles ($p < 0,0001$), pero en los hombres pacientes fue solo un

22% mayor que en pacientes mujeres ($p = 0,13$). Los pacientes tenían una diferencia mucho menor entre los volúmenes medios y desviaciones estándar mayores, tanto en hombres como en mujeres.

Los autores concluyen que el software volumétrico tridimensional se puede utilizar para medir con precisión el volumen del conducto nasolagrimon en TC en pacientes con obstrucción. Tanto la ausencia de una diferencia significativa en el volumen del conducto nasolagrimon entre el grupo de pacientes y el grupo de controles, y la superposición en el rango entre ambos grupos implica que el volumen del conducto lagrimon probablemente no esté relacionado con la etiología de la obstrucción. El aumento en el volumen observado en las mujeres con obstrucción puede ser debido a la expansión del canal óseo tras la menopausia. La etiología exacta de la obstrucción del conducto nasolagrimon primaria requiere mayor investigación.

4. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

4.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Las dimensiones del canal nasolagrimal óseo han sido relacionadas con diversas variables: edad, sexo, raza, patología obstructiva del sistema de drenaje lagrimal... Se han publicado resultados contradictorios sobre la relación entre las dimensiones del canal nasolagrimal óseo y la patología obstructiva del sistema de drenaje lagrimal en TC. La mayoría de los trabajos realizados en TC realizaban mediciones bidimensionales, y solo de determinadas secciones del conducto nasolagrimal. Todos los trabajos anteriores presentan al menos un paso manual en el método de medición, lo que puede conllevar errores en las mediciones realizadas. Este problema se solventaría con mediciones íntegramente automatizadas. La realización de mediciones fiables en TC podría tener utilidad clínica y ser predictivo de la patología obstructiva del sistema de drenaje lagrimal. Las mediciones realizadas sobre cadáver son más fiables que las realizadas hasta ahora en TC, aunque suelen limitarse a franjas etáreas más avanzadas, no siendo por tanto extrapolables sus resultados a poblaciones más jóvenes.

4.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

1ª El canal nasolagrimal puede ser representado mediante un modelo matemático.

2ª Las variaciones en las dimensiones tridimensionales del conducto nasolagrimal óseo en TC pueden ser predictivas de la presencia de patología obstructiva del sistema de drenaje lagrimal.

3ª La medición tridimensional en TC del canal nasolagrimal óseo podría realizarse de forma automatizada, eliminando de esta forma los errores derivados de las mediciones manuales.

4.3. OBJETIVOS DE LA TESIS

OBJETIVO PRIMARIO:

Demostrar la viabilidad de la segmentación automatizada del canal nasolagrimal en TC.

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- 1) Obtener un modelo matemático del canal nasolagrimal.
- 2) Caracterizar la estructura tridimensional del canal, estableciendo métodos para medirlo de forma objetiva y automatizada.

- 3) Demostrar la utilidad de las nuevas herramientas para mejorar nuestro conocimiento de la estructura 3-D de los canales nasolagrimales, y su relevancia en la práctica clínica, especialmente en patologías obstructivas.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio observacional retrospectivo comparativo no aleatorizado en el Hospital Universitario de Fuenlabrada (Madrid).

5.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una búsqueda en la base de datos PubMed con los términos:

(lacrimal OR nasolacrimal OR lacrimonasal) AND (CT OR computed tomography)

(lacrimal OR nasolacrimal OR lacrimonasal) AND (duct OR canal)

(lacrimal OR nasolacrimal OR lacrimonasal) AND (anatomy OR obstruction)

(lacrimal OR nasolacrimal OR lacrimonasal) AND (measurement OR measure)

seleccionando los trabajos de mayor relevancia para la tesis, incluyéndose a su vez todos los artículos relevantes encontrados en bibliografía de los artículos seleccionados.

5.2. APROBACIÓN DEL COMITÉ DE ÉTICA

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Universitario Clínico San Carlos (Madrid). Código nº 15/410-E.

5.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

GRUPO DE PACIENTES

Se partió de la base de datos de pacientes sometidos a dacriocistorrinostomía (DCR) endonasal o externa en régimen de cirugía ambulatoria, desde el 1 de enero de 2008 al 31 de mayo de 2014. Se seleccionaron los pacientes con PANDO que tenían realizada una TC de senos de espesor de corte $<1,25$ mm previa a la DCR, con visualización del conducto nasolagrimal completo. Todos los pacientes fueron examinados por los servicios de Oftalmología y Otorrinolaringología del Hospital Universitario de Fuenlabrada (Madrid). En todos los pacientes se había llevado a cabo una exploración e irrigación de la vía lagrimal por parte del servicio de Oftalmología.

GRUPO CONTROL

Para la búsqueda de los pacientes del grupo control se utilizó el programa Centricity. Se seleccionaron TC de base de cráneo (7) y de peñasco (10) y cerebro (1) realizados desde el 1 de enero de 2008 al 31 de mayo de 2014. Se introdujeron los códigos de prueba "TC BASE CRÁNEO SIN CONTRASTE", "TC MASTOIDES Y CAIS SIN CONTRASTE" y "CEREBRO SIN CONTRASTE". Se seleccionaron las TC que tenían reconstrucciones con núcleo estándar o hueso y un espesor de corte $< 0,625$ mm. Se desecharon aquellas TC en las cuales la vía lagrimal no se visualizaba íntegramente.

No se seleccionaron TC de senos para el grupo control por considerar que la población sometida a TC de senos podría no ser representativa de la población general, y podría ser por tanto mayor la incidencia de epífora en esta población. Utilizar este tipo de prueba de imagen en el grupo control podría sesgar los resultados (McCormick A, 2009). Es conocida la asociación de la patología de senos paranasales con la obstrucción del sistema de drenaje lagrimal (Kallman JE, 1997) (Francis IC, 1999) (Habesoglu M, 2013), por lo que la población sometida a TC de senos podría presentar mediciones del canal nasolagrimal óseo diferentes a la población general.

5.4. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se excluyeron de ambos grupos aquellos pacientes con espesor de corte > 1,5 mm. Fueron excluidos asimismo los sujetos con TC que no proporcionaban una visualización completa del conducto nasolagrimal, y aquéllos con TC realizadas en otro centro, de las cuáles no se disponía por tanto de las imágenes.

Se excluyeron de ambos grupos los pacientes con traumatismos, cirugías, infecciones, inflamaciones, neoplasias, malformaciones o fracturas previas que hubieran podido alterar de algún modo el conducto nasolagrimal óseo.

GRUPO DE PACIENTES

Se excluyeron las obstrucciones funcionales de la vía lagrimal, que presentaban permeabilidad del conducto nasolagrimal con paso a las fosas nasales en la irrigación de vías lagrimales y/o en la dacriocistografía.

GRUPO CONTROL

Se excluyeron los individuos con patología nasal o de senos paranasales evidenciada en la exploración otorrinolaringológica o en las pruebas de imagen.

Consideramos la posibilidad de que las condiciones anatómicas favorecedoras de la obstrucción de la vía lagrimal puedan relacionarse con condiciones anatómicas favorecedoras de ciertas patologías otorrinolaringológicas. Por este motivo, se excluyeron los individuos con patología otológica que pudieran ser susceptibles de tener una anatomía que predispusiese no solo a procesos otorrinolaringológicos, sino también a procesos obstructivos de la vía lagrimal.

5.5. SELECCIÓN DE CASOS Y RECOGIDA DE DATOS

Se revisaron de forma retrospectiva en el Hospital Universitario de Fuenlabrada (Madrid) los registros médicos electrónicos de pacientes de los cuáles se disponía de TC en formato DICOM de sus canales nasolagrimales óseos, y con suficiente resolución espacial (grosor de corte $\leq 1,25$ mm, tamaño de píxel $\leq 0,5$ mm), desde el 1 de enero de 2008 al 31 de mayo de 2014. Finalmente fueron incluidos 34 sujetos de raza caucásica, 9 hombres y 25 mujeres, edad media 56,71 años (rango de edad 26 a 78 años). En el grupo de pacientes se incluyeron 16 sujetos, con una edad media de 65,69 años (2 hombres con edades entre 60 a 66 años y 14 mujeres con edades entre 56 y 78 años), con obstrucción de uno o ambos conductos nasolagrimales, pero sin patología nasal o sinusal, ni patología o cirugía previa que hubiese podido afectar a sus canales nasolagrimales. En el grupo control se incluyeron 18 sujetos, con una edad media de 48,72 años (7

hombres con edades entre 26 y 69 años y 11 mujeres con edades entre 33 y 77 años) sin ningún tipo de patología diagnosticada directa o indirectamente relacionada con sus canales nasolagrimales.

Además de las TC, que se exportaron en formato DICOM, se recogió también la siguiente información de todas las historias clínicas: edad, sexo, antecedentes personales, motivo de consulta, informes de las pruebas de imagen realizadas (TC y DCG), diagnósticos, tipo de cirugía(s) realizada(s), evolución y complicaciones.

5.6. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

En este trabajo nos centraremos en la parte inferior de la vía lagrimal excretora, concretamente en el canal nasolagrimal óseo. Las tomografías se generaron con el equipo de GE LightSpeed16, siempre sin contraste y con protocolos específicos para los estudios de facial/senos y para cabeza/base de cráneo/peñasco. El paciente se encontraba en todos los casos posicionado en decúbito supino y el plano de la imagen era perpendicular a la mesa. En todos los casos se realizó una adquisición helicoidal contigua, empezando debajo del maxilar o en la base del cráneo, y terminando por encima del seno frontal, o en el sentido opuesto. Para la reconstrucción de los volúmenes incluidos en la muestra se utilizó un núcleo de hueso en 30 casos y estándar en los 4 restantes.. Las condiciones técnicas dependen del protocolo: para estudios faciales/senos: 100 kVp, 200 mA de valor fijo sin modulación; espesor de corte 1,25 mm y 0,625 mm, angulación del escáner 0°, FOV 210-220 mm, CTDI 28,70 mGy; tamaño de píxeles desde

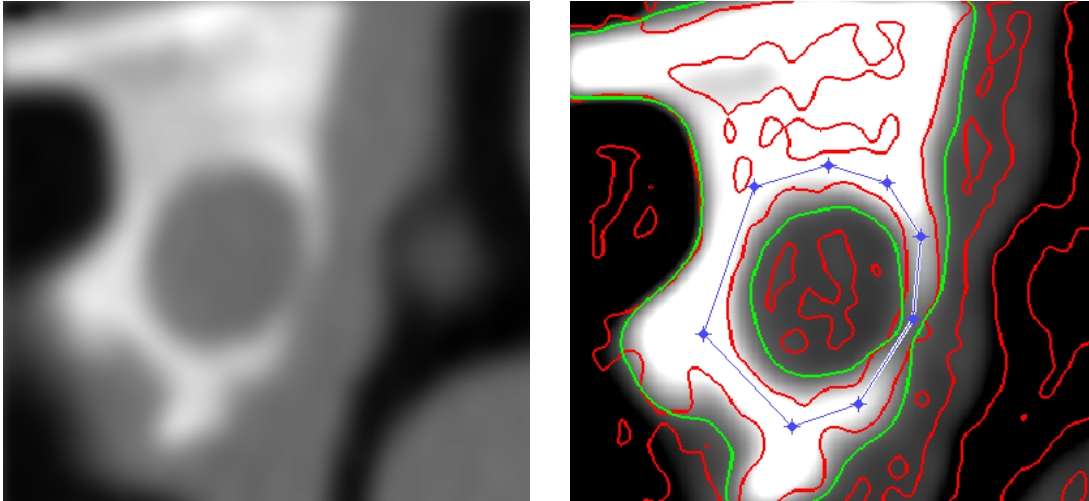
0,292969 / 0,292969 a 0,429688 / 0,429688 mm; protocolo para base de cráneo y peñasco: 120 KVp, 240 mA valor fijo sin modulación, espesor de corte de 0,625 mm, angulación 0°, FOV 250 mm, CTDI: 74,02 mGy; el espaciamiento de cortes es en todos los casos igual al espesor, sin saltos ni solapamientos entre cortes consecutivos.

5.6.1. Identificación de los cortes que contienen el canal nasolagrimal

Un radiólogo revisó las series de la TC de todos los sujetos para identificar el número del primer y último corte que contiene el canal derecho y el izquierdo, separadamente. Se han revisado diferentes criterios para identificar el comienzo y el final del canal (Duke-Elder S, 1952) (Truchot P, 1953) (Fisch AE, 1976) (Zinreich SJ, 1993) (Groessl SA, 1997) (Rheeman CH, 1998) (Siricki A, 2001). El criterio adoptado ha sido el siguiente: el primer corte es el más craneal que muestra canal óseo completo; y el último, es el primero que se halla descendiendo en el cual el canal pierde su morfología ovoide y se abre posteromedialmente; esta elección se justifica por su base anatómica objetiva y muy replicable; el número de cortes hallado resultó siempre muy similar para los dos canales de un mismo sujeto (Pearson $r = 0,91$) y muy variable de un sujeto a otro: para el derecho, media = 16,38, rango de 7,24, DT = 4,42; para el izquierdo, media = 16,41 , rango 6-22, DT = 4,56)

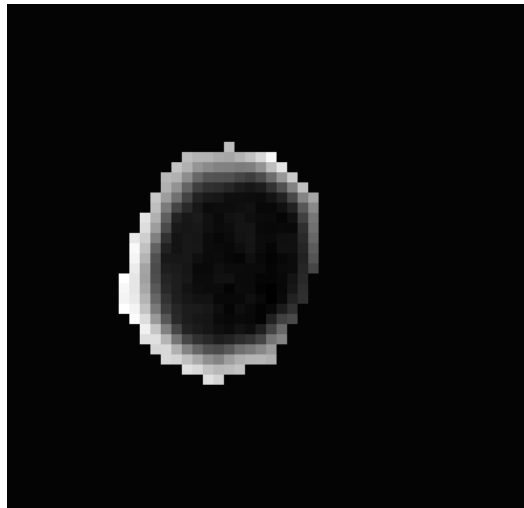
5.6.2. Delimitación de la región de interés (RDI)

Para la localización de los conductos lagrimales en cada corte de la TC (fig. 1 a) se optó por delimitar manualmente una zona más amplia que los engloba



a) Imagen original

b) Delimitación manual de la región que engloba al conducto



c) Región de interés delimitada, con el conducto en su interior

Figura 1. Delimitación de la región de interés (RDI)

(poligonal azul en figura 1 b), para obviar la complicación adicional que representaría haber tenido que localizarlos automáticamente en las imágenes de una estructura tan compleja y cambiante que ofrecen los sucesivos cortes de la TC de cabeza. No obstante la delimitación manual de la región de interés que contiene el canal se llevó a cabo con ayuda automatizada para agilizar la tarea y evitar errores inadvertidos, ampliando la imagen (x8) para facilitar el trazado, suavizándola mediante un filtrado gaussiano para eliminar el ruido visual, con el nivel de ventana 300 (Maatman G, 1986) y amplitud 1000 para hacer más visibles los contornos del canal. Para guiar el trazado se superpusieron las líneas de cruce por cero del laplaciano (en rojo en la figura 1b) y los isocontornos con UH (Unidades Hounsfield) =176 (en verde en fig. 1b).

5.6.3. Segmentación automática del canal en cada corte

La segmentación basada en las UH debe hacer frente a una combinación de circunstancias que confluyen en la TC clínica y que plantean serias dificultades para una segmentación automatizada de los canales lagrimales. Entre ellas cabe destacar el escaso diámetro de los canales nasolagrimales; la variabilidad en la densidad hallada en su interior, densidad que en los canales obstruidos alcanza con frecuencia los valores hallados para las paredes óseas delgadas; la variabilidad en los protocolos aplicados a los estudios, que hacen que los vóxeles tengan dimensiones distintas en la mayoría de los sujetos; el ruido inherente a la TC, que produce una fluctuación aleatoria de los valores de UH; la extrema delgadez de las paredes que conforman algunas zonas del canal óseo y que impiden aplicar la técnicas de umbralización usuales en huesos más gruesos.

Esta situación obligó a revisar un gran número de técnicas y a definir la solución específica que se describe a continuación.

El criterio de segmentación adoptado en este trabajo es triple: 1º) *físico*, en base a los valores de UH; 2º) *visual*, en base a los contornos percibidos en la imagen por el sistema visual humano, y por ende el de radiólogos y oftalmólogos; y 3º) *corrección de errores* atribuibles principalmente al ruido inherente a la TC. Los tres criterios se han implementado en tres etapas sucesivas que caracterizan el método de segmentación automática utilizado en este trabajo (fig. 2).

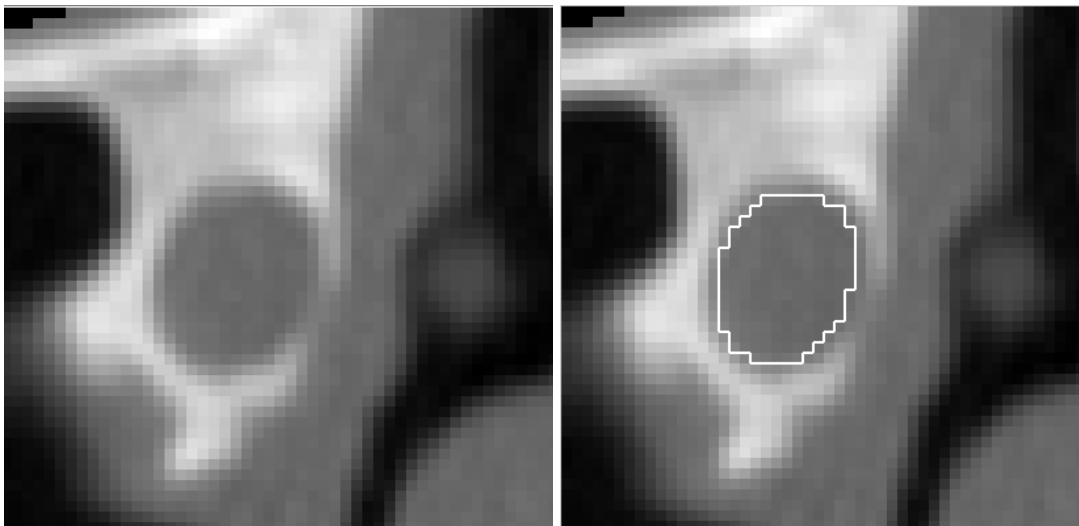


Figura 2. Conducto nasolagrimal delimitado automáticamente en el corte de la figura 1

5.6.4. Análisis de la forma de la sección axial del canal resultante de la segmentación automática

La forma de cada sección axial del canal se ha analizado con técnicas estándar de visión artificial con el fin de obtener los descriptores de forma.

El *área seccional en el corte axial* se toma igual a su número de píxeles, sin ningún tipo de correcciones de las sugeridas por Pratt 1991 y otros autores, para evitar el riesgo de incumplir los supuestos necesarios para poder aplicar el teorema central del límite y así permitir la compensación mutua de los errores positivos y negativos cometidos en la asignación de píxeles a las regiones de canal y hueso. Las coordenadas del *centroide*, la *varianza* del contorno de la forma en los dos ejes y las *coordenadas extremas* de los píxeles vertical y horizontalmente se toman en sus bordes exteriores (no en sus centros) y se han calculado siguiendo a Pratt 1991. La *orientación* de la sección, θ , es la del eje mayor de la elipse equivalente (la que tiene los mismos momentos de segundo orden normalizados que la región segmentada): una orientación de 0° representa la dirección antero-posterior del paciente (hacia abajo en la imagen del corte); sus ángulos positivos aumentan hacia la izquierda del paciente. La excentricidad e_x y la elongación e_l tienen el mismo significado conceptual; la *elongación* se calcula como la diferencia entre la unidad y el cociente entre los lados menor y mayor del rectángulo envolvente de la sección axial del conducto (Yang M, 2008); la *excentricidad* se calcula como el cociente entre la distancia entre los focos y la longitud del eje mayor de una elipse con momentos centrales de segundo orden normalizados equivalentes a los de la sección del conducto en la imagen; otras definiciones de excentricidad han sido descartados debido a que su comportamiento es menos intuitivo, por ejemplo la de Nazar et al 1996, que define la excentricidad como el cociente entre los ejes corto y largo de la figura. Se obtuvieron también los *momentos estándares* (m_{00} , m_{10} , m_{01} , m_{11} , m_{20} , m_{02} , m_{30} , m_{03} , m_{12} , m_{21}), *centrales* (μ_{00} , μ_{11} , μ_{20} , μ_{02} , μ_{30} , μ_{03} , μ_{12} , μ_{21}), *centrales*

normalizados ($\nu_{00}, \nu_{11}, \nu_{20}, \nu_{02}, \nu_{30}, \nu_{03}, \nu_{12}, \nu_{21}$) e *invariantes* ($M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7$) (Levine MD, 1985) (González RC, 2002) (Hu MK, 1962).

En esta primera etapa de análisis de la forma de la sección axial del canal, los valores de todas las variables dimensionales se expresan en coordenadas de imagen (números de fila y columna); en análisis posteriores se utilizaron coordenadas físicas (mm).

5.7. MODELADO DEL CANAL NASOLAGRIMAL

El objetivo de modelar el canal nasolagrimal es obtener una descripción formal que permita deducir sus propiedades. Esta es una tarea compleja que requiere la creación de dos tipos de modelos, cada uno de los cuales proporciona una información diferente acerca de la estructura tridimensional del canal: los modelos de su eje y los modelos de su superficie.

5.7.1. Modelos del eje del canal

Entendemos aquí el eje del conducto como una curva que lo recorre por su parte central y siguiendo la dirección de su elongación; representa esquemáticamente la forma tridimensional del conducto.

Llamamos ***secuencia de muestreo del eje del conducto*** a la sucesión de los centroides de las secciones axiales del canal segmentadas automáticamente; se

representa por $\{c_1, c_2, \dots, c_p\}$, siendo p el número de cortes que intersecan al conducto; y se expresa en coordenadas físicas tridimensionales.

Esta secuencia es la base para obtener los modelos de eje que se describen a continuación:

5.7.1.1. Ejes de interpolación.

Este tipo de ejes se obtiene interpolando la secuencia de muestreo mediante una función que dará nombre al eje. Así se obtienen los siguientes ejes:

- **eje poligonal**: se obtiene creando la poligonal que une los puntos de la secuencia de muestreo del eje y prolongándola en cada uno de sus extremos con un segmento igual a la mitad de su longitud y en su misma dirección; esta poligonal ampliada constituye el eje poligonal del conducto (fig. 5).
- el **eje recto**: viene dado por el segmento rectilíneo que une los dos extremos del eje poligonal.

5.7.1.2. Ejes polinómicos

Este tipo de ejes del conducto se obtiene ajustando funciones polinómicas vectoriales con valores en \mathbb{R}^3 a los puntos de la secuencia de muestreo, por mínimos cuadrados. Concretamente se han utilizado como modelos las funciones polinómicas \mathbf{s} de grado 2º, 3º y 4º, cuya expresión paramétrica es:

$$s(t) = \begin{cases} x(t) = a_0 + a_1 z(t) + a_2 z^2(t) + a_3 z^3(t) + a_4 z^4(t), & \text{coordenada sagital} \\ y(t) = b_0 + b_1 z(t) + b_2 z^2(t) + b_3 z^3(t) + b_4 z^4(t), & \text{coordenada coronal} \\ z(t) = t \quad t \in \left(z_i - \frac{\delta}{2}, z_f + \frac{\delta}{2}\right) \subset \mathbb{R}, & \text{coordenada axial} \end{cases} \quad (\text{Ec. 1})$$

siendo δ el espaciado entre cortes y z_i y z_f las coordenadas en el eje z de la TC de los centros de los cortes inicial y final del canal, expresadas en coordenadas físicas; los coeficientes a_i y b_i definen el eje de cada canal lagrimal y sus valores se obtienen ajustando cada polinomio por mínimos cuadrados a las respectivas coordenadas de los puntos c_1, c_2, \dots, c_p .

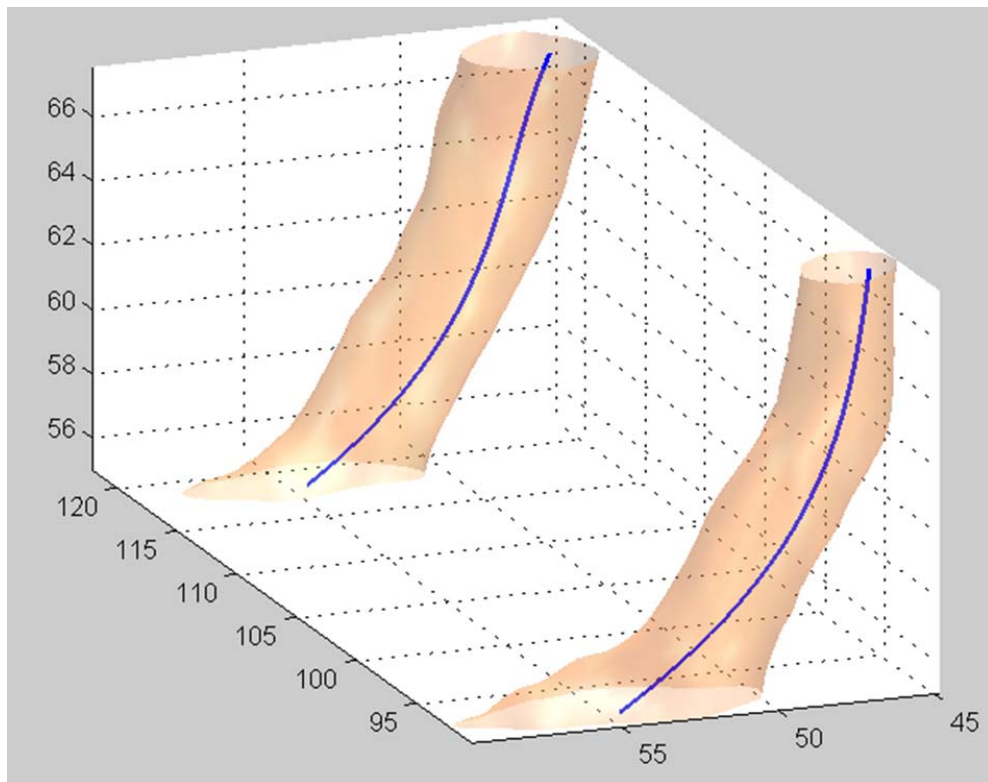


Figura 3. Modelos polinómicos del eje del canal (líneas azules interiores)

Así pues, el cálculo del eje polinómico requiere calcular el eje del conducto dado por una función vectorial cuyas componentes son los polinomios del menor grado

con el que se obtenga un ajuste aceptable a los puntos de la secuencia de muestreo del eje.

El modelo polinómico de grado 3 para los dos canales del sujeto nº 20 está representado por la línea azul que aparece en el interior de cada canal en la fig. 3.

5.7.2. Modelos del canal

5.7.2.1. Modelo sólido directo

Es el objeto geométrico formado por el conjunto de vóxeles que han sido clasificados como “conducto” en el proceso de segmentación.

5.7.2.2. Modelo de la superficie que delimita el conducto

El modelo de superficie (fig. 4) se obtiene a partir del modelo sólido directo, mediante interpolación y suavizado 3-D de la superficie resultante de la interpolación, y seleccionando como modelo del conducto la isosuperficie que define un volumen equivalente al basado en el modelo sólido directo. La estructura numérica de caras y vértices así obtenida representa el modelo de superficie del conducto; la fig. 4 ofrece una visualización del mismo para el sujeto número 17.

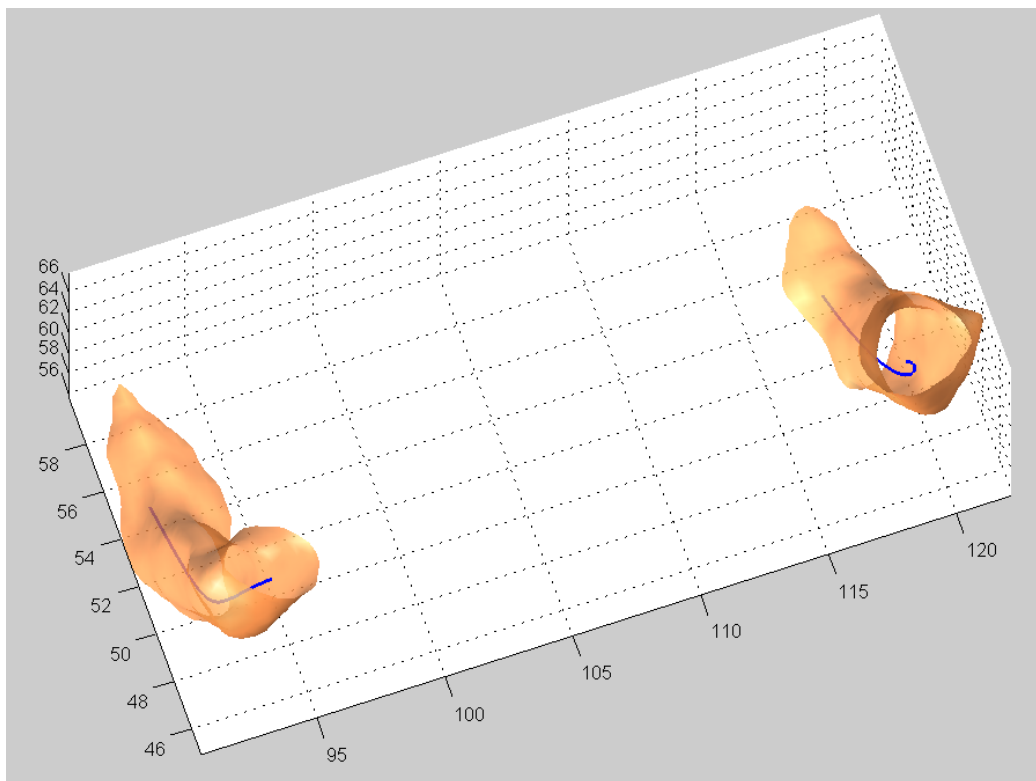
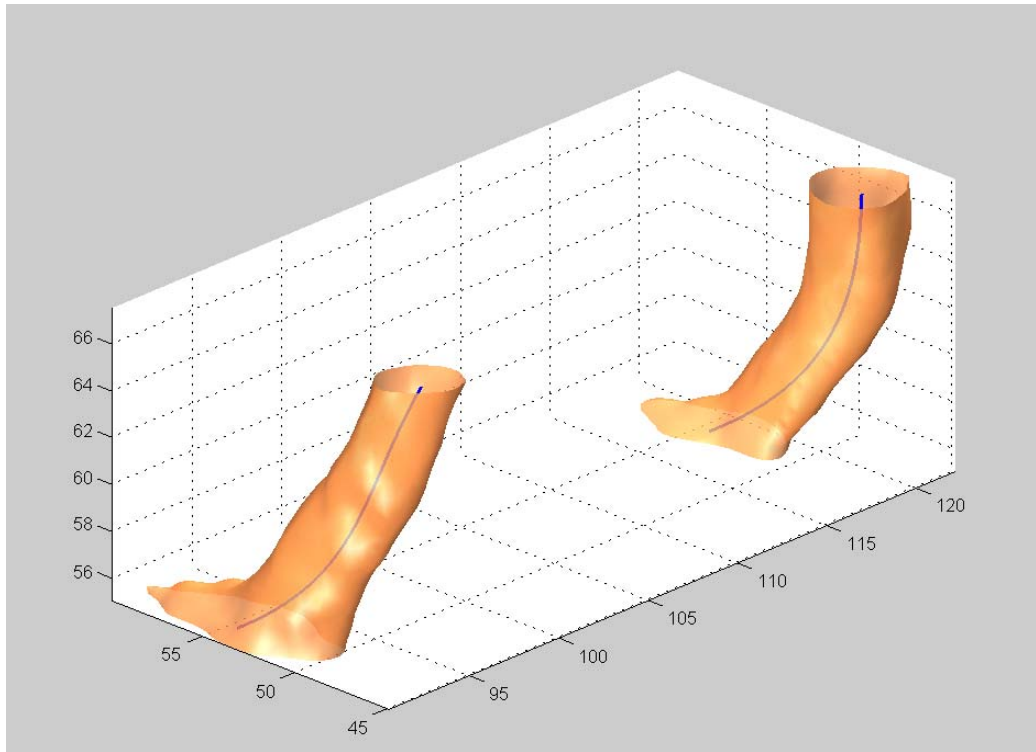


Figura 4. Dos perspectivas del modelo de superficie para los dos canales del sujeto 17 (cada uno con el modelo del eje en su interior)

5.8. VARIABLES Y SUS MÉTODOS DE MEDICIÓN

5.8.1. Métodos de medición de la longitud del canal

Se han comparado dos métodos clásicos y dos nuevos para medir la longitud del canal: la distancia axial y la distancia de extremo a extremo están entre los

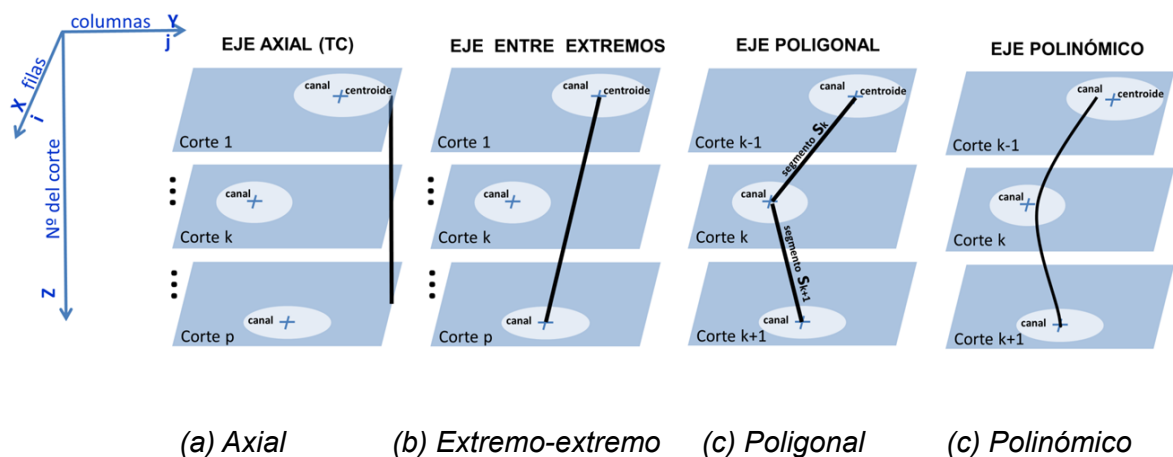


Figura 5. Cuatro métodos para calcular la longitud del conducto nasolagrimal

primeros, y la longitud poligonal y las polinómicas están entre los segundos (fig.5). La *longitud axial*, se obtiene determinando la distancia euclídea entre los planos externos de los dos cortes extremos del canal. La *longitud del eje poligonal* se ha obtenido sumando las longitudes de los segmentos que constituyen el eje poligonal definido anteriormente, segmentos que unen los centroides y que quedan en el interior del canal entre las caras exteriores de los dos cortes extremos. La *longitud de cada eje polinómico* se ha obtenido calculando, por métodos numéricos con precisión superior a 0,1 mm, la longitud de su

correspondiente curva en el tramo comprendido entre las caras exteriores de los dos cortes extremos.

5.8.2. Métodos de medición del área seccional del canal

5.8.2.1. Área seccional axial

Llamamos así al área de la sección obtenida directamente de los cortes de TC. Es la utilizada en multitud de trabajos anteriores (Groessl SA, 1997) (Groell R, 1997) (Rheeman CH, 1998) (Janssen AG, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007) (Wilhelm KE, 2009) (McCormick A, 2009) (Lee H, 2012) (Fasina O, 2013) (Takahashi Y, 2014). Este área crece artificialmente a medida que el plano de corte de la TC se aleja de la perpendicular al eje del canal. Además los errores inducidos por este motivo son sistemáticamente positivos, nunca negativos, y no se pueden compensar por balanceo ni intrasujetos ni intersujetos. Consecuencia inevitable de ello es que el área de la sección axial del canal puede no ser indicativa de sus dimensiones reales.

En cada corte, esta sección se ha medido de manera automática, partiendo del número de píxeles del corte asignados al canal por el programa de segmentación automática, y multiplicándolo por el área de cada píxel deducida de la etiqueta DICOM (0028,0030).

5.8.2.2. Área seccional ortogonal

El área seccional normal representa la luz del canal en el plano perpendicular a su eje, representa la luz real del canal y cabe esperar que esté más relacionada con la capacidad de drenaje que la axial. Se ha obtenido en los vértices del eje poligonal y en los puntos de intersección de los ejes polinómicos con el plano medial de los cortes. La evaluación se ha hecho proyectando el área axial sobre el plano perpendicular al eje; por tanto en el corte k el área seccional ortogonal al canal A_k^\perp viene dada por $A_k^\perp = A_k \cos \beta_k$, donde A_k es el área axial del corte k y β_k es el ángulo que forma el eje del canal con el eje axial de la TC.

A partir de las evaluaciones axial y ortogonal del área seccional del canal cabe estudiar cómo evoluciona ésta a lo largo del mismo y obtener índices que pueden estar relacionados con obstrucciones u otras patologías.

En este trabajo se han manejado cuatro modelos de ejes, cada uno de los cuales ofrece una base diferente para calcular el área seccional y que hemos comparado: poligonal y polinómicos de grados 2, 3 y 4. Cada uno proporciona una dirección del eje del conducto en cada punto, y por lo tanto proporciona también el plano ortogonal en el que medir la sección normal del conducto tras el proceso descrito en el párrafo anterior. Por lo tanto, cada modelo tiene asociado un método específico para la medición del área ortogonal de la sección del canal; así que se estudiarán cinco métodos: axial, poligonal, y polinómicos de 2º, 3º y 4º grado.

5.8.3. Método para medir el volumen del canal

El volumen del canal se ha calculado a partir de su modelo sólido directo, como producto del número de vóxeles que contiene por el volumen de un vóxel.

El volumen de un vóxel se calcula multiplicando las dimensiones de su base dadas en la etiqueta DICOM (0028,0030) por *slice thickness* (0018,0050). Tal procedimiento de cálculo está justificado en nuestro caso tras haber comprobado que los cortes consecutivos no están solapados en ningún caso y que entre ellos no queda espacio alguno sin escanear. La comprobación se hizo en cada corte, verificando que su *slice thickness* coincide exactamente con la diferencia en *slice location* (DT 0020,1041) de ese corte con respecto a los dos cortes adyacentes; además, al estar documentado que algunos fabricantes han introducido ocasionalmente datos erróneos en esta última etiqueta (Clunie D, 2005), se comprobó además en cada corte que su *slice_location* coincide con la tercera componente de *image position patient* (DT 0020,32), y que a la vez el sistema de coordenadas indicado por los cosenos directores en *image orientation patient* (DT 0020,0037) es el canónico.

El efecto del *volumen parcial* en la periferia del conducto es una conocida fuente de error en la evaluación del volumen de cualquier objeto tomografiado. Su naturaleza anisotrópica junto con la no linealidad con respecto a la proporción de cada sustancia en el vóxel complican la solución. Aquí se ha optado por la cancelación estadística de los errores debidos al volumen parcial, basada en el teorema central del límite (Feller W, 1971); su utilización está justificada porque, si bien el número de vóxeles en la periferia del canal es a veces relativamente

pequeño en un único corte, sin embargo en el volumen completo resulta suficiente para justificar la aplicación de dicho teorema.

Además, como el conducto tiene forma tubular y curva en sus extremos, existe otra fuente de error en el volumen obtenido, que está ligada a los extremos del conducto y que denominaremos “efecto cuña”. Consiste en que habitualmente se considera que el conducto empieza en el primer corte en que su contorno forma una curva cerrada y que termina en el último corte donde el contorno es cerrado. El error ocurre en cada extremo cuando el plano de la tomografía no es perpendicular al conducto y se manifiesta en que la cuña del conducto comprendida entre el plano ortogonal que realmente lo delimita en ese extremo y el plano del corte tomográfico queda erróneamente incluida o excluida en el volumen calculado por el método propuesto. El error derivado del efecto cuña (que puede ser positivo o negativo) no es compensado por errores de signo contrario y por tanto no puede considerarse corregido aplicando el teorema central del límite. Para corregirlo es imprescindible añadir una corrección al volumen obtenido antes. Así pues, para obtener el volumen con mayor precisión es necesario aplicar al volumen obtenido entre los planos de corte una corrección que para cada uno de sus extremos abiertos se calcula así: a) determinar el plano exterior del corte que delimita el conducto; b) determinar el plano más distal y ortogonal al eje del conducto cuya intersección con la pared del conducto es una curva cerrada; c) calcular el volumen de la cuña comprendida entre esos dos planos y la superficie exterior del conducto; d) restar dicha corrección al volumen

inicial del conducto si dicha cuña ya estaba contenida en él o sumarla en caso contrario.

El método propuesto aquí para el cálculo del volumen tiene las siguientes ventajas sobre los métodos existentes: a) se apoya en una segmentación automática y objetiva, en lugar de manual y subjetiva; b) toma en cuenta y corrige los errores debidos al “efecto cuña”, efecto ignorado en publicaciones científicas previas; y c) corrige los errores debidos al efecto del volumen parcial de manera más sencilla que otros métodos como los basados en precisión subpíxel de Huertas et al 1986 o en técnicas de corrección del perímetro y el área (Pratt WK, 1991) .

5.9. HERRAMIENTAS

Los programas de procesamiento de imágenes se han desarrollado en Matlab R2014a (MathWorks, Natick, MA, EE.UU.) con su Image Processing Toolbox, y se ejecutaron en Windows 7 Professional de 64 bits, instalado en un ordenador portátil con procesador i5 M540 de 2'53 Gh y 4 GB de RAM.

El análisis de datos se realizó con SPSS 22.0.0.0 edición de 64 bits (IBM). El visor DICOM Centricity (GE) ha sido utilizado por el radiólogo para mostrar imágenes en calidad diagnóstica para identificar los cortes extremos de los canales y también para delimitar manualmente los contornos en la submuestra de canales utilizada para la validación de la segmentación automatizada.

Cuando se ha utilizado la asignación al azar, los números aleatorios se han obtenido del ruido atmosférico (Haahr M, 2014).

5.10.DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

El procedimiento para crear los dos grupos de pacientes y de controles no permite balancearlos en todas los factores que pueden influir en las variables dependientes. En consecuencia, en el análisis de datos habrá que ver si se han producido diferencias relevantes entre los dos grupos en cuanto a edad, sexo y los protocolos de TC; y en caso de que existan será necesario controlar sus efectos mediante técnicas estadísticas, introduciéndolas como covariables y realizando análisis de covarianza (ANCOVA).

5.10.1. Validación de la segmentación automática.

Los resultados en el área seccional del CNL obtenido por el método de segmentación automatizado serán comparados con la referencia aportada por la segmentación manual realizada por un especialista senior en radiología. Para la comparación se seleccionó una muestra de 20 cortes distintos elegidos aleatoriamente entre los 1.115 cortes de los 68 conductos de la muestra (50% del conducto derecho y 50% del izquierdo). Para evaluar la concordancia entre el método de segmentación automática y el manual se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson junto con los coeficientes de similitud de Jaccard, Dice y el coseno.

5.10.2. Comparación de los distintos modelos del eje del canal.

Para comparar el grado de ajuste a los datos de los diferentes modelos del eje del canal nasolagrimal, el análisis será ANOVA para un diseño factorial de 3 factores con medidas repetidas en los tres: lateralidad (2 niveles: derecha e izquierda), coordenadas (2 niveles: x e y), y modelo (v niveles, siendo v el número de modelos que están comparándose). La variable dependiente será la transformación z de Fisher del coeficiente de correlación de Pearson.

5.10.3. Comparación de los diferentes métodos de medición

La comparación de los diferentes métodos de medición para medir una misma variable debe tener en cuenta la correlación positiva entre los valores obtenidos entre los dos canales nasolagrimal de cada sujeto y el hecho de estar realizando las mediciones en la misma muestra de casos. Así que el análisis de datos utilizará ANOVA de un diseño factorial, con 2 factores (lateralidad y método) con medidas repetidas en ambos; lateralidad con 2 niveles (derecha e izquierda) y métodos con w niveles, siendo w el número de métodos que están comparándose. Para las comparaciones múltiples por pares se utilizará el ajuste de Bonferroni.

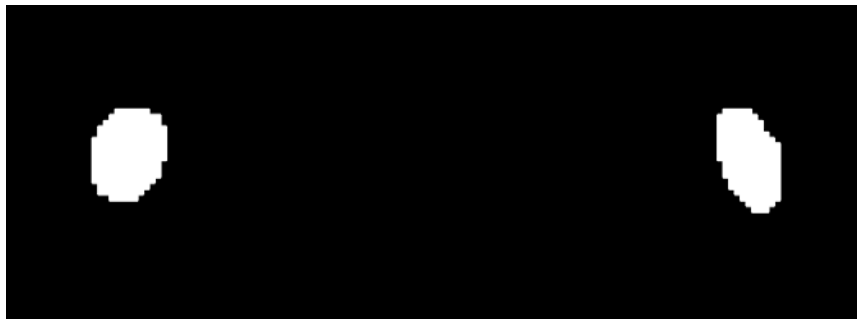
5.10.4. Comparación de los grupos de controles y obstruidos

La comparación de los grupos de controles y obstruidos, utilizará ANCOVA con un factor fijo correspondiente a la variable independiente *grupo* con dos niveles (pacientes y controles) e incluyendo como covariables aquéllas para las que se dispone de evidencia o existe la sospecha de que están relacionadas con el tamaño de los CNL y en las que no ha sido posible balancear los dos grupos; son las siguientes: edad, sexo, lateralidad del canal y distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios, como índice del tamaño craneal.

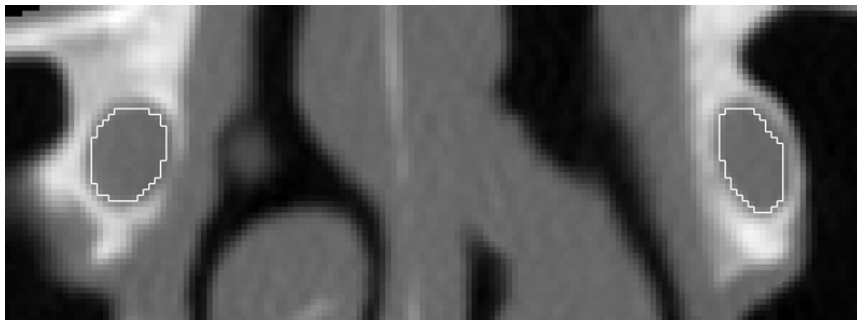
6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS DE LA SEGMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FORMA

El programa de ordenador se ha aplicado para segmentar 1.115 regiones nasolagrimales en 591 cortes de TC de los 34 sujetos de la muestra. Su salida es



a) Máscaras obtenidas mediante segmentación automática para los canales nasolagrimales derecho e izquierdo



b) Contornos de los canales nasolagrimales derecho e izquierdo segmentados superpuestos en el corte de TC

Figura 6. Resultados de la segmentación del corte número 57 del sujeto 27

la máscara binaria para cada región del canal (fig. 6a), junto con algunas otras imágenes auxiliares para el seguimiento y control de calidad del resultado (fig.

6b), y un conjunto de 54 índices con información acerca de su forma, incluyendo el área de la región, las coordenadas de su centroide y otros que se recogen en la figura 7.

Index	Value
1	Shape Information For File Name: C:\...tesis_Lucia\datos\resultados\rp020\derecha\centroides_der_p020_ser00
2	Shape Information For File Name: C:\...tesis_Lucia\datos\resultados\rp020\derecha\centroides_der_p020_ser00
3	Object number 0:
4	Entire Image : 262144
5	Object : 148
6	Ratio Obj/Image : 0.06
7	Area : 1.480000e+02
8	Xcenter : 2.201351e+01
9	Ycenter : 2.183446e+02
10	Sigma_x : 3.554568e+00
11	Sigma_y : 3.354531e+00
12	Theta : -2.699241e+01
13	Eccentricity : 4.219390e-01
14	Uppermost point : 1.450000e+001
15	Leftmost point : 2.115000e+002
16	Lowest point : 2.950000e+001
17	Rightmost point : 2.245000e+002
18	:
19	Standard Moments:
20	m00 : 1.480000e+02
21	m10 : 3.258000e+03
22	m01 : 3.231500e+04
23	m11 : 7.112260e+05
24	m20 : 7.359000e+04
25	m02 : 7.057471e+06
26	m30 : 1.702128e+06
27	m03 : 1.541687e+09
28	m12 : 1.552984e+08
29	m21 : 1.606262e+07
30	:
31	Central Moments:
32	mu00 : 1.480000e+02
33	mu11 : -1.406892e+02
34	mu20 : 1.869973e+03
35	mu02 : 1.665426e+03
36	mu30 : -1.758101e+02
37	mu03 : -7.467461e+02
38	mu12 : 5.421822e+01
39	mu21 : 8.314105e+02
40	:
41	Normalized C. M.:
42	nu00 : 1.000000e+00
43	nu11 : -6.422991e-03
44	nu20 : 8.537130e-02
45	nu02 : 7.603295e-02
46	nu30 : -6.597653e-04
47	nu03 : -2.802326e-03
48	nu12 : 2.034656e-04
49	nu21 : 3.120048e-03
50	:
51	Invariant Moment:
52	M1 : 1.614042e-01
53	M2 : 2.522241e-04
54	M3 : 1.495390e-04
55	M4 : 3.091565e-07
56	M5 : 1.590987e-12
57	M6 : 4.726380e-09
58	M7 : 5.333945e-13
59	añadidos sobre KHOROS:
60	elongacion : 9.337578e-02
61	perimetro : 4.321320e+01
62	circularidad : -6.189359e+02
63	circularidad0 : 9.959526e-01
64	convexa : 0
65	difconcaveconvex : 3.000000e+00
66	indexconvex : 9.801325e-01
67FIN.....
68	:
69	:
70	:
71	:
72	:
73	:

Figura 7. Índices morfométricos 2-D extraídos de cada sección segmentada automáticamente

Robustez: la segmentación se definió y se probó con la mitad de los casos de la muestra; después se aplicó sin ninguna modificación a la otra mitad, para comprobar su solidez y estabilidad; la ejecución se completó con éxito en todos los casos nuevos y todas las medidas previstas se obtuvieron sin ninguna excepción.

Rendimiento: El tiempo de procesamiento medio es de alrededor de 30 segundos por cada canal (entorno Matlab R2014a, ejecutado en un procesador Intel Core i5 M 540 de 2,53 GHz, sistema operativo Windows 7 de 64 bits).

6.2. VALIDEZ DE LA SEGMENTACIÓN AUTOMÁTICA DEL CANAL NASOLAGRIMAL EN CORTES DE TC

Se utilizó un subconjunto de 20 canales nasolagrimal, elegidos aleatoriamente entre los sujetos (la mitad de los pacientes y la mitad del grupo control), la lateralidad (la mitad de cada lado) y los cortes, para comparar la nueva segmentación automatizada con la realizada por un radiólogo experimentado.

Cada imagen se importó a una estación de reconstrucción (GE Advantage Workstation AW 4.1-0.6) que proporciona una herramienta de post-procesado que permite dibujar a mano el contorno del canal nasolagrimal, formado por los píxeles que se consideran en contacto con las paredes óseas; no se utilizaron formas predefinidas, para preservar la gran variabilidad en la morfología de las secciones del canal y todas las irregularidades de su contorno.

El sesgo del entrevistador, un caso de sesgo de información, se puede introducir cuando el personal de campo conoce la condición de enfermo o de no enfermo del entrevistado y si, además, tiene conocimiento de las hipótesis u objetivos del estudio (Hernández Ávila M, 2008). Este sesgo se controló en nuestro estudio dado que las mediciones son automáticas y el radiólogo se mantuvo ciego tanto en lo que respecta a la hipótesis del estudio como a la condición de caso-control.

La concordancia de la segmentación automática con la manual se evaluó a dos niveles: la similitud basada en los píxeles, que fue evaluada por los coeficientes de Jaccard, Dice y coseno; y la similitud basada en el área y número de píxeles, que se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.

Los índices de similitud basada en los píxeles se consideran satisfactorios (tabla 2).

Tabla 2. Nivel de semejanza entre segmentación automática y radiólogo

	Número de píxeles en el canal nasolagrimal		Coeficientes de similitud		
	Radiólogo	Software	Dice	Jaccard	coseno
Media	192,00	153,50	0,82	0,71	0,86
DT	93,55	82,45	0,07	0,10	0,06

El número de píxeles que pertenecen al canal nasolagrimal óseo determinado por el radiólogo y por el programa presentan una fuerte correlación como se muestra en la fig. 8: coeficiente de correlación de Pearson $r = 0,96$ (intervalo de confianza 0,91- 0,99, $p = 0,05$); el coeficiente de determinación (r^2) correspondiente revela que el 93% de la variabilidad en la segmentación del radiólogo puede ser explicado por el nuevo software, y por lo tanto puede justificar la sustitución del método manual por métodos automatizados, ganando así en rendimiento y objetividad.

No obstante la figura 9 muestra una leve discrepancia entre los métodos manual y automático que podría ser objeto de una investigación adicional específica.

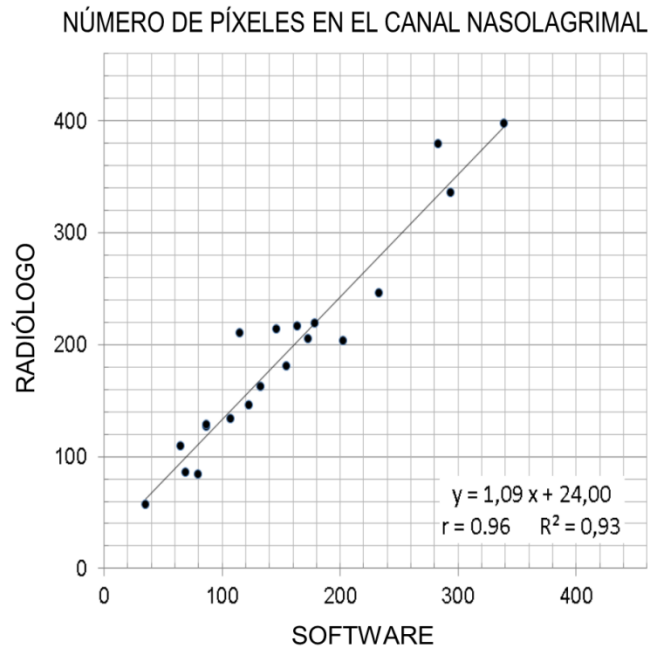
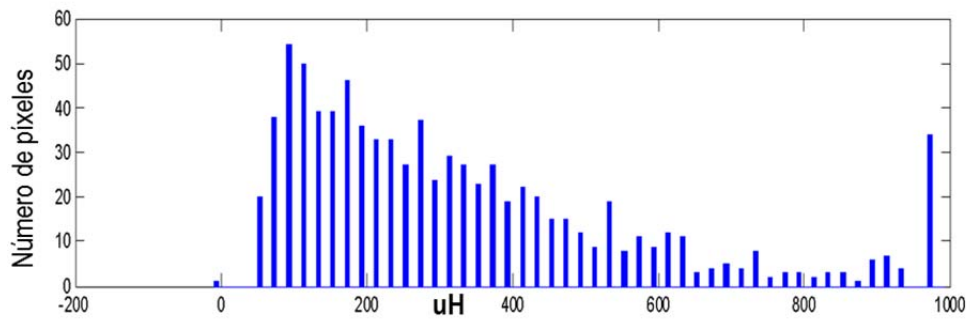
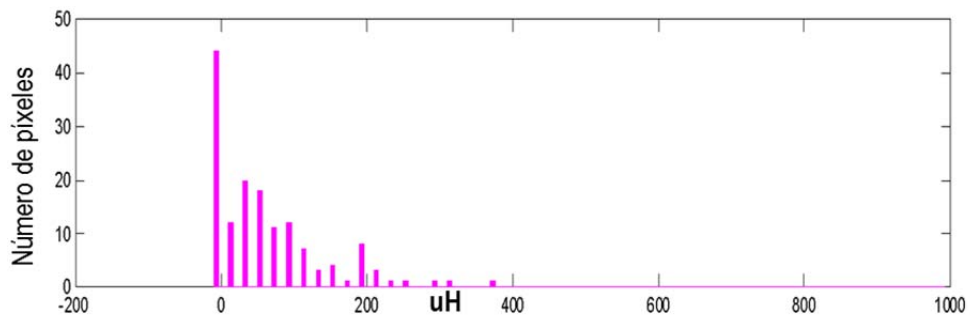


Figura 8. Relación entre el número de píxeles asignados al canal por el radiólogo y por el software



a) Histograma de píxeles clasificados como CNL por el radiólogo pero no por el software



b) Histograma de píxeles clasificados como CNL por el software pero no por el radiólogo

Figura 9. Discrepancia entre radiólogo y software clasificando píxeles como CNL

6.3. EL MODELO POLINÓMICO PARA EL EJE DEL CANAL NASOLAGRIMAL

El modelo numérico de cada canal nasolagrimal para todos los sujetos se ha obtenido como la secuencia de las coordenadas (x_i, y_i, z_i) de los centroides de los canales hallados de forma automática por el programa de segmentación en cada sección de TC.

Para obtener el modelo matemático correspondiente, se ajustaron por separado polinomios de 2º, 3º y 4º grado a las coordenadas x_i e y_i de los centroides de las secciones axiales del canal en los sucesivos cortes; para evaluar el ajuste del polinomio a cada coordenada se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. La decisión sobre de grado del polinomio a adoptar como modelo se basará en los coeficientes de determinación, ya que estos representan la proporción de la variabilidad de las coordenadas que explica el polinomio correspondiente.

La fig. 10 muestra un ejemplo del buen ajuste entre el modelo polinómico de tercer grado y los centroides del canal nasolagrimal obtenidos automáticamente mediante nuestro programa. La bondad de ajuste es muy alta en ambos casos ($r=0,99$), siendo por lo general mayor en el plano sagital que en el coronal.

Los efectos sobre el ajuste de datos de las variables grupo (paciente, control), grado del polinomio (2, 3, 4), coordenadas (x, y) y lateralidad del canal nasolagrimal (derecha, izquierda) se evaluaron usando un diseño factorial mixto

$$x(z) = -0,0050 z^3 + 0,1820 z^2 - 2,6980 z + 35,6230 \text{ mm}$$

$$y(z) = -0,0039 z^3 + 0,0870 z^2 - 0,5902 z + 76,6122 \text{ mm}$$

$$z \text{ mm}; \quad 1,88 \leq z \leq 14,38$$

a)

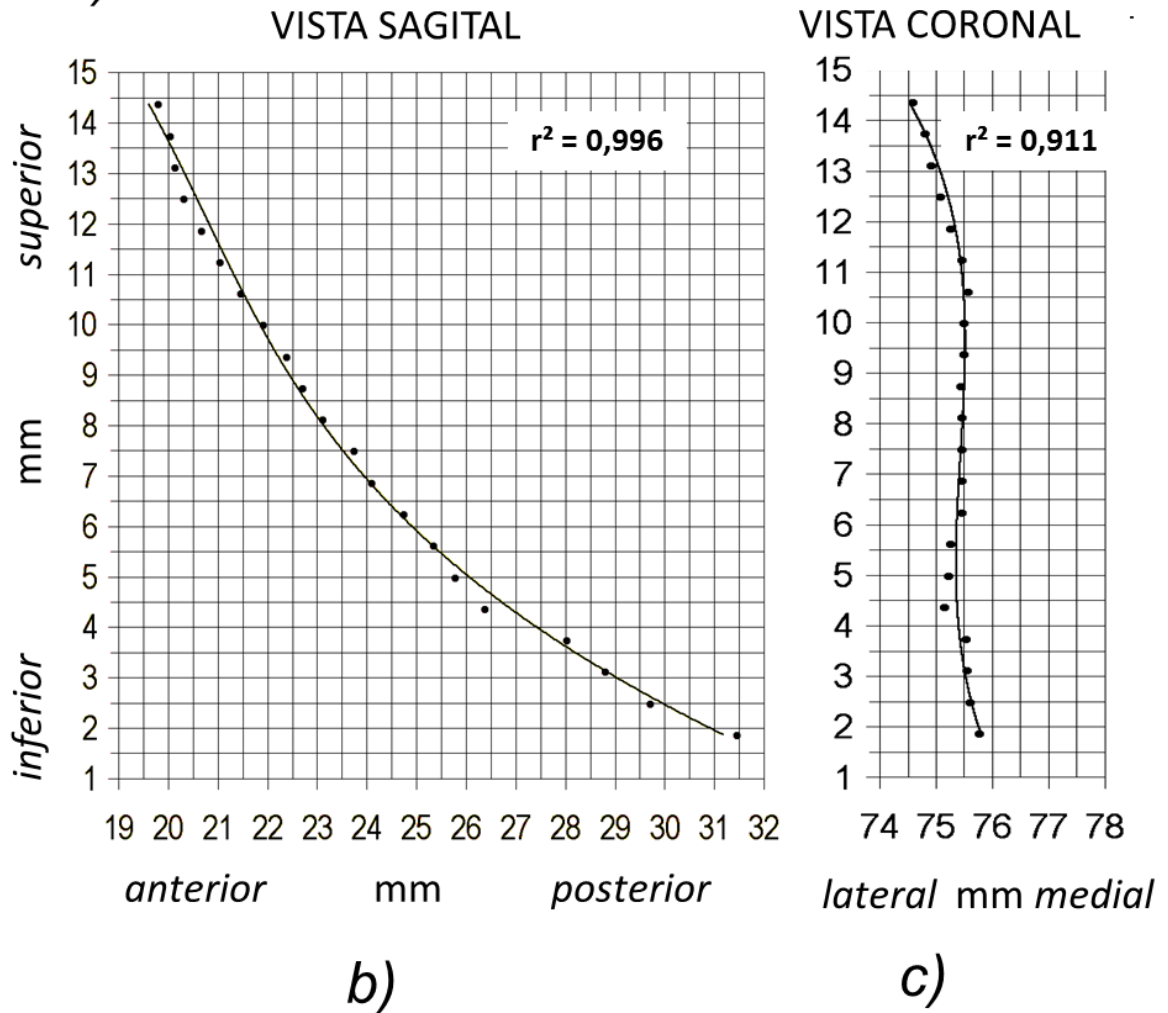


Figura 10. Ajuste del polinomio de tercer grado al canal nasolagrimal derecho del sujeto 26: a) Modelo matemático del eje del canal; b) Ajuste del modelo a los puntos de los centroides en la proyección sagital y valor del coeficiente de determinación; c) Ídem para la proyección coronal

2x3x2x2 con grupos independientes en el primer factor y medidas repetidas en los otros tres. La variable dependiente es la bondad de ajuste de los datos al modelo, evaluada por el coeficiente de correlación, r , previa transformación Z de Fisher para normalizar su distribución.

En el plano sagital (tabla 3) se muestra un ajuste significativamente mejor al modelo que en el coronal ($F(1,32)=36,64$; $p=0,000$). El grado del polinomio también tiene un efecto significativo (Greenhouse-Geisser $F(1,37, 43,71)=110,16$; $p=0,000$; Mauchly's $W(2)=0,54$; $p=0,000$); y como es de esperar según la teoría matemática, cuanto mayor es el grado del polinomio, mejor es su ajuste a los datos ($p=0,000$ en todas y cada una de las comparaciones por pares); llegaría a ser perfecto cuando el grado del polinomio fuese igual al número de cortes menos uno, pero sería a expensas de arruinar la parsimonia del modelo; como compromiso, el ajuste puede considerarse suficiente cuando el límite inferior del intervalo de confianza ($p=0,05$) del coeficiente de determinación es igual o mayor de 0,95; por lo tanto puede inferirse que el eje del canal nasolagrimal se representará correctamente mediante la función vectorial de la ecuación (1), con polinomios cúbicos en ambos componentes; o alternativamente con un polinomio cuadrático para su componente sagital (x) y con un polinomio cúbico para la coronal (y).

La tabla 4 muestra los modelos polinómicos para el canal nasolagrimal derecho de 6 sujetos elegidos aleatoriamente: coeficientes polinómicos para cada

Tabla 3. Ajuste del polinomio a los datos en los planos sagital y coronal en función de su grado

Coordenada	Grado del polinomio	Media estimada de r	Intervalo confidencial (p=0,05)	
sagital	2	0,991	0,987	0,994
	3	0,996	0,994	0,997
	4	0,998	0,996	0,999
coronal	2	0,961	0,943	0,973
	3	0,980	0,969	0,988
	4	0,990	0,985	0,994

coordenada, coeficientes de determinación indicando el ajuste del modelo, el rango de valores del eje z en el que el polinomio representa el eje del canal y el número de secciones que forman el canal nasolagrimal.

Tabla 4. Modelo polinómico de tercer grado para cinco sujetos seleccionados aleatoriamente

Sujeto	r_x^2	$a x^3$	$+ b x^2$	$+ c x$	$+ d$	r_y^2	$e y^3$	$+ f y^2$	$+ g y$	$+ h$	Zmin	Zmax	Nº cortes
10	0,9925	-0,0075	0,8905	-35,5764	508,7872	0,9583	-0,0030	0,3327	-12,2405	234,0867	31,56	42,81	18
11	0,9975	0,0026	-2,0849	564,73	-50,937,44	0,7596	-0,0073	6,0548	-1,678,8	155,242,6	270,31	281,56	18
17	0,9964	-0,0036	0,7154	-47,4757	1103,3619	0,9583	0,0016	-0,2846	16,4710	-225,7000	54,6875	67,8125	21
29	0,9967	-0,0047	0,2812	-6,0968	70,52	0,9130	0,0014	-0,0614	0,8964	73,6686	10,94	23,44	20
31	0,9900	0,0185	-4,4957	365,26	-9,835,2	0,9553	0,0008	-0,1831	14,4543	-283,0147	77,19	87,81	17
37	0,9996	0,0046	-0,6676	32,4540	-462,11	0,9654	-0,0001	0,0319	-2,5340	161,3196	49,38	60,63	9

La representación 3D del modelo para los canales nasolagrimal del sujeto 17 se muestra en la fig. 11, junto con las correspondientes ecuaciones describiendo el modelo del eje.

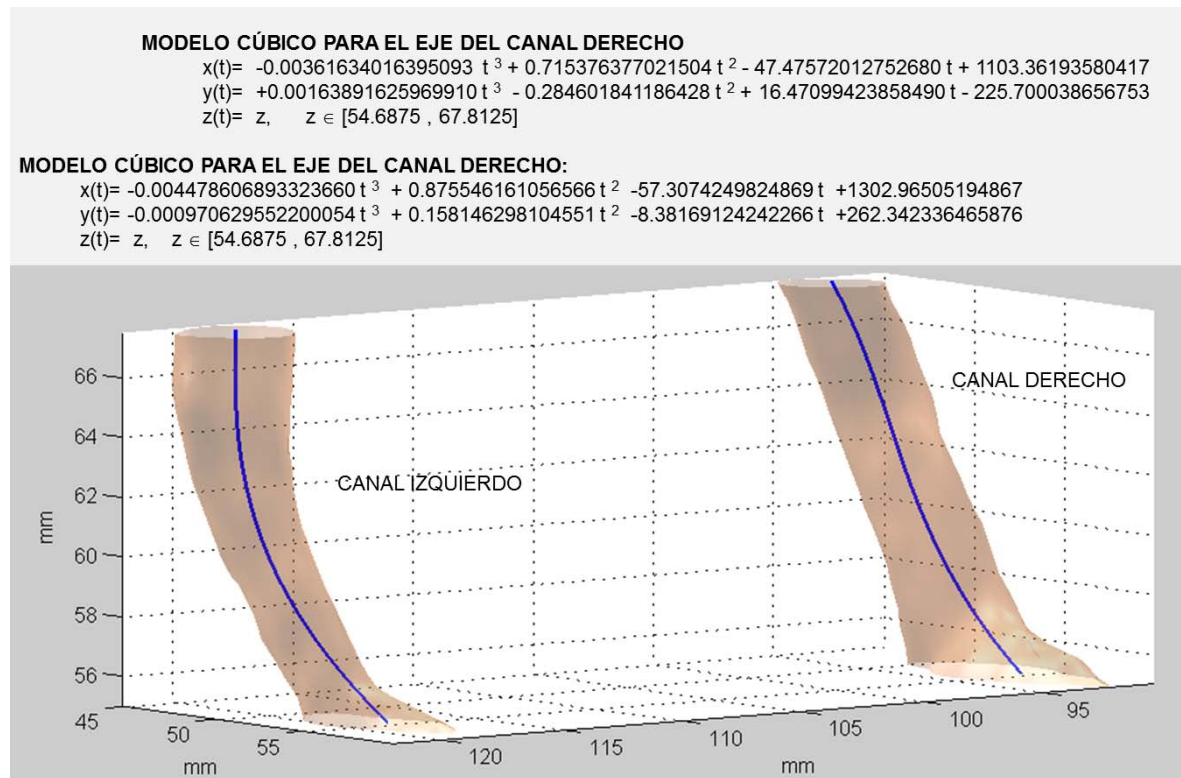


Figura 11. Modelos cúbicos para los ejes de los canales nasolagrimal derecho e izquierdo del sujeto 17

Los otros dos factores no tienen efecto significativo sobre la bondad de ajuste: ni el grupo ($F(1,32)=0,02$; $p=0,89$), ni la lateralidad ($F(1,32)=3,93$; $p=0,06$).

Las siete interacciones resultaron no significativas con solo dos excepciones, que por su débil tamaño del efecto no reclaman por ahora atención especial: grado*grupo ($F(2,32)=3,32$; $p=0,04$, Eta^2 parcial=0,09) y lateralidad*coordenada ($F(1,32)=5,18$; $p=0,03$; Eta^2 parcial =0,14).

6.4. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DE LA LONGITUD, EL ÁREA SECCIONAL Y EL VOLUMEN DEL CANAL NASOLAGRIMAL

Los nuevos métodos propuestos para medir las variables 3D más relevantes (longitud, área seccional y volumen) se comparan a continuación con los utilizados en publicaciones previas.

6.4.1. Métodos de medida de la longitud del canal nasolagrimal

Se han aplicado seis métodos para medir la longitud del canal nasolagrimal para evaluar la longitud de los 68 canales nasolagrimales de nuestra muestra: tres métodos directos (axial, de extremo a extremo y poligonal), y tres métodos basados en modelos (utilizando polinomios de segundo, tercer y cuarto grado como modelos del canal nasolagrimal). La longitud axial se ha obtenido como la distancia euclidiana entre los planos externos de las dos secciones que delimitan el canal nasolagrimal. La longitud de extremo a extremo es la distancia entre los centros del canal en sus planos de delimitación externos. La longitud poligonal se obtiene sumando las longitudes de los segmentos lineales que unen los centroides 3D, y añadiendo las extensiones desde los dos centroides extremos a sus respectivos planos de delimitación externos del canal nasolagrimal. La longitud de la curva del polinomio de grados 3 y 4 dentro del canal (longitud del eje del mismo) ha sido evaluada por métodos numéricos con una precisión mayor de 0,1 mm.

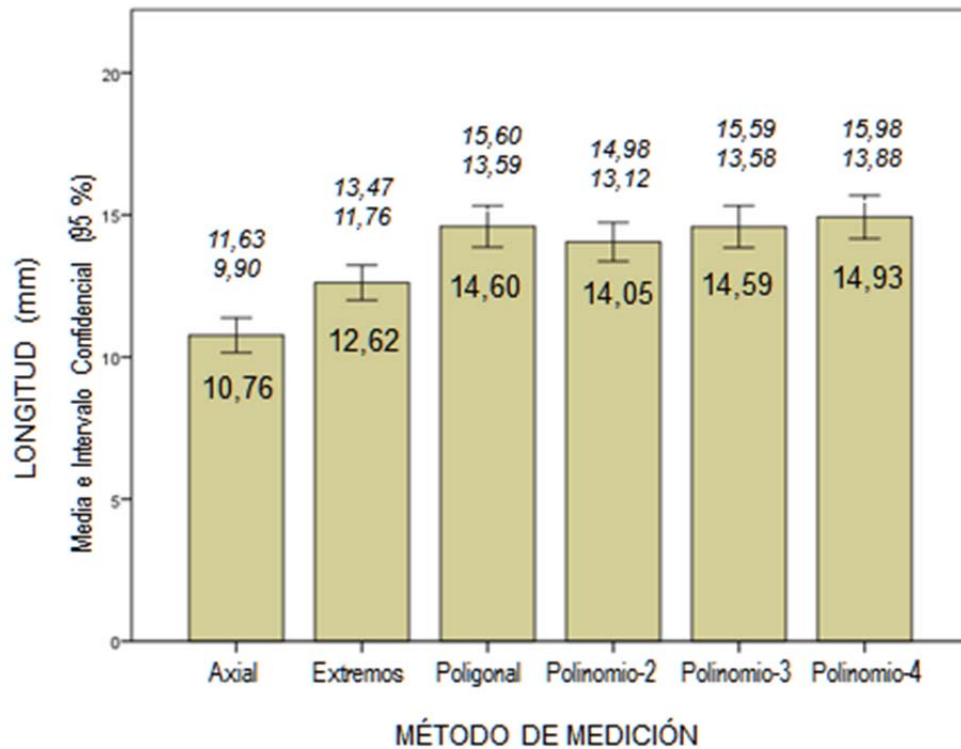


Figura 12. Longitud del canal nasolagrimal mediante cinco diferentes métodos de medida

En la sección previa dedicada a modelado del eje del canal nasolagrimal, se ha mostrado claramente que el modelo polinómico tiene muy buen ajuste a los datos; de forma que su longitud representa correctamente la del canal nasolagrimal y puede actuar como referencia para otros métodos. De acuerdo a este argumento, todos los demás métodos han sido comparados al basado en el modelo polinómico de tercer grado.

Los valores de la longitud obtenidos por los seis métodos se hallan recogidos en la figura 12. Las comparaciones se realizaron con un ANOVA de dos factores con medidas repetidas en ambos: el método de medida con seis niveles (axial, de extremo a extremo, poligonal y polinómico de grados 2, 3 y 4), y la lateralidad

(lados derecho e izquierdo); ésta última se incluyó para tomar en cuenta las correlaciones entre los dos canales nasolagrimales de la misma persona que aparecen en todos los métodos de medida y cuyo rango es de 0,78 a 0,89, siendo todas ellas estadísticamente significativas ($p=0,000$). El efecto del método resultó estadísticamente significativo ($F(5,33)=104,04$; $p=0,000$) mientras que el de la lateralidad no ($F(1,33)= 1,40$; $p=0,24$).

Las comparaciones de los métodos por pares muestran que todos los métodos se desvían significativamente del basado en el polinomio de grado 3 ($p<0,000$) con solo dos excepciones: el método poligonal ($p>0,05$) y el basado en el polinomio de 4º grado ($p>0,01$). Como se muestra en la fig. 12, las desviaciones ocurren exactamente en la dirección predicha por el análisis previo: los métodos axial y de extremo a extremo infraestiman de forma significativa la verdadera longitud de canal nasolagrimon, proporcionando un nuevo argumento para cesar su uso en favor del polinomio de tercer grado como modelo del canal nasolagrimon, sirviendo éste como la método de referencia para evaluar su longitud. Ciertamente, los métodos poligonal y polinómico de cuarto grado podrían considerarse equivalentes al basado en el polinomio de tercer grado, pero existen dos razones a favor de éste último: es menos sensible que el poligonal a desviaciones aleatorias en determinadas localizaciones del eje debidas a errores aleatorios en los valores UH; y también es más parsimonioso que el de grado mayor.

6.4.2. Métodos de medida del área seccional del canal nasolagrimal

Los cinco diferentes métodos descritos en la sección previa para calcular el área seccional (axial, poligonal y polinómico de grados 2, 3 y 4) se han aplicado a las 1115 secciones de los canales nasolagrimales de la muestra para evaluar el área seccional media y el área seccional mínima en cada uno de los 68 canales nasolagrimales. El objetivo es identificar el método más adecuado para ser utilizado en la búsqueda de diferencias entre el grupo control y el grupo de pacientes

6.4.2.1. Métodos de medida del área seccional media

El área seccional media representa el promedio de las áreas seccionales de todas las secciones del canal nasolagrimal diferenciadas en la tomografía. El área seccional correspondiente a cada corte se ha evaluado utilizando cinco métodos: directamente en la imagen de TC, en el plano de la imagen ortogonal al eje axial de la TC (método axial) y en el plano ortogonal a la dirección del canal nasolagrimal obtenida mediante el modelo numérico (método poligonal) y mediante sus modelos polinómicos de 2º, 3º y 4º grado (métodos p2, p3 y p4). La variable independiente es por tanto el método de medida, y la variable dependiente es la media de las áreas seccionales en cada canal nasolagrimal obtenida mediante cada uno de los métodos. La figura 13 muestra el área seccional media obtenida en los 68 canales nasolagrimales de la muestra mediante cada método de medida.

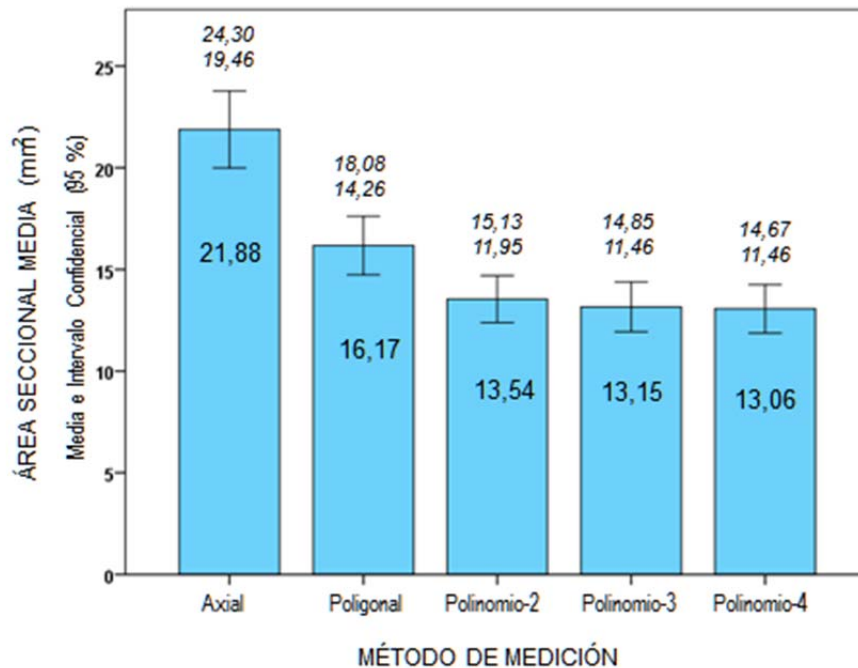


Figura 13. Áreas seccionales medias de los canales nasolagrimales obtenidas por los diferentes métodos de medida

La comparación de los cinco métodos para evaluar el área seccional se ha realizado mediante ANOVA de un diseño factorial 5x2 con medidas repetidas en los dos factores: método y lateralidad; esta última ha sido incluida como en otras ocasiones anteriores para tomar en consideración las correlaciones entre las medidas obtenidas de los canales derecho e izquierdo, cuyo rango va de 0,59 a 0,82 y que resultan significativas en todos los casos ($p=0,000$). Los resultados muestran un efecto significativo del método para medir el área seccional ($F(1,33)=102,58$, $p=0,000$; $W(9)=0,003$, $p=0,000$) y las comparaciones de las medias obtenidas por otros métodos con la que da el polinomio-3 revelan que todos los demás métodos se desvían significativamente de éste, excepto el

método basado en el polinomio de grado 4; la diferencia es significativa para el axial ($F(1,33)=115,34$; $p=0,000$), poligonal ($F(1,33)=64,20$; $p=0,000$) y polinómico-2 ($F(1,33)=9,50$; $p=0,004$); pero la diferencia es muy pequeña ($0,001 \text{ mm}^2$) y no significativa para polinómico de grado 4 ($F(1,33)=0,53$; $p=0,47$).

Obtener el área seccional media del canal nasolagrimal directamente de los cortes axiales sobreestima el valor real en un 65% en el caso de nuestra muestra.

6.4.2.2. Métodos de medida del área seccional mínima

El área seccional mínima representa el área de la menor sección del canal nasolagrimal. Su valor depende del método utilizado para evaluarlo. Los mismos métodos de la sección previa se han comparado en la evaluación del área

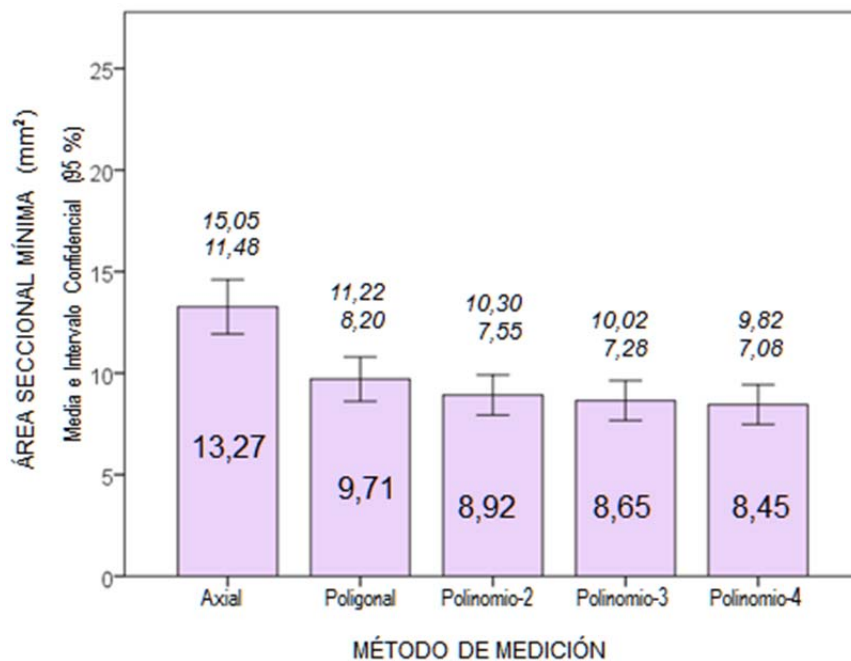


Figura 14. Áreas seccionales mínimas obtenidas mediante diferentes métodos de medición en los canales nasolagrimales derecho e izquierdo

seccional mínima: axial, poligonal, y polinómicos de grado 2º, 3º y 4º. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 14.

Los cinco métodos para evaluar el área seccional mínima se han comparado mediante un ANOVA con dos factores con medidas repetidas en ambos: método y lateralidad (incluido de nuevo por razones análogas a los casos anteriores; ahora las correlaciones están en el rango de 0,69 a 0,89 y también son todas estadísticamente significativas, $p=0,000$).

El efecto del método también resulta significativo ($F(1,33)=47,86$, $p=0,000$; $w(9)=0,001$, $p=0,000$) y las comparaciones por pares ponen de manifiesto que todos los métodos se apartan significativamente del basado en el polinomio de tercer grado, incluido el de grado 4, aunque es el que menos se desvía: polinomio-4 ($F(1,33)=7,53$, $p=0,010$; axial ($F(1,33)=53,66$; $p=0,000$), poligonal ($F(1,33)=32,25$; $p=0,000$) and polinomio-2 ($F(1,33)=11,68$; $p=0,002$).

6.4.3. Métodos de medida del volumen del canal nasolagrimal

El volumen del canal nasolagrimal se ha obtenido siguiendo el método descrito anteriormente y el resultado se recoge en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados para el volumen del canal nasolagrimal (mm^3)

N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Error típico de la media
68	361,55	95,65	457,19	228,21	78,35	9,50

El modelo de superficie se ha obtenido en algunos casos, solo para demostrar su factibilidad y su utilidad para proporcionar una representación visual de la forma tridimensional del canal nasolagrimal (fig. 15). Los correspondientes modelos de realidad virtual en color, permitiendo la rotación tridimensional para observarlos desde cualquier perspectiva, están disponibles en www.drajanez.com/nlc3Dmodels.

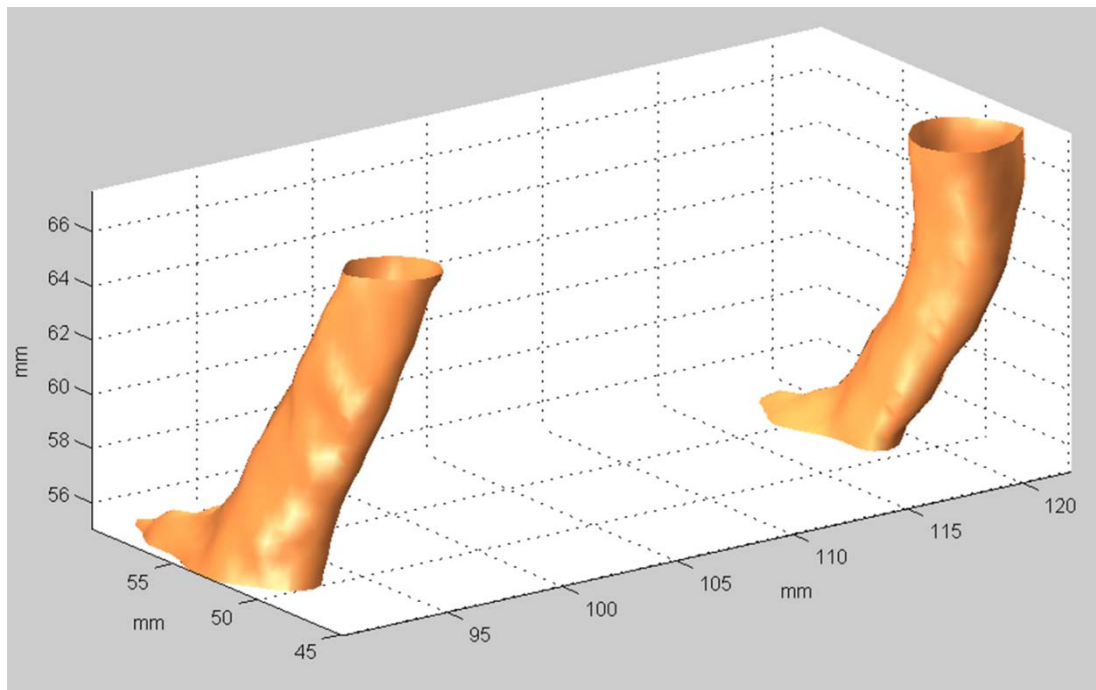


Figura 15. Modelos de superficie de los canales nasolagrimal del sujeto 17

6.5. HALLAZGOS CLÍNICOS CON LOS NUEVOS MÉTODOS DE MEDIDA

El procedimiento para crear los grupos de pacientes y de controles no permitió equipararlos en todas las variables que podrían influenciar las variables

dependientes. Se hallaron diferencias en el número de sujetos y la edad entre el grupo control (n=18; \bar{X} =48,72, SD=15,75) y el de pacientes (n=16; \bar{X} =65,69, SD=7,73)

La diferencia de edad media es estadísticamente significativa entre los dos grupos (diferencia=16,96 años, $t(25)=4,05$, $p=0,00$) y las varianzas también (Levene $F=9,05$, $p=0,005$); esto implica que la edad se debe considerar una covariable al estudiar las diferencias entre los grupos de pacientes y de controles. No se halló asociación significativa entre la obstrucción y el sexo (probabilidad exacta de Fisher, $p=0,09$); no obstante, teniendo en cuenta resultados de otros autores, fue incluida también como covariable.

Los datos demográficos y clínicos de los grupos de pacientes y de controles se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Datos demográficos y clínicos de los grupos de pacientes y de controles

	Pacientes			Controles			Contraste	Significación
	X	SD	n	X	SD	n		
Edad	65,69	7,73	16	48,72	15,75	18	$t(25,36)=4,053$ $F=9,05$	$p<0,000^{***}$ $p<0,005^{**}$
Sexo:							$\text{Chi}^2=1,86$	$p<0,18$ (NS)
<i>Hombres</i>			7			2		
<i>Mujeres</i>			11			14		

En cuanto al número de cortes por canal nasolagrimal (tabla 7) no hay diferencias significativas entre los canales nasolagrimales derecho e izquierdo ($F(1,32)=0,07$, $p=0,93$) ni entre los grupos de pacientes y de controles ($F(1,32)=0,001$, $p=0,98$).

Tabla 7. Número de cortes que incluyen al CNL

Número de cortes	Grupo	Media	DT	n
Canal derecho	Control	16,39	4,381	18
	Pacientes	16,38	4,617	16
	Total	16,38	4,425	34
Canal izquierdo	Control	16,44	4,246	18
	Pacientes	16,38	5,032	16
	Total	16,41	4,560	34

En cuanto a la geometría de los vóxeles los grupos no difieren significativamente en su altura o *slice spacing* (diferencia=0,12 mm, $t(15)=1,86$, $p=0,08$; Levene $F=26,43$, $p=0,00$); difieren sin embargo en el lado del cuadrado que forma su base o *pixel spacing* (diferencia media en x e y=0,05 mm, $t(32)=3,64$, $p=0,001$), aunque esta diferencia carece de implicaciones relevantes para la interpretación de los resultados.

Planteamos la hipótesis de que las diferencias en las dimensiones del canal nasolagrimal óseo entre ambos sexos halladas en trabajos previos podrían deberse a las diferentes características antropométricas de hombres y mujeres (Farkas LG, 1984) (Yong AM, 2014). Como índice del tamaño cefálico se ha tomado la distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios. Se ha elegido este índice por basarse en una marca cefalométrica de localización muy precisa (figura 16) y porque está visible en las TC de todos los sujetos de la muestra. Los resultados se hallan en la tabla 8.

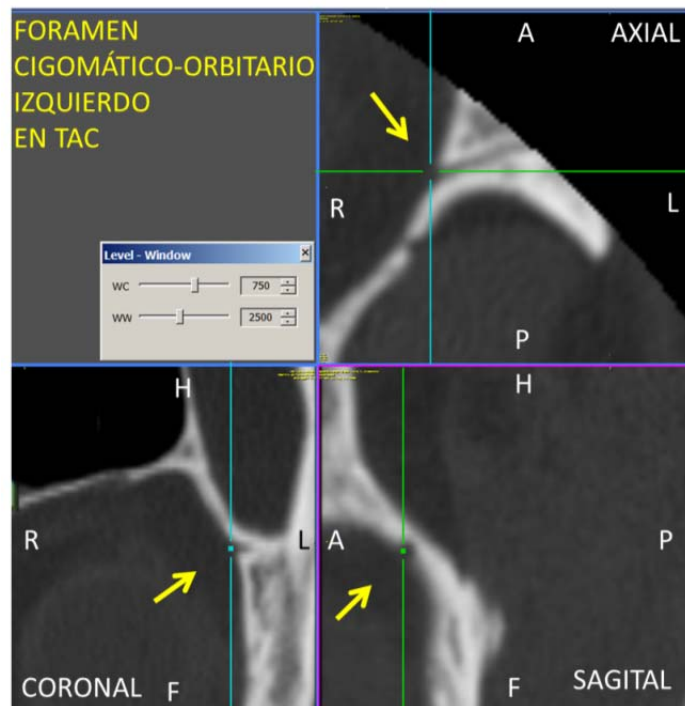


Figura 16. Foramen cigomático-orbitario en TC (sujeto 41)

Tal como cabía esperar tras los resultados de Yong et al 2014, la diferencia entre hombres y mujeres es grande y estadísticamente significativa ($t(32)=3,43$, $p=0,002$).

En consonancia con este hallazgo está la fuerte correlación entre la distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios y el sexo: $r=0,518$ ($p=0,002$).

Tabla 8. Distancia entre forámenes cigomático-orbitarios en hombres y mujeres

	SEXO	N	Media (mm)	Desviación estándar
DISTANCIA ENTRE FORÁMENES CIGOMÁTICO-ORBITARIOS	Hombre	9	87,56	3,49
	Mujer	25	82,40	3,99

Por otra parte, la diferencia en la misma variable entre el grupo de control y el de obstruidos (tabla 9) no llega a 1 mm y no es significativa ($t(28,54)=0,43$, $p=0,67$).

Tabla 9. Distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios en pacientes y controles

	GRUPO	N	Media (mm)	Desviación estándar
DISTANCIA ENTRE FORÁMENES CIGOMATICO-ORBITARIOS	pacientes	16	83,42	3,28
	control	18	84,07	5,38

6.5.1. Volumen del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles

Los datos sobre el volumen del CNL medido en los grupos de pacientes y control se hallan en la figura 17. El efecto del grupo sobre el volumen del canal nasolagrimal se ha investigado con un ANCOVA con un factor fijo (el grupo) y 4 covariables: edad, sexo, distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios y lateralidad del canal. Los resultados del análisis se hallan en la tabla 10: el volumen del CNL en el grupo de pacientes es $27,66 \text{ mm}^3$ mayor que en el grupo control, pero la diferencia no es estadísticamente significativa.

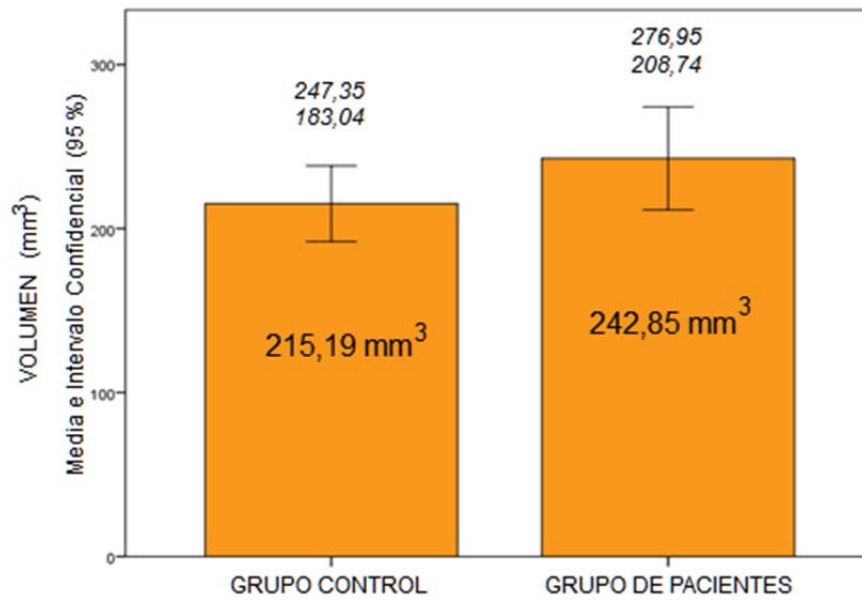


Figura 17. Volumen del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles

Tabla 10. Análisis de covarianza del VOLUMEN del canal nasolagrimal
 Variable independiente: grupo (control, pacientes)
 Covariables: edad, sexo, distancia FCF, lateralidad del canal

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	22882,351 ^a	5	4576,470	,731	,603
Interceptación	6920,303	1	6920,303	1,105	,297
GRUPO	9266,930	1	9266,930	1,479	,228
EDAD	481,809	1	481,809	,077	,782
SEXO	3086,500	1	3086,500	,493	,485
DISTANCIA_FCF	108,843	1	108,843	,017	,896
LADO_CANAL	6218,403	1	6218,403	,993	,323
Error	388379,597	62	6264,187		
Total	3952587,282	68			
Total corregido	411261,948	67			

a. R al cuadrado = ,056 (R al cuadrado ajustada = -,021)

b. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

6.5.2. Longitud del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles

El análisis de la longitud del canal nasolagrimal, medido mediante el método basado en el modelo cúbico del eje del canal nasolagrimal, ha seguido los mismos pasos y diseño previamente descritos para el volumen. Los resultados muestran que el canal nasolagrimal en pacientes es solo 0,45 mm más corto que en el grupo control (fig. 18). El ANCOVA realizado, con las mismas covariables que para el volumen, muestra que la diferencia en la longitud del canal entre los grupos de pacientes y control no es estadísticamente significativa (tabla 11).

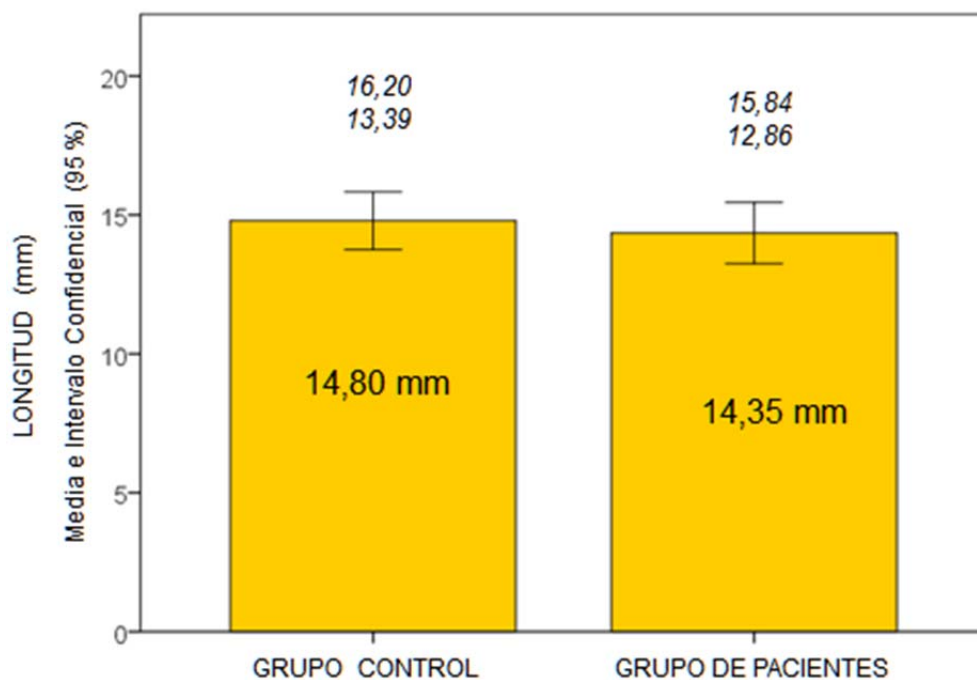


Figura 18. Longitud del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles

Tabla 11. Análisis de covarianza de la LONGITUD del canal nasolagrimal medida a lo largo de su eje cúbico.

Variable independiente: grupo (control, pacientes).

Covariables: edad, sexo, distancia FCF, lateralidad del canal.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	17,519 ^a	5	3,504	,359	,874
Interceptación	20,783	1	20,783	2,131	,149
GRUPO	8,366	1	8,366	,858	,358
EDAD	9,170	1	9,170	,940	,336
SEXO	1,295	1	1,295	,133	,717
DISTANCIA_FCF	,033	1	,033	,003	,954
LADO_CANAL	3,687	1	3,687	,378	,541
Error	604,692	62	9,753		
Total	15088,483	68			
Total corregido	622,210	67			

a. R al cuadrado = ,028 (R al cuadrado ajustada = -,050)

b. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

6.5.3. Área seccional media del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles

De acuerdo con las conclusiones de la sección dedicada a comparar los diferentes métodos de medida, el área seccional media se ha medido en el plano ortogonal al modelo cúbico del eje del canal nasolagrimal. Los resultados (fig. 19)

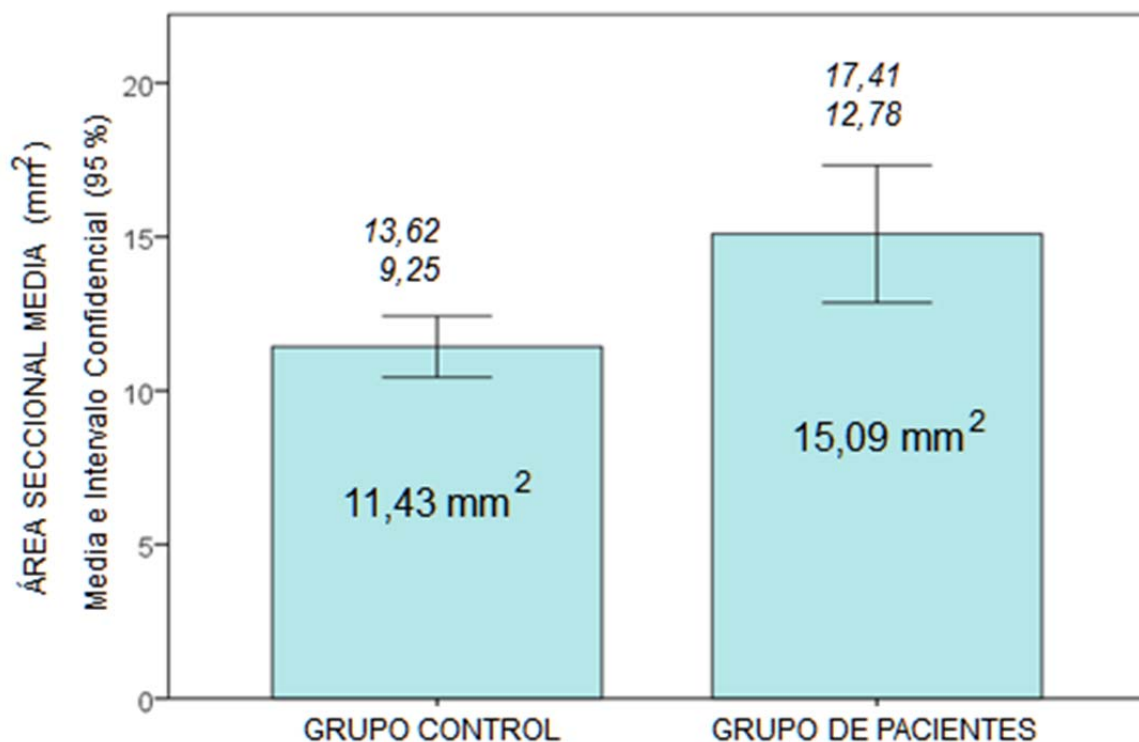


Figura 19. Áreas seccionales medias en los grupos de pacientes y controles

muestran que la media del área seccional ortogonal es 3,66 mm² mayor en los pacientes que en los controles. El ANCOVA, con las mismas covariables utilizadas en los dos análisis precedentes, mostró que la diferencia entre las áreas seccionales medias de los grupos de pacientes y controles es estadísticamente significativa (tabla 12).

Tabla 12. Análisis de covarianza del AREA MEDIA del CNL ortogonal al polinomio cúbico
 Variable independiente: grupo (control, pacientes)
 Covariables: edad, sexo, distancia FCF, lateralidad del canal

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	232,521 ^a	5	46,504	1,942	,100
Interceptación	23,562	1	23,562	,984	,325
GRUPO	138,053	1	138,053	5,764	,019
EDAD	2,943	1	2,943	,123	,727
SEXO	2,674	1	2,674	,112	,739
DISTANCIA_FCF	,095	1	,095	,004	,950
LADO_CANAL	,420	1	,420	,018	,895
Error	1484,885	62	23,950		
Total	13483,873	68			
Total corregido	1717,406	67			

a. R al cuadrado = ,135 (R al cuadrado ajustada = ,066)

b. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

Resulta relevante señalar que cuando el área seccional del canal se mide por el procedimiento tradicional, que en este trabajo denominamos el método axial, las medias que encuentra para controles y pacientes son 21,69 y 22,10 mm, respectivamente, que son muy superiores a las halladas por el método anterior; realizado el mismo tipo de análisis que para el método cúbico se ha obtenido el resultado de la tabla 13, que pone de manifiesto que la exigua diferencia que ha detectado el método tradicional, de solo 0,41 mm, no resulta significativa. Esto pone en evidencia la mayor sensibilidad del método cúbico desarrollado y propuesto en este trabajo para medir la sección del canal nasolagimal, ventaja

que atribuimos a que sustituye la medición axial por la ortogonal al eje que le proporciona el modelo.

Tabla 13. Análisis de covarianza del AREA MEDIA axial del CNL

Variable independiente: grupo (control, pacientes)

Covariables: edad, sexo, distancia FCF, lateralidad del canal

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	332,071 ^a	5	66,414	1,096	,372
Interceptación	414,226	1	414,226	6,834	,011
GRUPO	,503	1	,503	,008	,928
EDAD	8,439	1	8,439	,139	,710
SEXO	29,020	1	29,020	,479	,492
DISTANCIA_FCF	93,614	1	93,614	1,544	,219
LADO_CANAL	71,284	1	71,284	1,176	,282
Error	3757,940	62	60,612		
Total	36649,063	68			
Total corregido	4090,011	67			

a. R al cuadrado = ,081 (R al cuadrado ajustada = ,007)

b. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

6.5.4. Área seccional mínima del canal nasolagrimal en los grupos de pacientes y controles

Por las razones mencionadas anteriormente, el área seccional mínima del canal se determina midiendo primeramente el área real (no aproximada por elipses) de todas las secciones y a partir de esas medidas determinar matemáticamente cuál

es la menor. Por lo tanto nuestro método puede considerarse más preciso y más objetivo que los que están en uso y que consisten o bien buscar visualmente el mayor estrechamiento y medirlo, o bien en tomar unas pocas medidas que se consideran representativas del conjunto del canal (entrada, salida y uno o unos pocos niveles intermedios) y de ahí inferir el valor mínimo. Las medias de las áreas seccionales mínimas que con el nuevo método hemos hallado son las indicadas en la figura 20; en el grupo de pacientes con obstrucción es 2,66 mm² mayor que en el grupo control. El resultado del correspondiente ANCOVA, realizado con el mismo diseño que la variable precedente, ha mostrado (tabla 14) que la diferencia es significativa, siendo el área menor en el grupo control.

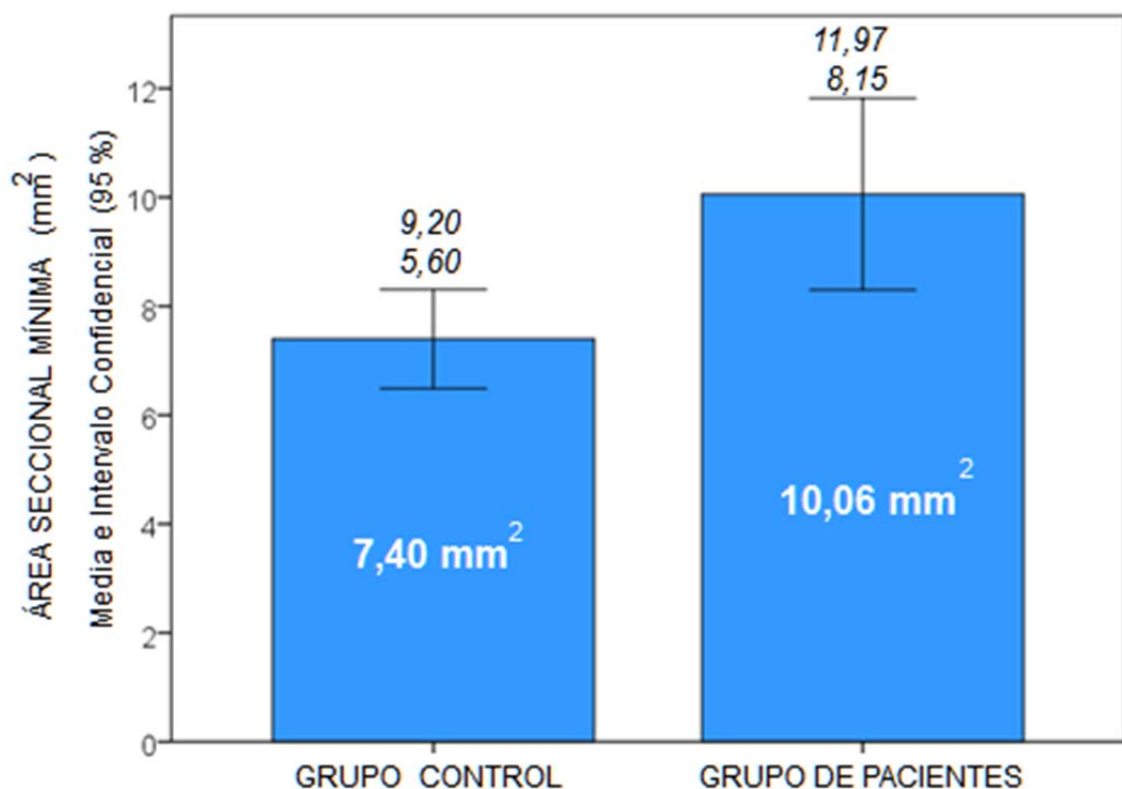


Figura 20. Área seccional mínima en los grupos de pacientes y controles

*Tabla 14. Análisis de covarianza del AREA MINIMA del CNL ortogonal al eje cúbico
Variable independiente: grupo (control, pacientes)
Covariables: edad, sexo, distancia FCF, lateralidad del canal*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	167,286 ^a	5	33,457	2,197	,066
Interceptación	,304	1	,304	,020	,888
GRUPO	91,292	1	91,292	5,995	,017
EDAD	1,389	1	1,389	,091	,764
SEXO	14,873	1	14,873	,977	,327
DISTANCIA_FCF	3,724	1	3,724	,245	,623
LADO_CANAL	9,589	1	9,589	,630	,431
Error	944,174	62	15,229		
Total	6200,180	68			
Total corregido	1111,460	67			

a. R al cuadrado = ,151 (R al cuadrado ajustada = ,082)

b. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

Nuevamente hay que destacar que al determinar el área mínima por el método axial tradicional, los valores hallados son 13,24 y 13,30 mm² para el grupo control y el de pacientes, respectivamente. El mismo ANCOVA utilizado anteriormente revela que con este método la diferencia entre las medias del área mínima en pacientes y controles no resulta significativa, poniendo de nuevo en evidencia la menor sensibilidad del método axial con respecto al propuesto aquí.

En nuestro trabajo, no hemos hallado relación significativa de la edad con el volumen, ni con las áreas seccionales media y mínima, ni con la longitud del

canal. Sin embargo la correlación de Pearson de la edad con las áreas medias ortogonales basadas en los ejes polinómicos de 2º, 3º y 4º grado oscila entre 0,12 y 0,30, tanto en el canal derecho como en el izquierdo.

Tabla 15. Análisis de covarianza del AREA MINIMA axial del CNL
Variable independiente: grupo (control, pacientes)
Covariables: edad, sexo, distancia FCF, lateralidad del canal

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	53,082 ^a	5	10,616	,328	,894
Interceptación	105,065	1	105,065	3,248	,076
GRUPO	,125	1	,125	,004	,951
EDAD	5,495	1	5,495	,170	,682
SEXO	9,693	1	9,693	,300	,586
DISTANCIA_FCF	13,132	1	13,132	,406	,526
LADO_CANAL	,001	1	,001	,000	,995
Error	2005,355	62	32,344		
Total	14025,945	68			
Total corregido	2058,437	67			

a. R al cuadrado = ,026 (R al cuadrado ajustada = -,053)

b. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

7. DISCUSIÓN

7.1. ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES DE LOS TRABAJOS PREVIOS

7.1.1. Limitaciones en el diseño del estudio

7.1.1.1. Limitaciones por ser estudios retrospectivos

Excepto el estudio prospectivo de Wilhelm et al 2009, todos los trabajos con TC analizados son retrospectivos, con los posibles errores que conlleva este tipo de estudio. La etapa más crítica de un estudio corresponde a la del diseño, ya que resulta casi imposible corregir a posteriori los sesgos introducidos durante esta etapa. Los sesgos de selección pueden ocurrir en cualquier estudio epidemiológico, sin embargo, ocurren con mayor frecuencia en estudios retrospectivos. En los estudios observacionales, el sesgo de confusión se puede entender como un problema de comparabilidad cuyo origen está ligado a la imposibilidad de realizar una asignación aleatoria de la exposición en los sujetos de estudio. Lo que se pretende es que los grupos sean similares en todo excepto en la exposición que se busca evaluar (Hernández-Ávila M, 2008).

También son prospectivos los trabajos con radiografía convencional (Truchot P, 1953) (Phillips CI, 1956) (Kesavachar KR, 1958) (Shukla B, 1965) (Ruiz-Barranco

F, 1977), pero la radiación a la que se ve sometido el paciente en una radiografía convencional es mucho menor.

7.1.1.2. Limitaciones por la selección de los sujetos

Phillips et al 1956 afirman que el grupo de afectados de su estudio no es una muestra aleatoria de pacientes con epífora en Gran Bretaña, y el grupo control mucho menos es una muestra aleatoria de individuos de la misma edad, sexo, raza, estatura, etc. que los afectados. En el trabajo de Post 1969, la muestra procede de dos poblaciones diferentes (cráneos procedentes de la Washington University, y cráneos neolíticos procedentes de 5 museos europeos).

Janssen et al 2001 hallaron que el diámetro medio mínimo del canal óseo en los pacientes con epífora fue significativamente más pequeño que en el grupo control. Sin embargo, los autores reconocen que el grupo de pacientes con epífora era pequeño y heterogéneo, y podría no ser representativo del grupo total de pacientes sometidos a dacriocistoplastia. De los 200 pacientes tratados con dacriocistoplastia, solo 19 pacientes fueron seleccionados para inclusión en el estudio. Al incluir solo a los que se les hizo TC previa a la dacriocistoplastia, podría ser que dichos pacientes no fuesen representativos de la población de pacientes, al ser casos complicados, con anatomías especiales o por haberse visto modificado el diámetro por dacriocistoplastia, dacriocistorrinostomía o traumatismos previos.

Wilhelm et al 2009 utilizó el lado no afectado como grupo control, pudiendo diferir la anatomía de este lado de la anatomía de la población normal. Este mismo

problema aparece en el trabajo de Takahashi et al 2014: los pacientes de los grupos B (lados no afectados de los pacientes con obstrucción) y C (pacientes sin obstrucción) pueden sufrir PANDO en el futuro; en el primer grupo porque en base a nuestros resultados, existe una fuerte correlación entre ambos lados, teniendo por tanto una anatomía similar y similar predisposición a la obstrucción, y en el segundo grupo, porque todos los pacientes con irrigación permeable y sin fractura del canal nasolagrimal óseo se incluyeron en el grupo control; los pacientes a los que se les haya realizado previamente irrigación sería probablemente por presentar sintomatología de obstrucción, pudiéndola presentar en un futuro una obstrucción lagrimal, aunque en el momento de la exploración la irrigación fuese permeable.

Algunos autores no concretan la población de origen de la muestra (Kesavachar KR, 1958) (Groessl SA, 1997)

7.1.1.2.1. Utilización de TC de senos en pacientes sin obstrucción

Muchos de los estudios revisados utilizan TC de senos en pacientes con patología nasal o sinusal para el grupo de sujetos sin obstrucción, para estudiar la morfología del canal nasolagrimal normal (Janssen et al 2001) (Siricki A, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009) (Ramey NA, 2013) (Takahashi Y, 2014) (Estes JL, 2015). De este modo pueden incluir pacientes que tengan una anatomía alterada del canal nasolagrimal y que no sean representativos de la población normal, dada la conocida asociación de la patología nasal y sinusal con la obstrucción del conducto lagrimal (Kallman JE,

1997) (Francis IC, 1999) (Habesoglu M, 2013). En el trabajo de McCormick 2009, la incidencia de epífora es mayor de la esperada, así como la incidencia reportada de cirugía de vía lagrimal. McCormick 2009 afirma que se debe considerar que la población sometida a TC de senos puede no reflejar con exactitud la población general. En otras palabras, la incidencia de epífora y de cirugía de vía lagrimal puede ser mayor en este grupo, lo que podría haber sesgado los resultados, e infraestimado el diámetro de los canales nasolagrimales del grupo control, en caso de que el menor diámetro del canal nasolagrimal se relacionase con la obstrucción del conducto (McCormick A, 2009). McCormick et al 2009 realizaron una revisión retrospectiva de TC facial de senos, sin PANDO conocida, encontrando que el hallazgo más frecuente en las TC fue sinusitis (36%). A los sujetos se les escribió y preguntó si habían tenido cirugía de vías lagrimales o lagrimeo que les cayera por la mejilla, por lo que no se descarta que los síntomas pudieran aparecer más tarde. Del mismo modo, Shigeta et al 2007 estudiaron TC de senos por patología maxilofacial, incluyendo pacientes sin epífora y sin evidencia de condiciones patológicas que afectasen al canal nasolagrimal óseo, encontrando en este caso sinusitis paranasal en el 67%.

Wladis et al 2005 solo excluyeron los casos de enfermedades sinusales que alterasen la anatomía facial. Ramey et al 2013 solo excluyeron a los pacientes con historia de sinusitis de larga evolución, por lo que los pacientes incluidos con sinusitis podrían no tener una anatomía representativa de la población normal. Takahashi et al 2014 no especifican que excluyan pacientes con patología de senos paranasales en el grupo control. Los autores incluyeron en el grupo control

todos los pacientes con irrigación permeable y sin fractura del canal nasolagrimal óseo, aunque no especifican cómo seleccionaron a dichos pacientes.

Este error también aparece en trabajos con radiografía, como Phillips et al 1956, que incluyen pacientes con radiografía de senos.

Algunos autores no especifican el tipo de TC utilizada (Wladis EJ, 2005) (Estes JL, 2015)

7.1.1.2. Limitaciones por edad, sexo o raza de los sujetos

Las estructuras óseas faciales cambian con el tiempo (Kahn DM, 2008). En el trabajo de Estes et al 2015, el rango de edad de los sujetos en el estudio era estrecho y se centró en los adultos mayores con obstrucción, al igual que el trabajo de Takahashi et al 2013, que examinaron solo cadáveres de sujetos de edad avanzada. Serían necesarias muestras con un rango de edad más amplio para poder extrapolar los resultados de estos estudios a individuos más jóvenes.

Estes et al 2015 no controlaron la raza, que podría ser un posible factor de confusión, ya que estudios previos han demostrado diferencias entre las distintas razas tanto en los volúmenes de conductos (Fasina O, 2013) (Ramey NA, 2013), como en las mediciones bidimensionales (McCormick A, 2009) (Wladis EJ, 2005). El trabajo de Takahashi et al 2014 se limita a pacientes japoneses, por lo que sus conclusiones no son extrapolables a todas las razas. Del mismo modo, Fasina et al 2013 estudia únicamente TC en población de raza negra. La menor disponibilidad de pacientes negros con respecto a los caucásicos para el análisis

puede haber producido un sesgo de muestreo en el trabajo de Ramey et al 2013. Yong et al 2014 reconocieron que su estudio estaba limitado principalmente por menor número de pacientes en el grupo de razas del sur asiático y caucásicas. Los autores apuntan que no hicieron distinción entre los diferentes sexos y diferentes grupos de edad, los cuales pueden afectar a los parámetros del canal nasolagrimal.

Wladis et al 2005 no hacen referencia a la edad a pesar de ser una variable relacionada con la existencia de obstrucción de vía lagrimal (Linberg JV, 1986) (Steinkogler FJ, 1986). Steinkogler 1986 solo pudo determinar en aproximadamente la mitad de los cráneos si eran hombres o mujeres, y no pudo verificar diferencia estadísticamente significativa entre hombres y mujeres.

En el trabajo de Kesavachar 1958, los casos (la mayoría hombres y con edades comprendidas entre 17 y 39 años) no son representativos de la población en la que habitualmente se presenta la obstrucción de las vías lagrimales.

7.1.1.2.3. Limitaciones derivadas de los criterios de inclusión y exclusión

En los trabajos revisados faltan uno o varios de los criterios de exclusión de las patologías que podrían distorsionar los resultados, por su posible relación con la morfología del canal nasolagrimal óseo y que a continuación se enumeran: traumatismos, cirugías, infecciones, inflamaciones, neoplasias, malformaciones o fracturas faciales, nasales, de senos paranasales o del aparato lagrimal; patología nasal o de senos paranasales evidenciada en la exploración otorrinolaringológica

o en las pruebas de imagen; e individuos con patología otológica que pudieran ser susceptibles de tener unas condiciones anatómicas favorecedoras de procesos obstructivos de la vía lagrimal.

En algunos trabajos se incluyen pacientes con epífora funcional (Kesavachar KR, 1958) (Phillips CI, 1956). Estos casos no deberían incluirse en el grupo de pacientes, porque esto implica incluir individuos que podrían tener alteraciones funcionales, pero no anatómicas.

En el estudio de Janssen et al 2001 no especifican que las TC realizadas para evaluación del sistema de drenaje lagrimal y el canal óseo tras DCR fallida o tras traumatismo facial se hayan excluido del estudio. Dichas TC deberían haberse excluido, dado que cabría la posibilidad de que tras DCR fallida o tras traumatismo facial se hubieran producido cambios en el canal nasolagrimal óseo. Los autores también incluyen en el estudio TC tras dacriocistoplastia afirmando que el diámetro del canal no varía tras la misma, aunque no citan bibliografía al respecto.

Wladis et al 2005 no especifican los criterios de inclusión.

7.1.1.3. Limitaciones por el tamaño muestral

Estes et al 2015 reconocen varias limitaciones en su estudio. No realizaron ningún cálculo formal de poder previo al inicio del estudio, sino que el tamaño de la muestra se basó en el número total de pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión para el período de tiempo definido, con un número idéntico de

controles seleccionados con fines comparativos. Los autores afirman que su estudio fue un pequeño estudio piloto destinado a estimar el volumen medio para el grupo disponibles de casos y de controles, y que se requiere un mayor estudio para confirmar sus resultados nulos.

El tamaño de la muestra menor que en otros estudios con TC (Groessl SA, 1997) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009) (Janssen AG, 2001) y estudios con cráneos (Post RH, 1969) es una limitación del trabajo de Takahashi et al 2013. El menor tamaño muestral habría podido contribuir a que se no hayan demostrado diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en el diámetro anteroposterior.

7.1.2. Limitaciones por la metodología de medición

7.1.2.1. Errores derivados de las mediciones manuales

En los trabajos revisados, las mediciones sufren distorsiones debidas a errores originados principalmente por la inexactitud de las operaciones manuales y por las limitaciones visuales y motoras (agudeza visual, temblores, desplazamiento de los contornos percibidos debido a cambios de la iluminación ambiental, desgaste de las pantallas, falta de calibración DICOM en los monitores...) (Samei E, 2005) (Lowe JM, 2010).

Todos los trabajos revisados tienen al menos un paso manual, con la consiguiente pérdida de precisión, objetividad y reproducibilidad.

Una posible fuente de error es el marcado del reborde del canal para determinar los límites del diámetro a medir (McCormick A, 2009) (Lee H, 2012) (Yong AM, 2014). El límite de la pared interna del reborde del canal en los cortes axiales es difícil de precisar en determinados puntos.

Algunos autores utilizan herramientas software de medición, pero el marcado de los límites permanece manual (Janssen AG, 2001) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009). Algunos autores realizan mediciones repetidas para minimizar este error y calculan la media (Estes JL, 2015), sin embargo promediar un número exiguo de medidas reduce muy poco el intervalo confidencial de la media resultante y no corrige en absoluto los sesgos sistemáticos que pueden originarse por factores externos, y que influyen en el posicionamiento percibido de los contornos, como por ejemplo el desgaste de las pantallas o el efecto de las condiciones de iluminación ambiental.

En general, parece que la mayoría de las distorsiones en las mediciones previas se derivan de las limitaciones de trabajo, de la intervención de operaciones manuales y de la falta de ortogonalidad entre el plano de corte y el eje del canal, que presentan la mayoría de los trabajos revisados. Este problema ha sido previamente identificado y descrito por Ramey et al 2013, que propusieron medir el área seccional en un nuevo corte, reconstruido ortogonalmente a la dirección del canal nasolagrimal; sin embargo su solución se basa de nuevo en identificar visualmente esta última orientación.

7.1.2.2. Errores por realizar las mediciones en cortes axiales

Janssen et al 2001 ya apuntaban que pueden producirse errores en la medición del menor diámetro del canal óseo en TC axiales, si no se consideran la forma del canal y el ángulo entre el canal y el plano axial.

En los trabajos anteriores a Ramey et al 2013, la evaluación por imagen del conducto nasolagrimal se realizaba en imágenes axiales de TC, en las cuales las mediciones de los diámetros podían verse distorsionadas (Groessl SA, 1997) (Groell R, 1997) (Rheeman CH, 1998) (Janssen AG, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007) (Wilhelm KE, 2009) (McCormick A, 2009) (Lee H, 2012) (Fasina O, 2013) (Takahashi Y, 2014). Las mediciones en planos coronales de TC (Wladis EJ, 2005) (Siricki A, 2001), y los trabajos en radiografía convencional (Kesavachar KR, 1965) (Shukla B, 1965) (Phillips CI, 1956) (Truchot P, 1953), también están sujetos a este tipo de error.

Los estudios anteriormente mencionados, son susceptibles de errores de medida debidos a la orientación no controlada del paciente, al grosor y disposición de las secciones, y a las variaciones del canal no captadas en los planos de corte, en el caso de la TC. Estos errores pueden ser significativos debido al pequeño tamaño del canal, y al elevado grosor de las secciones de TC que no son de alta resolución. La medición del área seccional y de los diámetros del canal nasolagrimal se ve distorsionada por el grado variable de rotación de la cabeza en los tres planos (coronal, axial y sagital); y también por las inclinaciones y por las diversas orientaciones adoptadas por las sucesivas partes del canal nasolagrimal.

Un 10% de error se deriva de una angulación con respecto al plano axial de 25° (Ramey NA, 2013).

Las secciones de TC raramente son ortogonales al eje del canal, por tanto, la mayoría de las mediciones publicadas de las áreas seccionales se han sobreestimado. Hasta Ramey et al 2013, que ya utilizaron planos ortogonales a un eje lineal trazado a lo largo del canal, el resto de estudios realizan las mediciones en TC en los planos axiales o coronales.

Los canales óseos derecho e izquierdo generalmente discurren paralelos entre sí y se inclinan (15° a 25° con respecto al plano axial) en un ángulo posterior y hacia abajo en la pared ósea entre el seno maxilar y la nariz (Duke-Elder S, 1946). Janssen et al 2001 afirman que el plano usado en el TC axial es más o menos paralelo al suelo de la nariz, y que al medir el diámetro del canal óseo en TC axiales, pueden producirse errores de medida si se utiliza el diámetro anteroposterior, porque es precisamente en esta dirección en la que el diámetro proyectado se magnifica, debido a la inclinación del canal hacia atrás. Los autores indican que la forma y la inclinación del canal óseo permiten medidas fiables del diámetro transversamente, siempre y cuando la cabeza esté correctamente posicionada para la TC. Sin embargo, Steinkogler 1986 halló que en todos sus casos el canal nasolagrimal se dirigía medialmente en visión frontal. En este plano, el ángulo medido fue de 21,6° (desviación estándar 6,72°, rango de 7° a 36°), por lo que la medición del diámetro transversal tampoco sería fiable.

Ninguno de los trabajos revisados anteriores al de Estes et al 2015 tiene en cuenta la curvatura y tortuosidad del canal nasolagrimal, que se han postulado

como posibles factores de riesgo de la PANDO (Steinkogler FJ, 1986) (Shigeta K, 2007) (Takahashi Y, 2013) (Sasaki T, 2005). Algunos autores han representado el eje del canal mediante una línea recta, de extremo a extremo (Yong AM, 2014) (Ramey NA, 2013) (Takahashi Y, 2013), sin tener en cuenta la curvatura del canal.

Groessl et al 1997 propusieron que para eliminar este error se requeriría la estandarización de la posición de una forma prospectiva, como realizaron posteriormente Kahn et al 2008, que para evitar errores debido a inclinaciones de la cabeza en sus mediciones orbitarias, estabilizaron la posición craneal previamente a la TC, tomando como referencia una línea que pasa por la silla turca y el nasion (intersección de las suturas frontonasal e internasal), quedando la misma horizontal. También tratando de minimizar este error, Wilhelm et al 2009 utilizaron una almohada de gomaespuma para evitar los artefactos por movimiento que puede ayudar a disminuir los errores por la posición de la cabeza, aunque este sistema no asegura la posición perpendicular del canal a la sección axial. Además, esta medida no sería suficiente, debido a la curvatura del canal, por lo que los cortes no serían perpendiculares al canal en todos los niveles del mismo. Por este motivo, tampoco son suficientes las medidas tomadas por Wormald et al 2000, que para intentar solventar este problema, se limitan a controlar la rotación en un único plano, pudiendo existir rotaciones en otros planos. Groessl et al 1997 ya apuntaron que análisis volumétricos utilizando TC 3-D, o análisis de la orientación del eje como se realiza en nuestro trabajo, reducirían esta fuente de error.

Groell et al 1997 realizaron mediciones de longitud del conducto nasolagrimal y del saco nasolagrimal multiplicando el número de escáneres consecutivos que mostraban el conducto nasolagrimal y el saco lagrimal por el grosor del corte. La imprecisión de este método reside en los cortes que no estén totalmente ocupados por el saco lagrimal o el conducto nasolagrimal; esta imprecisión aumenta al ser los cortes de 2-3 mm de grosor. La longitud del conducto nasolagrimal se midió directamente en las imágenes MPR (reformateadas multiplanares), en los planos coronal y sagital del canal nasolagrimal en ambos lados, y se comparó con los valores de longitud evaluados en los cortes axiales, como se ha descrito anteriormente. Los autores afirman que las mediciones de longitud en imágenes MPR del conducto nasolagrimal se correspondían bien con los valores de longitud evaluados en los cortes axiales (diferencia media: $1,0 \pm 1,4$ mm), sin embargo no especifican si sometieron ambas mediciones a una prueba estadística para averiguar si los valores tomados de una forma y de otra difieren de forma estadísticamente significativa; además las diferencias halladas podrían ser relevantes, dadas las pequeñas dimensiones del canal.

Fasina et al 2013 utilizaron 378 escáneres craneales y 23 de senos paranasales, y usaron las imágenes axiales a nivel del conducto nasolagrimal. Los autores afirman que los escáneres eran perpendiculares al canal, permitiendo medir el diámetro de forma más precisa. Esto no es posible, dada la curvatura del canal. De esta forma, si el menor diámetro del canal no está en un corte perpendicular al eje de la TC, los autores podrían haber medido un diámetro que no es el menor. Sin una reconstrucción 3D del canal completo no se puede asegurar que el

diámetro que se midió en los cortes disponibles fuese el menor, ni tampoco que el corte fuese perpendicular al eje del canal en ese punto en concreto.

7.1.2.3. Limitaciones derivadas de la tecnología de la TC

Algunos autores no especifican el tipo de TC (Janssen AG, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Groessl SA, 1997) (Estes JL, 2015) no especifican el tipo de TC de los controles.

En algunos trabajos (Janssen AG, 2001) (Takahashi Y, 2011) (Takahashi Y, 2013), puede haber errores de medición inherentes a la tecnología de TC, como los causados por los saltos entre cortes contiguos (Takahashi Y, 2014).

Varios autores han utilizado TC con los cortes con espesor mayor de lo deseable para el estudio del canal nasolagrimal, como Siricki et al 2001 que realizaron una revisión retrospectiva de secciones coronales de 2,5 mm de espesor de TC paranasales. Fasina et al 2013 utilizaron escáneres craneales, en los cuales el espesor del corte suele ser mayor y en general no permite una adecuada valoración del canal nasolagrimal óseo. Otros autores que han utilizado cortes con espesor mayor de lo deseable para el estudio del canal nasolagrimal óseo son Lee et al 2012 (3 mm), Shigeta et al 2007 (3 a 5 mm), Janssen et al 2001 (2 mm), Rheeman et al 1998 (3 mm), Groessl et al 1997 (1,5 a 3 mm), Groell et al 1997 (2 a 3 mm).

7.1.2.4. Errores derivados de la determinación de la distancia o superficie a medir

Los trabajos revisados carecen de una metodología precisa de delimitación de la distancia o superficie a medir. Esto se añade al hecho de que todos los trabajos revisados tienen al menos un paso manual en que pueden generarse errores en las mediciones obtenidas. Además, aunque el lugar más frecuente de obstrucción es la entrada al canal nasolagrimal óseo (62-73%) (Francisco FC, 2007) (Sasaki T, 2005), este lugar no se midió en todos los casos.

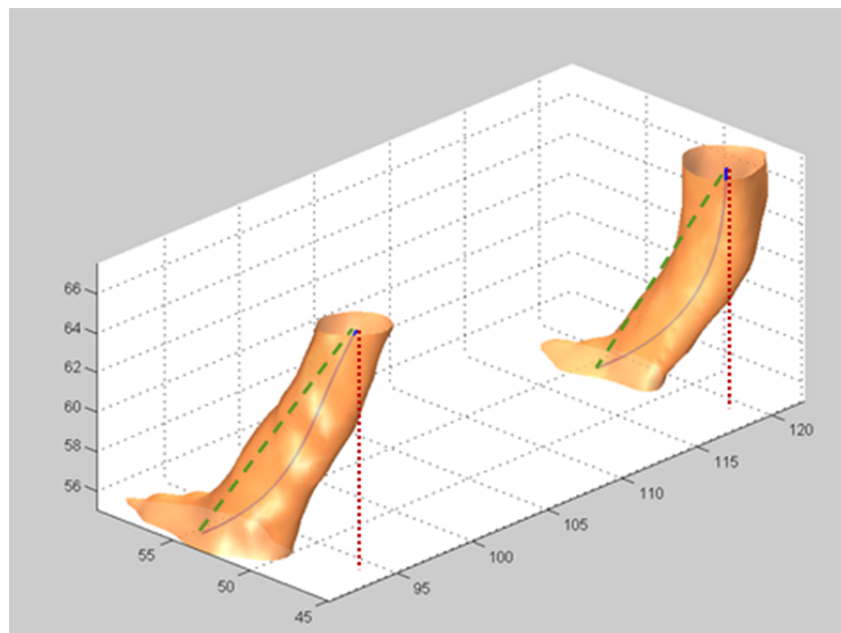


Figura 21. Desviación de las mediciones axiales (línea roja de puntos) y de extremo a extremo (línea verde de rayas) con respecto a la longitud real del canal dada por la longitud su eje (curva continua azul) en el sujeto 17

En otros casos se producen también errores sistemáticos, por ejemplo al obtener la longitud del canal como la distancia euclídea entre sus secciones delimitantes (Groell R, 1997), a pesar de que el canal no suele ser paralelo el eje de la TC; o

cuando su longitud se mide como la distancia entre sus extremos (Ramey NA, 2013) (Wladis EJ, 2005) , aunque en realidad el canal es curvo. La figura 21 ilustra los errores que se cometen con esos métodos en un caso real (sujeto 27) y pone de manifiesto que los errores en que incurren dichos métodos distan mucho de ser despreciables.

7.1.2.4.1. *Imprecisión en el marcado de límites anatómicos*

Muchos autores no explican con exactitud los puntos que toman como referencia de los límites superior e inferior del canal (Groessler SA, 1997) (Rheeman CH, 1998) (Wladis EJ, 2005) (Ipek E, 2007) (Ramey NA, 2013) (Estes JL, 2015). Las descripciones de los puntos o niveles en los que se realizan las mediciones son también imprecisas (Ruiz- Barranco F, 1977) (Groessler SA, 1997) (Groell R, 1997) (Wladis EJ, 2005) (Wilhelm KE, 2009). Las delimitaciones de la zona a medir son en muchos casos aproximadas (Siricki A, 2001).

Shigeta et al 2007 asumen que el menor diámetro mínimo se localiza habitualmente en la mitad del canal, aunque la parte más estrecha del canal nasolagrimal óseo puede localizarse en cualquier punto a lo largo del mismo (Takahashi Y, 2013) (Groell R, 1997).

Otra fuente de error son las diferentes definiciones en la literatura de lo que se considera límite superior y límite inferior del canal nasolagrimal:

Límite superior

Varios autores toman el reborde orbitario inferior como referencia de la entrada del canal nasolagrimal (Shigeta K, 2007) (Lee H, 2012) (Takahashi Y, 2013) (Takahashi Y, 2014). Se trata de un método impreciso, al no estar todos los puntos del reborde en un plano axial, dado que el reborde orbitario inferior presenta una inclinación de superomedial a inferolateral, y también está sujeto a errores por rotación de la cabeza.

Siricki et al 2001 midieron la porción superior del canal en la sección en la que el canal nasolagrimal comenzaba a ser óseo en los dos lados, aproximadamente a nivel de la porción bulbosa del cornete medio. Éste punto puede variar con los movimientos de la cabeza, dado que solo se corresponde con un marcador anatómico en la parte medial.

Algunos límites descritos previamente no son fácilmente localizables en TC, como es el caso de los límites tomados por Truchot et al 1953 que toma como límite superior del canal nasolagrimal óseo las 2 crestas lagrimales anterior y posterior, que se unen en la extremidad inferior de la fosa del saco lagrimal para transformar esta fosa en canal y delimitar así el orificio superior, y el gancho lagrimal, que sale de la cresta lagrimal posterior para unirse a una escotadura orientada en sentido inverso del borde superior del maxilar, enrollándose sobre el reborde exterior del orificio superior. Tampoco es fácilmente localizable en TC el sitio de unión del saco lagrimal con el conducto nasolagrimal que Duke Elder 1952 y Ramey et al 2013 toman como entrada del canal nasolagrimal óseo, puesto que la TC no proporciona la misma definición de los tejidos blandos que proporciona la RM.

Estes et al 2015 definieron superiormente el límite del conducto nasolagrimal como la entrada del saco lagrimal en el canal óseo en la unión entre el proceso frontal del maxilar y el hueso lagrimal, pero no especifican en qué punto de la dirección craneocaudal de dicha unión.

Límite inferior

Siricki et al 2001 midieron la porción inferior del canal en la sección donde se veía el último segmento del canal nasolagrimal, cuando desaparecía el hueso en el lado medial del canal, a nivel del meato inferior. Este punto puede variar con los movimientos de la cabeza.

Estes et al 2015 definieron inferiormente el límite del conducto nasolagrimal como la salida del conducto en el meato inferior en la válvula de Hasner. La TC no permite una definición tan precisa de los tejidos blandos como la RM. Del mismo modo, Ramey et al 2013 toman como límite superior la unión del saco lagrimal con el conducto nasolagrimal; como límite inferior no concretan más allá de límite distal del canal en el meato medio.

Fisch et al 1976 consideraron que la salida nasal del canal nasolagrimal óseo estaba inmediatamente por debajo de la unión del cornete inferior con la maxila. Sin embargo, Zinreich et al 1993 lo localizaron adyacente a dicha unión.

También pueden ser imprecisas las mediciones realizadas en cadáver (Post RH, 1969) (Saxena SK, 1984). En ambos trabajos se midió la longitud del canal con un cable flexible de longitud conocida doblado en ángulo recto en la punta formando un acodamiento de aproximadamente 0,5 mm, que se insertaba dentro del canal y

se enganchara a la parte inferior del cornete inferior, en el punto que diese la mínima longitud. Se midió el cable que sobresalía por encima de la apertura para restarlo a la longitud total y obtener la longitud del canal. Puede existir variabilidad según el punto del cornete inferior en el que se enganche el cable, o incluso fracturas del cornete inferior que imposibiliten el enganche (Post RH, 1969).

7.1.2.4.2. Errores en la aproximación de las áreas seccionales

Algunos autores no miden el área directamente, sino que realizan aproximaciones de la misma, generándose por tanto errores en dichas mediciones. Post 1969 empleó plantillas metálicas con orificios circulares con medidas estandarizadas. Ramey et al 2013 aproximaron el área seccional mediante una elipse que se ajustaba visualmente al contorno visible del canal. En la mayoría de los casos, la sección del canal no tiene forma circular ni elíptica. En 1997, Groessl et al ya observaron una marcada variabilidad axial de la forma en los canales óseos, siendo las formas en las secciones desde ovals a redondas. Tao et al 2014 también realizaron una aproximación elíptica de la sección del canal nasolagrimal óseo, calculando la sección transversal de cada parte del canal nasolagrimal óseo de acuerdo a la fórmula $S = \pi ab$, donde S indica el área elíptica, y a y b indican la mitad de los diámetros largo y corto. Otros autores calculan el área a partir de los diámetros anteroposterior y transversal (Lee H, 2012). Kesavachar 1958 midió la anchura máxima y la longitud máxima de la entrada del canal nasolagrimal y calculó el área a partir de ambas mediciones.

Shukla et al 1965 midieron la superficie delimitada por el contorno elíptico correspondiente a la entrada del canal nasolagrimal contando el número de cuadrados cubiertos de un papel cuadriculado transparente. Podrían ser una fuente de error los cuadrados ocupados de forma parcial. De forma similar, Phillips et al 1956 midieron el área de la entrada del canal nasolagrimal superponiendo en la radiografía una rejilla grabada en un cristal con milímetros cuadrados como unidad más pequeña. Hicieron ajustes aproximados al mm² más próximo para los cuadrados superpuestos al límite del óvalo, con la consiguiente falta de precisión.

7.1.2.5. Aprovechamiento limitado de la información proporcionada por la TC

Muchos de los trabajos revisados se limitan a medir uno o varios diámetros a uno o varios niveles, perdiendo la mayoría de la información que proporciona la TC. Algunos autores se limitaron a los diámetros anteroposterior y transversal (Shigeta K, 2007) (Lee H, 2012) (Takahashi Y, 2014); otros midieron el diámetro coronal (Siricki A, 2001); mientras que otros autores midieron el diámetro mínimo (Janssen AG, 2001) (Wladis EJ, 2005) (McCormick A, 2009) (Wilhelm KE, 2009) (Lee H, 2012) (Fasina O, 2013) (Ramey NA, 2013) (Tao H 2014) (Yong AM, 2014).

Medir solo en 6 puntos del canal (Ramey NA, 2013), a pesar de que el número de secciones de TC que contienen el canal es normalmente mucho mayor, contribuye a la inexactitud de las mediciones 2-D y 3-D. Groessl et al 1997 midieron el diámetro anteroposterior del conducto nasolagrimal óseo únicamente

a 3 niveles en cortes axiales de TC (a nivel de fosa inferior, conducto nasolagrimal medio y conducto nasolagrimal bajo). Tomaron la fosa inferior como punto de referencia para la primera medida y utilizaron escáneres axiales 3 y 6 mm inferiores a este punto para realizar las mediciones, afirmando que dichos niveles correspondían al conducto nasolagrimal medio y bajo, respectivamente. Al tener los conductos distinta longitud, estas medidas predeterminadas no necesariamente equivalen a las porciones media e inferior de todos los conductos.

De forma similar a Groessl et al 1997, Rheeman et al 1998 empezó a medir a nivel de la fosa inferior y continuó inferiormente a intervalos de 3 mm hasta que el canal alcanzaba la cavidad nasal. Debido a la diferencia en la longitud de los diferentes canales nasolagrimales óseos, cada caso tenía un número diferente de mediciones. Por ejemplo, en el canal más corto las mediciones se hicieron solamente en cuatro niveles, mientras que en el canal más largo, las mediciones se hicieron en un total de seis niveles. De esta forma quedan representados de forma más limitada los canales más cortos. Tao et al 2014 realizaron mediciones del diámetro corto a tres niveles.

7.1.3. Errores en el análisis estadístico y en la interpretación de resultados

Algunos autores no presentan el análisis estadístico de sus resultados (Truchot P, 1953) (Kesavachar KR, 1958) (Ruiz-Barranco F, 1977) (Shukla B, 1965) (Groell R, 1997). Shukla et al 1965 afirman sin embargo, que no hallaron diferencias

estadísticamente significativas en la entrada del canal nasolagrimal óseo entre los pacientes con dacriocistitis y los controles.

McCormick et al 2009 dedujeron que la TC es un método alternativo preciso de medida del canal nasolagrimal, comparable a un estudio de cadáver, basándose en que los resultados en cadáver de Post 1969, aunque eran algo diferentes de los suyos, también habían encontrado la misma diferencia entre hombres y mujeres. Sin embargo, como se ha expuesto anteriormente, los estudios en TC presentan errores propios no presentes en un estudio de cadáver.

Fasina et al 2013 observaron que el diámetro medio mínimo del canal óseo en TC en nigerianos es menor que los publicados en afroamericanos, asiáticos y caucásicos, a pesar de la menor prevalencia de PANDO en la raza negra, y dedujeron que el diámetro medio es menor que en otras razas. La comparación la realizan con datos publicados por otros autores, dado que en su trabajo solo se incluyen sujetos de raza negra, por lo que no se pueden inferir conclusiones sobre comparaciones con otras razas.

Muchos autores concluyen que no hay diferencia entre ambos grupos al no hallar diferencias estadísticamente significativas sin mencionar la potencia de la prueba.

Algunos ejemplos son:

- Phillips et al 1956, al no hallar diferencias estadísticamente significativas en el área media entre pacientes con obstrucción y controles, concluyen que en la gran mayoría de los casos no hay relación entre el tamaño de la entrada del canal óseo y la epífora. Los autores no hallaron tampoco diferencias estadísticamente significativas entre los grupos control y el de

pacientes en la diferencia media entre los lados derecho e izquierdo, aunque observaron que los lados derecho e izquierdo difieren más en el grupo de pacientes que en el de controles. Los autores analizaron las diferencias entre los dos lados en casos de obstrucción unilateral con la t de Student sin hallar diferencias estadísticamente significativas, y afirmaron que si la asimetría en los canales óseos fuera un fenómeno importante en los pacientes con epífora, uno esperaría que el canal más pequeño fuese el del lado con epífora en los casos unilaterales. Los autores observan incluso una tendencia de los lados obstruidos a tener mayor tamaño, atribuyendo esta diferencia al azar. Los resultados de nuestro trabajo y el de Estes et al 2015 indican que esta tendencia podría no deberse al azar. Los autores también atribuyen al azar que el grupo con epífora mostraba ligeramente más asimetría que los controles al comparar los tamaños de los lados derecho e izquierdo.

- Shukla et al 1965 hallaron que en los controles, el área de entrada del canal fue $4,4 \text{ mm}^2$ más pequeña en mujeres. Sin embargo, dado que en los controles existía una diferencia en las medias de los lados derecho e izquierdo de $5,6 \text{ mm}^2$, concluyen que esta diferencia no tiene significación estadística. También afirman que no hay apenas diferencia en el área media de entrada del canal nasolagrimal entre los casos normales ($23,6 \text{ mm}^2$) y los casos bilaterales de dacriocistitis crónica ($22,7 \text{ mm}^2$). En los casos unilaterales la diferencia en la media entre los lados normal y afectado fue solo $3,8 \text{ mm}^2$, mientras que en los casos normales fue $5,6 \text{ mm}^2$. Los autores concluyen que el área de entrada del canal nasolagrimal

no es un factor contribuyente en la patogénesis de la dacriocistitis crónica. Los autores no presentan ningún análisis estadístico que apoye sus conclusiones.

- Estes et al 2015 afirman que tanto la ausencia de una diferencia significativa en el volumen del conducto nasolagrimal entre el grupo de pacientes y el grupo de controles, y la superposición de los rangos de valores entre ambos grupos, implica que el volumen del conducto lagrimal probablemente no esté relacionado con la etiología de la obstrucción, y que un menor volumen del conducto lagrimal no predispone al desarrollo de PANDO.

7.2. MEDICIONES DEL CONDUCTO NASOLAGRIMAL ÓSEO EN LOS DISTINTOS TRABAJOS

7.2.1. Diámetro anteroposterior

Las mediciones en cadáver miden generalmente a nivel del orificio superior, mientras que los trabajos con radiografía convencional suelen medir a nivel del orificio inferior, dado que el superior no puede en ocasiones ser medido por mala o nula visualización (Truchot P, 1953). En 1986, Steinkogler midió moldes de resinas del canal nasolagrimal óseo de cráneos encontrando que el diámetro anteroposterior era 6,8 mm, aunque no especificó a qué nivel.

Límite superior

En 1921, Whitnall describió algunos sujetos con un espacioso canal de 8 mm de diámetro anteroposterior, representando el límite superior de la normalidad.

En 1953, Truchot et al encontraron medidas en el orificio superior de 3 mm de diámetro anteroposterior medio. Un poco mayores fueron las medidas halladas por Saxena en 1984 (la longitud media del diámetro anteroposterior derecho fue 4,26 mm y del izquierdo 4,34 mm). Mayores aún son las mediciones posteriores de Takahashi et al 2011, Takahashi et al 2013 y Takahashi et al 2014, probablemente por tratarse de sujetos de raza asiática. Los resultados de Takahashi et al 2011 fueron: diámetro anteroposterior medio 6,9 mm (rango: 4-9,5 mm); en hombres 6,8 mm (rango: 4-9,5 mm) y en mujeres 7,2 mm (rango: 4-9,5 mm). Los diámetros medios anteroposteriores de la entrada del canal en el trabajo de Takahashi et al 2013 fueron $5,9 \pm 1,2$ mm. Takahashi et al 2014 hallaron las siguientes medidas: $6,43 \pm 1,38$ mm (3,88–9,46 mm) en el lado obstruido; $6,34 \pm 1,37$ mm (3,82–10,47 mm) en el lado no obstruido, y $6,48 \pm 1,30$ mm (4,39–10,88 mm) en el grupo control.

Límite inferior

Toth 1933 y Truchot et al 1953, encontraron que el eje anteroposterior del conducto medía 7-10 mm en individuos normales.

A nivel del reborde orbitario inferior

El diámetro anteroposterior en cortes axiales de TC fue $6,4 \pm 1,8$ mm ($6,5 \pm 1,9$ mm en hombres y $6,4 \pm 1,7$ mm en mujeres) (Lee H, 2012). Algo menores valores hallaron Shigeta et al 2007: el diámetro anteroposterior medio fue 5,6 mm; 5,6 mm

en el lado derecho y 5,7 mm en el lado izquierdo; 5,8 en hombres y 5,3 en mujeres. Las diferencias podrían derivarse de errores derivados de la metodología de medición.

7.2.2. Diámetro transverso

En 1921, Whitnall encontró que el rango normal de la anchura transversa, que es la dimensión más estrecha, era de 4-6 mm. Duke-Elder 1946, basándose en observaciones anatómicas, afirmó que el diámetro transverso era aproximadamente 4,6 mm. Ruiz Barranco et al 1977 encontraron una anchura media del canal lagrimonasal de 0,18 en mujeres y 0,20 en hombres; pero no especifican claramente los límites de medición ni la unidad de medida, y estos valores se apartan notablemente de los demás publicados y de los nuestros. Steinkogler 1986, midió moldes de resinas del canal nasolagrimal óseo de cráneos encontrando un diámetro transverso de 4,8 mm. En los trabajos anteriores no se especifica el nivel al que se realizó la medición.

Límite superior

El orificio superior tiene una forma ovalada. Su diámetro transversal oscila entre 3 y 4,5 mm (Truchot P, 1953). También en la misma línea, la longitud media del diámetro transverso encontrada por Saxena 1984 fue 4,10 mm en el lado derecho y 3,94 mm en el lado izquierdo. Probablemente por tratarse de sujetos de raza asiática, fueron mayores los diámetros transversos encontrados por Takahashi et al 2011, Takahashi et al 2013 y Takahashi et al 2014. Los resultados de Takahashi et al 2011 fueron: diámetro transverso medio: 5,7 mm; en hombres 6,1 mm (rango:

4-10 mm) y en mujeres 5 mm (rango: 4-7,5 mm). Takahashi et al 2013 encontraron un diámetro transversal medio de $6,1 \pm 1,1$ mm. Takahashi et al 2014 hallaron un diámetro transversal medio a la entrada del canal de: $5,43 \pm 1,08$ mm (3,39–8,62 mm) en los lados obstruidos; $5,32 \pm 1,13$ mm (3,01–8,74) mm en los lados no obstruidos; y $5,43 \pm 1,19$ (3,52–10,94) mm en el grupo control.

Límite inferior

Toth 1933 y Truchot et al 1953 encontraron que en individuos normales el eje transversal medía 4-6 mm.

A nivel del reborde orbitario inferior

Shigeta et al 2007 hallaron un diámetro transversal medio de 5,0 mm; lado derecho 5,0 mm y lado izquierdo 4,9 mm; hombres 5,1 mm y mujeres 4,8 mm. El diámetro transversal hallado por Lee et al 2012 fue $4,5 \pm 1,4$ mm ($4,5 \pm 1,4$ mm en hombres y $4,6 \pm 1,4$ mm en mujeres).

7.2.3. Diámetro coronal

Los diámetros coronales medios del canal nasolagrimal fueron $4,8 \pm 1,2$ mm en el lado derecho y $4,7 \pm 1,1$ mm en el izquierdo. En el lado derecho, el diámetro del canal en la porción superior fue 4,6 mm en mujeres y 4,7 mm en hombres, y en la porción inferior del canal 4,8 mm en mujeres y 5 mm en hombres. En el lado izquierdo, el diámetro del canal en la porción superior fue 4,6 mm en mujeres y 4,6 mm en hombres, y en la porción inferior del canal 4,8 mm en mujeres y 4,9 mm en hombres (Siricki A, 2001).

7.2.4. Diámetro mínimo

Los resultados del diámetro mínimo en los trabajos revisados son bastante homogéneos. Los diámetros mínimos medios axiales encontrados por Wladis et al 2005 fueron: 3,78 mm en mujeres frente a 4,67 mm en hombres; 3,507 mm en caucásicos, 4,44 mm en asiáticos y 4,67 mm en afroamericanos; 3,06 mm en mujeres caucásicas frente a 3,96 mm en hombres caucásicos; 4,25 mm en mujeres asiáticas frente a 4,63 mm en hombres asiáticos; 4,09 mm en mujeres afroamericanas, frente a 5,18 mm en hombres afroamericanos. Los resultados de McCormick et al 2009 fueron un diámetro mínimo de 3,7 mm tanto en caucásicos como en maorís de Nueva Zelanda y de 4,1 mm en la raza del Pacífico (tabla 16). El diámetro mínimo hallado por Lee et al 2012 fue $3,2 \pm 1,2$ mm ($3,3 \pm 1,3$ mm en hombres y $3,3 \pm 1,2$ mm en mujeres). Fasina et al 2013 encontraron un diámetro medio mínimo del canal nasolagrimal de $3,52 \pm 0,69$ mm en hombres y $3,36 \pm 0,64$ mm en mujeres; 3,69 mm en el lado derecho y 3,65 mm en el lado izquierdo. Valores similares encontraron Ramey et al 2013, con un diámetro mínimo medio de 3,63 mm en hombres y 3,62 mm en mujeres; 3,8 mm en negros y 3,5 mm en caucásicos; 3,4 mm en los jóvenes y 3,8 mm en los mayores. Los resultados de Yong et al 2014 fueron 3,82 mm en el lado derecho y 3,78 mm en el lado izquierdo en las razas del sudeste asiático; y 3,54 mm en el lado derecho, y 3,81 mm en el lado izquierdo en las razas del sur de Asia y caucásicas.

El diámetro mínimo medio del canal óseo hallado por Janssen et al 2001 en el grupo control fue 3,5 mm (rango 1,5-6,3 mm); 3,70 mm en hombres controles (rango 2-6,3 mm), y 3,35 mm en mujeres controles (rango 1,5-5,4 mm). En el

grupo de pacientes, el diámetro mínimo medio del canal óseo fue 3,0 mm (rango 2-4,2 mm); 2,6 mm en los hombres con obstrucción y 3,1 mm en las mujeres con obstrucción. En los sistemas obstruidos tratados con dacriocistoplastia con éxito, el mínimo diámetro medio del canal óseo fue 3,1 mm, y en los sistemas obstruidos en los cuáles la dacriocistoplastia no tuvo éxito fue 2,9 mm. Wilhelm et al 2009 también comparó el diámetro mínimo entre conductos obstruidos y no obstruidos, obteniendo un diámetro mínimo de 4,61 mm (rango 2,48-6,49 mm) en

Tabla 16. Resultados del análisis estadístico (tomado de McCormick et al 2009)

Table 3. Results of statistical analysis

All patients – gender differences			All patients – comparing right vs. left		
	Male	Female		Male	Female
N	87	91	t-test P value	0.82	0.94
Mean	3.9 mm (3.8–4.1)	3.6 mm (3.5–3.8)	Correlation	0.85	0.83
t-test P value	0.01				
Caucasian vs. Polynesian			Caucasian vs. New Zealand Maori		
	Caucasian	Polynesian		Caucasian	New Zealand Maori
N	99	79	N	99	32
Mean	3.7 mm (3.5–3.9)	3.9 mm (3.8–4.1)	Mean	3.7 mm (3.5–3.9)	3.7 mm (3.5–3.9)
t-test P value	0.05		t-test P value	0.99	
Caucasian vs. Pacific People			New Zealand Maori vs. Pacific People		
	Caucasian	Pacific People		New Zealand Maori	Pacific People
N	99	47	N	32	47
Mean	3.7 mm (3.5–3.9)	4.1 mm (3.9–4.3)	Mean	3.7 mm (3.5–3.9)	4.1 mm (3.9–4.3)
t-test P value	0.008		t-test P value	0.01	

95% confidence intervals are in brackets after the means. Three main groups were analysed: Caucasian, New Zealand Maori and Pacific People. Polynesian = New Zealand Maori and Pacific People. Pacific People are those originating from the islands of the Pacific but excluding New Zealand Maori.

el lado con epífora, versus 4,93 mm (rango 2,72-6,70 mm) en el lado no afectado.

Tao et al 2014 realizaron mediciones del diámetro corto a tres niveles: $5,89 \pm 2,14$ mm en la apertura superior del canal, $5,68 \pm 1,90$ mm en la parte media del canal, y $6,50 \pm 2,07$ mm en la apertura inferior del canal. Estos diámetros son mayores probablemente por tratarse de sujetos de raza asiática.

Diámetro transverso mínimo

Groell et al 1997 encontraron un diámetro transverso mínimo del canal nasolagrimal de $3,8 \pm 0,7$ mm (rango: 2-7 mm), predominantemente localizado en la porción media y superior del canal. Janssen 2001 hallaron un diámetro transverso medio mínimo de 3,5 mm en adultos normales .

Mayores valores que en los trabajos anteriores, por tratarse de sujetos de raza asiática hallaron Takahashi et al 2013 y Takahashi et al 2014. Takahashi et al 2013 encontraron un diámetro transverso mínimo medio de 5,6 mm, mientras que Takahashi et al 2014 hallaron un diámetro transverso mínimo de $5,09 \pm 1,16$ mm (2,75–8,61 mm) en el lado obstruido; $4,96 \pm 1,15$ mm (2,57–8,74 mm) en el lado no obstruido; y $4,80 \pm 0,86$ mm (2,85–7,34 mm) en el grupo control.

Diámetro anteroposterior mínimo

Los resultados de Takahashi et al 2013 fueron unos diámetros medios mínimos anteroposteriores de $5,6 \pm 1,2$ mm. Takahashi et al 2014 hallaron un diámetro anteroposterior mínimo de $6,29 \pm 1,40$ mm (3,16–9,46 mm) en el lado obstruido; $6,21 \pm 1,35$ mm (3,75–9,62 mm) en el lado no obstruido; y $6,35 \pm 1,30$ mm (4,02–10,88 mm) en el grupo control. La diferencia entre ambos trabajos en sujetos japoneses probablemente se deba a una sobreestimación de las mediciones en los cortes axiales de TC de Takahashi et al 2014 frente a las mediciones en cadáver de Takahashi et al 2013.

7.2.5. Diámetro máximo

Los diámetros anteroposteriores máximos de los canales nasolagrimales encontrados por Rheeman et al 1998 fueron 12,5 mm, 15,4 mm y 15,1 mm, todos ellos por encima del rango normal. Tao et al 2014 midieron el diámetro máximo a tres niveles y obtuvieron los siguientes resultados: $6,28 \pm 2,17$ mm en la apertura superior del canal; $5,86 \pm 1,97$ mm en la parte media del canal; y $8,52 \pm 3,16$ mm en la apertura inferior del canal.

7.2.6. Longitud del canal

Post 1969 obtuvo los resultados recogidos en la tabla 17.

Truchot et al 1953 afirmaron que la longitud del canal nasolagrimonal óseo era 10 mm. Steinkogler 1986 halló una longitud media de 12,7 mm. Groell et al 1997 encontraron una longitud media del conducto nasolagrimonal de $11,2 \pm 2,6$ mm (rango: 6-21 mm). En el trabajo de Wladis et al 2005 la longitud media fue de 1,35

Tabla 17. Longitud del canal nasolagrimonal óseo (tomado de Post 1969)

RICHARD H. POST

TABLE 3
Length of tear duct

	Left			Right		
	N	\bar{x}	σ	N	\bar{x}	σ
Negro males, 60+	67	14.66	2.00	58	14.43	2.07
Negro males, X-49	102	14.80	2.24	86	15.07	1.99
White females, 60+	47	15.13	1.53	47	14.87	1.50
White females, X-49	30	15.13	1.48	30	15.17	1.68
White males, 60+	85	16.06	1.91	77	15.64	2.25
White males, X-49	93	16.12	2.27	81	16.27	2.21

cm en caucásicos, 1,35 cm en asiáticos, 1,34 cm en afroamericanos; y 1,19 cm en mujeres frente a 1,49 cm en hombres. La longitud media en el trabajo de Ramey et al 2013 fue 12,3 mm en hombres y 10,8 mm en mujeres; 11,3 mm en negros y 11,7 mm en caucásicos; y 12,1 mm en jóvenes y 11,1 mm en mayores. Tao et al 2014 hallaron una longitud de $13,40 \pm 2,68$ mm.

Otros autores presentan mediciones muy superiores al resto de trabajos revisados. Ruiz Barranco et al 1977 hallaron una longitud media de 1,70 cm en mujeres y 2,13 cm en hombres. Saxena 1984 encontró una longitud media de los canales derecho e izquierdo de 2,152 cm y 2,390 cm, respectivamente. En esta disparidad de mediciones podría influir entre otros factores la falta de estandarización en el marcado de los límites superior e inferior del canal.

7.2.7. Área seccional

Tao et al 2014 midieron el área seccional a tres niveles y sus resultados fueron: $29,04 \pm 3,40$ mm² en la apertura superior del canal; $26,19 \pm 2,96$ mm² en la parte media del canal; y $43,50 \pm 5,60$ mm² en la apertura inferior del canal.

Límite superior

Los resultados de Post 1969 se presentan en la tabla 18.

Phillips et al 1956 (tabla 19) hallaron un área media de entrada al canal en los controles de 24,35 mm², y en el grupo de pacientes 23,1 mm² en el lado con epífora y 22,16 mm² en el lado sin epífora. Son concordantes los resultados de

Tabla 18. Área seccional del canal nasolagrimal óseo (tomado de Post 1969)

TABLE 1
Size of tear duct

	N	Duct, cross section (square millimeters)		Average age
		\bar{x}	σ	
Female, white, X-49	31	13.00	3.63	39.6
Female, neolithic	52	14.28	3.94	
Female, white, 50-59	35	14.79	4.55	54.0
Male, white, X-49	96	15.18	4.67	40.5
Female, white, 60-X	23	15.83	4.62	62.6
Male, neolithic	80	16.01	4.97	
Male, white, 60-X	96	16.62	5.26	69.4
Male, Negro, X-49	110	17.68	5.43	29.5
Male, Negro, 60-X	70	19.93	5.66	65.8

Tabla 19. Áreas de entrada del canal nasolagrimal óseo (tomado de Phillips et al 1956)

TABLE I
"AREAS OF INLET" OF BONY NASO-LACRIMAL CANAL PROJECTED ON DENTAL
X-RAY FILM BY BEAM OF X RAYS DIRECTED DOWN AXIS OF CANAL
Size (sq. mm.) estimated from grid (etched on glass) superimposed on a radiograph in a
viewing box.

CONTROLS					EPIPHORICS			
Sex	Age (yrs)	Right	Left	Mean	Sex	Age (yrs)	Epiphoric Side	Non-Epiphoric Side
F	60	27.3	28.0	27.65	F	44	17.6 L	14.0 R
F	53	21.6	22.0	21.8	F	78	25.0 L	35.3 R
F	65	31.0	35.3	33.15	F	50	18.6 R	
F	49	14.0	14.0	14.0			24.6 L	
F	52	17.0	14.0	15.5	F	67	20.3 R	
F	47	27.0	25.6	26.3			27.0 L	
F	36	20.6	23.0	21.8	F	47	15.0 R ¹	14.0 L
F	61	28.6	24.0	26.3	F	54	18.6 L ²	19.6 R
F	41	18.6	25.3	21.95	F	52	34.3 R	36.3 L ³
F	51	16.3	13.6	14.95	F	49	17.3 R ⁴	23.3 L
M	41	15.0	17.6	16.3	F	61	32.0 R	26.3 L ³
M	66	59.0	46.0	52.5	F	36	16.0 R	13.3 L
					F	41	26.0 L ⁴	28.0 R
					F	51	20.6 R	15.3 L
					F	55	24.0 R	12.6 L
					F	65	26.0 R	28.0 L
					M	52	26.0 R	
							24.6 L	
					M	66	31.0 L	21.3 R
					M	44	17.6 L	23.0 R
Totals		296.0	288.4	292.20	Totals		462.1	310.3
Mean of all (292.20 ÷ 12) = 24.35					Means		23.1	22.16

¹ Freely patent on syringing though epiphoric.
² Fairly freely patent on syringing though epiphoric.
³ Usually slightly patent on syringing: symptom free.
⁴ Slightly patent on syringing: epiphoric nevertheless.

Shukla et al 1965, que afirmaron que no había apenas diferencia en el área media de entrada del canal nasolagrimal entre los controles (23,6 mm²; en el lado derecho 22,0 mm² y en el lado izquierdo 25,2 mm²) y los casos bilaterales de dacriocistitis crónica (22,7 mm²). En los casos de estenosis unilateral la media en el lado afectado fue 22,6 mm² y en el lado no afectado 24,3 mm² y la diferencia media entre los lados afectado y no afectado fue 3,8 mm².

Kesavachar 1958 obtuvo unas áreas mayores que en los trabajos anteriores. En los controles el área mínima fue 16,5 mm² y la máxima 42,75 mm². El área media de las entradas de los controles fue 32,60 mm². En los ojos con epífora el área mínima fue 11,25 mm² y la máxima 40,5 mm². El área media de las entradas de los pacientes fue 25,78 mm² representando una considerable diferencia de aproximadamente 7 mm² entre las entradas de los canales normales y anormales, siendo éstos últimos más estrechos.

Las diferencias pueden deberse los diferentes métodos de medida: mediciones en cadáver de Post 1969, y a la mala visualización de la entrada del canal en radiografía, unido a posibles rotaciones de la cabeza.

A nivel de reborde orbitario inferior

El área seccional media fue 22,6 mm²; lado derecho 22,5 mm² y lado izquierdo 22,6 mm²; hombres 23,6 mm² y mujeres 20,6 mm² (Shigeta K, 2007). El área seccional fue $24,1 \pm 12,7$ mm² ($24,2 \pm 13$ mm² en hombres y $24 \pm 12,3$ mm² en mujeres) (Lee H, 2012).

7.2.8. Área seccional mínima

El área mínima media fue 16 mm² en hombres y 14,8 mm² en mujeres; 16,3 mm² en negros y 14,8 mm² en caucásicos; y 13,9 mm² en los jóvenes y 16,6 mm² en los mayores (Ramey NA, 2013).

7.2.9. Localización de la parte más estrecha del canal nasolagrimal óseo

La media de localización del diámetro mínimo del canal (distancia a lo largo del eje largo del canal, medida desde su límite distal) estuvo entre 7,6 mm y 8,1 mm en los distintos grupos (Ramey NA, 2013). Los resultados de Takahashi et al 2013 serían concordantes teniendo en cuenta que Ramey et al 2013 miden esta distancia desde el límite distal del canal, mientras que Takahashi et al 2013 lo hacen desde el límite proximal. En el trabajo de Takahashi et al 2013 los diámetros anteroposterior y transversal mínimos estaban a la entrada del canal en el 72,7% de los canales y en el 64,3 % de los canales, respectivamente. En los demás canales, los diámetros anteroposterior y transversal mínimos se localizaban a una distancia media de la entrada de 3,6 mm el mínimo diámetro anteroposterior y de 5,6 mm el mínimo diámetro transversal. La ratio de distancia fue 29% y 46,7% respectivamente. Las variaciones pueden deberse a que Takahashi et al 2013 miden los diámetros anteroposterior y transversal mínimos, y Ramey et al 2013 miden el diámetro mínimo medio (menor eje de la elipse seccional creada por la intersección del eje largo del canal con un plano ortogonal),

La distancia del mínimo diámetro anteroposterior hallada por Takahashi et al 2014 fue: $4,11 \pm 2,08$ mm (1,00–10,00 mm) en el lado obstruido; $4,43 \pm 2,71$ mm (1,00–12,00 mm) en el lado no obstruido; y $5,19 \pm 3,94$ mm (1,00–13,00 mm) en controles. La distancia del mínimo diámetro transverso hallada por los autores fue: $4,28 \pm 2,92$ mm (1,00–16,00 mm) en el lado obstruido; $4,64 \pm 3,05$ mm (1,00–16,00 mm) en el lado no obstruido; y $6,48 \pm 3,99$ mm (1,00–16,00 mm) en controles.

La parte más estrecha del canal nasolagrimal óseo se puede ubicar en cualquier lugar del mismo (Groessl SA, 1997) (Takahashi Y, 2013) (Groell R, 1997). Sin embargo, estudios dacriocistográficos (Francisco FC, 2007) y dacrioendoscópicos (Sasaki T, 2005) han mostrado que la entrada al canal fue el punto de obstrucción en aproximadamente el 70% de los pacientes con PANDO. Basándose en estos hallazgos, la entrada al canal ha sido considerada la parte más estrecha del canal nasolagrimal óseo (Francisco FC, 2007). Los estudios en TC han mostrado diferentes hallazgos. Groell et al 1997 hallaron que la parte más estrecha del canal se localizaba en la parte media o superior del canal, mientras que Groessl et al 1997 hallaron que se encontraba 3 mm inferior a la entrada del canal. Posteriormente, Takahashi et al 2013 hallaron que los diámetros anteroposterior y transverso mínimos del canal nasolagrimal óseo se localizaban en la entrada del canal en la mayoría de los cadáveres. Calcularon el ratio de distancia: (la distancia desde la parte con el diámetro mínimo a la entrada del canal / longitud total del canal nasolagrimal óseo) x 100. Este parámetro indica la localización del diámetro mínimo en relación con la longitud total del canal. Takahashi et al 2014

observaron que la distancia del mínimo diámetro transverso fue significativamente menor en los lados obstruidos y en los no obstruidos que en los controles.

7.2.10. Volumen del canal nasolagrimal

Los primeros autores en medirlo fueron Ramey et al 2013, hallando los siguientes valores de volumen medio: 337,9 mm³ en hombres y 274,6 mm³ en mujeres; 321,3 mm³ en negros y 296,7 mm³ en caucásicos; y 283,7 mm³ en los jóvenes y 324,3 mm³ en los mayores. El volumen del canal nasolagrimal fue significativamente mayor en hombres jóvenes que en mujeres jóvenes (327 mm³ frente a 244 mm³) (Ramey NA, 2013).

Recientemente, Estes et al 2015 han realizado también mediciones del volumen del canal nasolagrimal. Sus resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20. Volúmenes medios del canal nasolagrimal en pacientes y controles (tomado de Estes et al 2015)

Demographics and mean volume measurements of nasolacrimal ducts in patients and controls			
	Patients (cm ³) [range]	Controls (cm ³) [range]	Significance: <i>p</i>
Age (mean)	71.3±8.5 [60–93]	71.1±7.8 [60–88]	0.93
OU	0.411±0.18 [0.174–1.052]	0.380±0.13 [0.207–0.798]	0.23
OD	0.418±0.18 [0.197–1.052]	0.377±0.11 [0.222–0.710]	0.27
OS	0.405±0.17 [0.174–0.934]	0.383±0.14 [0.207–0.798]	0.56
Males	0.470±0.23 [0.200–1.052]	0.493±0.14 [0.317–0.798]	0.70
Females	0.384±0.13 [0.174–0.796]	0.328±0.08 [0.207–0.501]	0.01
Significance	<i>p</i> = 0.13	<i>p</i> < 0.0001	
Males—all		0.482±0.19 [0.200–1.052]	<i>p</i> < 0.001
Females—all		0.356±0.11 [0.174–0.796]	
Obstructed eye	0.407±0.19 [0.174–1.052]	0.390±0.13 [0.207–0.798]	0.53

p values: unpaired Student *t* test.

7.2.11. Ángulo del canal nasolagrimal

Los canales nasolagrimales óseos derecho e izquierdo normalmente discurren paralelos el uno al otro y descienden en un ángulo posterior de 15° a 25° (Bailey JH, 1923) (Whitnall SE, 1932) (Duke-Elder S, 1946) en la pared ósea, entre el seno maxilar y la nariz. Al margen de estos tres trabajos, y el de Narioka et al 2007, no existen otros datos de la inclinación del sistema de drenaje lagrimal. Los hallazgos de Narioka et al 2007 sobre el grado de inclinación del conducto nasolagrimal en el plano sagital fueron consistentes con las observaciones de Whitnall 1932. La inclinación del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal en los planos coronal y sagital varió considerablemente en la muestra de Narioka et al 2007, aunque los valores fueron casi idénticos para los dos lados. El trabajo de Narioka et al 2007 confirma la observación de Zabel 1900, de que existe un ángulo entre el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal. En cuanto a la inclinación del conducto nasolagrimal en el plano coronal, trabajos previos habían mencionado solo un tipo, por ejemplo hacia dentro (Whitnall SE, 1932) (Zabel E, 1900), o hacia afuera (Yazici Z, 2001), desde la línea sagital. Sin embargo, el trabajo de Narioka et al 2007 demuestra la existencia de ambos tipos, y en ningún caso la inclinación lateral del conducto nasolagrimal fue mayor que la del saco lagrimal, por lo que el eje largo del conducto nasolagrimal siempre se dirigía hacia adentro con respecto al del saco lagrimal.

Janssen et al 2001 hallaron que el canal nasolagrimal óseo viajaba a un ángulo de $22,5^{\circ}$ con una línea perpendicular al suelo nasal. La media hallada por Shigeta et al 2007 del ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal fue $78,3^{\circ}$; hombres $78,7^{\circ}$

y mujeres 77,6°; lado derecho 78,4° y lado izquierdo 78,3°. En el trabajo de Lee et al 2012, el ángulo medio entre el canal óseo y el suelo nasal fue 63,6°. Las diferencias pueden deberse a los distintos métodos de medida, por ejemplo si se mide un ángulo o su complementario (Lee H, 2012).

Steinkogler 1986 midió moldes de resina del canal nasolagrimal óseo. El ángulo máximo entre la fosa lagrimal y el canal nasolagrimal no se midió propiamente, sino que se utilizó un método trigonométrico-fotográfico para definir los ángulos del sistema lagrimal óseo y el ángulo máximo entre la fosa lagrimal y el canal nasolagrimal. El ángulo máximo medio fue 25,74°; en hemicráneos izquierdos 26,5° y en derechos 24,94°. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas en el ángulo máximo entre hombres y mujeres, y tampoco entre los lados derecho e izquierdo. En todos los casos el canal nasolagrimal se dirigía medialmente en visión frontal. En este plano, el ángulo medido fue de 21,6°. En el 82,4% se midió un ángulo dirigido hacia dorsal en visión lateral. En este plano, el ángulo medio fue 12,11°.

7.2.12. Espesor de la pared interna del conducto nasolagrimal

El espesor de la pared interna del conducto nasolagrimal fue de $1,17 \pm 0,48$ mm, $0,76 \pm 0,39$ mm, y $0,40 \pm 0,22$ mm en el tercio superior, tercio medio y tercio inferior, respectivamente (Tao H, 2014).

7.3. DIFERENCIAS EN EL CANAL NASOLAGRIMAL ÓSEO

7.3.1. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo entre sexos

En varios trabajos se han hallado diferencias en el canal nasolagrimal óseo entre ambos sexos, encontrándose medidas menores en mujeres.

7.3.1.1. Diferencias en los diámetros

Varios autores han hallado diámetros del conducto nasolagrimal óseo menores en mujeres (Groessl SA, 1997) (Janssen AG, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009) (Fasina O, 2013) (Takahashi Y, 2011) (Takahashi Y, 2014).

Groessl et al 1997 hallaron menor diámetro en mujeres en el conducto nasolagrimal medio y en la fosa inferior. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en el conducto nasolagrimal inferior.

Janssen et al 2001 observaron una diferencia estadísticamente significativa en el diámetro mínimo medio entre hombres (3,70 mm) y mujeres (3,35 mm) en el grupo control, confirmando los hallazgos de otros investigadores (Groessl SA, 1997) (Linberg JV, 1986), aunque éstos no aportan el tamaño de los diámetros en mujeres y hombres. Sin embargo, Janssen et al 2001 no hallaron diferencia entre

hombres (2,6 mm) y mujeres (3,1 mm) en el diámetro mínimo en el grupo de pacientes con PANDO.

Wladis et al 2005 hallaron que las diferencias en el diámetro axial mínimo medio en TC entre hombres y mujeres fueron estadísticamente significativas. Las diferencias entre hombres y mujeres en cada grupo racial (caucásicos, asiáticos y afroamericanos) fueron estadísticamente significativas, excepto en asiáticos. Los autores concluyeron que las mujeres tienen canales nasolagrimales más estrechos que los hombres, y que las mujeres caucásicas tienen los canales más estrechos que cualquier otra combinación racial y de género.

Las mujeres tuvieron diámetros tanto anteroposterior como transversos significativamente más pequeños (media: 0,6 mm menor y 0,3 mm menor respectivamente) (Shigeta K, 2007). En la misma línea se encuentran los resultados de Fasina et al 2013, que hallaron que en una población de raza negra de Nigeria el diámetro medio mínimo del canal nasolagrimon en TC fue significativamente mayor en hombres ($3,52 \pm 0,69$ mm) que en mujeres ($3,36 \pm 0,64$ mm). Takahashi et al 2014 hallaron que los diámetros transversos en la entrada del canal nasolagrimon óseo eran más cortos en las mujeres que en los hombres en casos de obstrucción del conducto nasolagrimon, tanto en el lado obstruido como en el no obstruido. También hallaron que el diámetro transversos mínimo fue menor en las mujeres que en los hombres en los lados obstruidos.

Sin embargo, Takahashi et al 2011 no hallaron diferencia estadísticamente significativa entre géneros en el diámetro anteroposterior, pero sí en el diámetro transversos, que fue significativamente más pequeño en mujeres que en hombres.

Tampoco hallaron diferencias estadísticamente significativas Ramey et al 2013, en el diámetro mínimo medio, que fue 3,63 en hombres y 3,62 en mujeres. Siricki et al 2001 no hallaron diferencia estadísticamente significativa en el diámetro coronal medio entre hombres y mujeres.

7.3.1.2. Diferencias en la longitud del canal

Se ha hallado una longitud del canal nasolagrimal óseo significativamente mayor en hombres que en mujeres (Wladis EJ, 2005) (Ramey NA, 2013).

7.3.1.3. Diferencias en las áreas del canal

El área seccional del canal nasolagrimal óseo fue significativamente más pequeña en mujeres (13% menor en mujeres) (Shigeta K, 2007). Sin embargo, Ramey et al 2013 no hallaron diferencias estadísticamente significativas en el área mínima del canal media.

7.3.1.4. Diferencias en el volumen del canal

El volumen medio del canal nasolagrimal fue significativamente mayor en hombres que en mujeres (337,9 mm³ frente 274,6 mm³) p=0,055 (Ramey NA, 2013). El volumen del canal fue significativamente mayor en el subgrupo de hombres jóvenes que en el de mujeres jóvenes (327 mm³ frente a 244 mm³) p=0,05 (Ramey NA, 2013). Estes et al 2015 también hallaron que las mujeres

tenían un volumen de los conductos significativamente menor que los hombres ($0,356 \pm 0,11 \text{ cm}^3$ y $0,482 \pm 0,19 \text{ cm}^3$, respectivamente). Los pacientes hombres tenían menor volumen de los conductos ($0,470 \pm 0,23 \text{ cm}^3$) que los hombres controles ($0,493 \pm 0,14 \text{ cm}^3$) al contrario que la tendencia general observada en pacientes en comparación con la de los controles, pero este hallazgo no fue significativo. Por el contrario, las mujeres pacientes sí seguían esta tendencia general y tenían un volumen de conducto significativamente mayor ($0,384 \pm 0,13 \text{ cm}^3$) que el de las mujeres controles ($0,328 \pm 0,08 \text{ cm}^3$). El volumen medio del conducto en los hombres controles fue un 51% mayor que en las mujeres controles ($p < 0,0001$), pero en los hombres pacientes fue solo un 22% mayor que en las mujeres pacientes ($p = 0,13$), siendo por tanto la diferencia entre ambos sexos menor en el grupo de pacientes.

7.3.1.5. Diferencias en otros parámetros

El ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal fue una media de $1,1^\circ$ significativamente más obtuso en hombres (Shigeta K, 2007).

7.3.2. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo en función de la edad

Takahashi et al 2011 consideran la edad un factor importante que afecta los resultados de los estudios morfométricos.

Lee et al 2012 halló que los pacientes < de 10 años tenían todos los parámetros significativamente menores que los de los pacientes > de 10 años; y que el área seccional, los diámetros anteroposterior y transversal del canal óseo mostraban una tendencia a aumentar con la edad en < de 5 años.

7.3.2.1. Diferencias en los diámetros del canal

Existen resultados contradictorios sobre la relación entre la edad y las dimensiones del canal nasolagrimal óseo.

El diámetro de la entrada del canal nasolagrimal óseo aumenta con la edad (Groessler SA, 1997) (Shigeta K, 2007) (Francisco FC 2007). Groessler et al 1997 encontró que el aumento de tamaño del conducto nasolagrimal óseo era menor en mujeres que en hombres, sin embargo en el estudio de Shigeta et al 2007, las mujeres tenían un mayor cambio en el diámetro y en el ángulo entre el conducto nasolagrimal óseo y el suelo nasal.

Groessler et al 1997 analizaron los diámetros del canal óseo en un grupo de 71 adultos, aunque no mencionaron si el grupo incluía pacientes con obstrucción del sistema de drenaje lagrimal, y demostraron que de 20 a 80 años el conducto nasolagrimal a nivel de la fosa inferior aumenta de tamaño con la edad en hombres y mujeres (siendo dicho aumento de tamaño menor en mujeres que en hombres), coincidiendo con cambios osteoporóticos en el cuerpo, mientras que el conducto nasolagrimal medio solo aumenta de tamaño con la edad en hombres.

Shigeta et al 2007 observaron que con la edad, el diámetro transverso aumenta significativamente en hombres, y el diámetro anteroposterior aumenta significativamente en mujeres. Aunque no estadísticamente significativo se observó una tendencia del diámetro anteroposterior a aumentar con la edad en hombres y del diámetro transverso a aumentar con la edad en mujeres.

Ramey et al 2013 observaron una tendencia al aumento del diámetro seccional del canal en pacientes mayores de 50 años con respecto a los pacientes más jóvenes, aunque no hallaron diferencias estadísticamente significativas en el diámetro mínimo medio entre los jóvenes y los mayores. Los mayores diámetros axiales (de las elipses seccionales) en la parte proximal del canal y al 80% de altura sí fueron significativamente mayores en pacientes de mayor edad (aproximadamente un 0,5% de aumento cada año); al igual que los menores diámetros axiales, en este caso en la parte distal del canal y al 20% de altura, que fueron significativamente mayores en pacientes de mayor edad (aproximadamente 0,4% de crecimiento al año).

Contrariamente a los anteriores trabajos, Janssen et al 2001 hallaron una asociación inversa estadísticamente significativa entre la edad y el diámetro mínimo del canal óseo en el grupo con obstrucción adquirida del sistema de drenaje lagrimal (a más edad menor diámetro). Este hallazgo les pareció consistente con un aumento de la obstrucción lagrimal con la edad. Sin embargo, no hallaron asociación entre la edad y el diámetro mínimo del canal óseo en el grupo control. La diferencia de resultados puede radicar en parte en que, al

contrario que los estudios anteriores, Janssen et al 2001 obtiene estos resultados en la submuestra de pacientes con obstrucción lagrimal.

Sin embargo, Wilhelm et al 2009 no hallaron relación lineal entre la edad y el diámetro del conducto. Tampoco Fasina et al 2013 hallaron diferencias significativas en el diámetro mínimo de una población de raza negra de Nigeria entre los grupos de edad (ni en hombres ni en mujeres).

7.3.2.2. Diferencias en la longitud del canal

Ruiz Barranco et al 1977 afirman que con la edad aumentan la longitud del canal lagrimonasal. Sin embargo, los autores no precisan si las diferencias halladas en su trabajo son estadísticamente significativas.

Ramey et al 2013 no halló diferencias estadísticamente significativas en la longitud media del canal entre jóvenes (12,1 mm) y mayores (11,1 mm).

7.3.2.3. Diferencias en las áreas del canal

Con la edad, el área seccional del canal nasolagrimal óseo aumenta significativamente en hombres y en mujeres (Shigeta K, 2007). Ramey et al 2013 no hallaron sin embargo diferencias estadísticamente significativas en el área mínima del canal media entre en los jóvenes (13,9 mm) y los mayores (16,6 mm).

7.3.2.4. Diferencias en el volumen del canal

Ramey et al 2013 no hallaron diferencias estadísticamente significativas en el volumen medio del canal nasolagrimal entre los jóvenes ($283,7 \text{ mm}^3$) y los mayores ($324,3 \text{ mm}^3$). Sí hallaron sin embargo diferencias significativas en el volumen del canal nasolagrimal entre hombres jóvenes y mujeres jóvenes (327 mm^3 frente a 244 mm^3).

7.3.2.5. Diferencias en otros parámetros

Se ha visto que el ángulo entre el canal nasolagrimal óseo y el suelo nasal generalmente aumenta con la edad (en hombres y en mujeres), principalmente antes de los 40 años (Shigeta K, 2007).

7.3.3. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo entre grupos raciales

Se ha observado que en pacientes negros existe una tendencia estadísticamente significativa de mayores valores de mínimo diámetro del canal, mínima área seccional y volumen del canal a mayor edad (Ramey NA, 2013).

7.3.3.1. Diferencias en los diámetros del canal

Santos Fernández 1921 creía que la estrechez del canal nasolagrimal era responsable de la mayor incidencia de dacriocistitis en la raza blanca comparado

con la raza negra, sin embargo otros autores han encontrado resultados opuestos. Apoyando esta teoría, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en el diámetro axial mínimo medio, que fue significativamente menor en caucásicos (3,507 mm) que en los demás grupos raciales (4,44 mm en asiáticos y 4,67 mm en afroamericanos) (Wladis EJ; 2005). Posteriormente han aparecido resultados contradictorios (McCormick A, 2009) (Fasina O, 2013). McCormick et al 2009 no encontraron diferencias en el diámetro mínimo del canal nasolagrimal entre caucásicos y maorís de Nueva Zelanda (3,7 mm), pero el mínimo conducto nasolagrimal fue significativamente mayor en raza del Pacífico (4,1 mm) en comparación con los anteriores grupos, a pesar de la mayor incidencia de DCR en la población del Pacífico. Por otro lado, Fasina et al 2013 observaron que el diámetro medio mínimo del canal óseo en TC en nigerianos es menor que los publicados en afroamericanos, asiáticos y caucásicos, también a pesar de la menor prevalencia de PANDO en la raza negra (Saxena SK, 1984), aunque en su trabajo solo incluyen pacientes de raza negra.

Yong et al 2014 hallaron que el diámetro del canal nasolagrimal fue significativamente más estrecho en las personas con caras más estrechas. El hecho de que los pacientes con características caucasianoides tengan caras significativamente más estrechas puede significar que este grupo está más predispuesto a la obstrucción del conducto nasolagrimal. Ramey et al 2013 no hallaron sin embargo diferencias estadísticamente significativas en el diámetro mínimo medio entre negros 3,8 mm y caucásicos 3,5 mm.

7.3.3.2. Diferencias en la longitud del canal

No se han hallado diferencias estadísticamente significativas en la longitud del canal nasolagrimal entre los diferentes grupos raciales (Wladis EJ, 2005) (Ramey NA, 2013).

7.3.3.3. Diferencias en el área del canal

El área seccional en el límite distal del canal nasolagrimal y al 20% de altura fue significativamente mayor en pacientes negros que en los caucásicos (Ramey NA, 2013) . Sin embargo, los autores no hallaron diferencias significativas en el área mínima del canal media entre negros y caucásicos.

7.3.3.4. Diferencias en el volumen del canal

No se han hallado diferencias estadísticamente significativas en el volumen medio del canal nasolagrimal entre negros (321,3 mm³) y caucásicos (296,7 mm³) (Ramey NA, 2013).

7.3.4. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo en función de la presencia o ausencia de patología obstructiva de la vía lagrimal

7.3.4.1. Diferencias en los diámetros del canal

Algunos autores han sugerido que el diámetro del canal óseo puede ser un factor contribuyente en la PANDO (Linberg JV, 1986) (Berkefeld J, 1997) (Groessl SA, 1997). Varios autores han hallado menores diámetros del canal nasolagrimal óseo en pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal (Kesavachar KR, 1958) (Janssen AG, 2001) (Shigeta K, 2007) (Wilhelm KE, 2009). Hasta el trabajo de Janssen et al 2001, no se habían publicado datos cuantitativos de las dimensiones del canal nasolagrimal óseo en pacientes con epífora causada por PANDO. Los autores observaron que el diámetro mínimo medio en el grupo de pacientes con PANDO (3,0 mm) fue significativamente más pequeño que en el grupo control (3,5 mm). Otros autores no han hallado diferencias estadísticamente significativas (Shukla B, 1965).

Wilhelm et al 2009 observaron que en el canal nasolagrimal óseo del lado con epífora, el diámetro mínimo era significativamente menor (4,61 mm) que en lado no afectado (4,93 mm) en ambos sexos.

7.3.4.2. Diferencias en el área del canal

Phillips et al 1956 compararon los tamaños de los canales óseos observados en un grupo de sujetos normales con un grupo de pacientes con epífora, midiendo el área de la entrada del canal óseo en radiografías de cráneo, pero no hallaron diferencias estadísticamente significativas.

7.3.4.3. Diferencias en el volumen del canal

Estes et al 2015 no hallaron diferencia significativa entre el volumen del conducto nasolagrimal de los pacientes con PANDO y el de los controles. Los pacientes hombres tenían menor volumen de los conductos que los hombres controles, al contrario que la tendencia general observada en pacientes en comparación con la de los controles, pero este hallazgo no fue significativo. Sin embargo, las mujeres pacientes sí seguían esta tendencia y presentaban un volumen de conducto significativamente mayor que el de las mujeres controles. Los autores observaron que los hombres tenían mayores volúmenes que las mujeres, tanto en los pacientes ($p = 0,13$) como en los controles ($p < 0,0001$), pero la diferencia entre ambos fue menor en el grupo de pacientes (22% en pacientes frente a 51% en los controles).

7.3.5. Diferencias en el conducto nasolagrimal óseo entre los lados derecho e izquierdo

Saxena 1984 es el único autor que ha hallado diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la longitud media entre los canales derecho (2,152 cm) e izquierdo (2,390 cm). Esta diferencia podría ser debida a la distinta longitud de las dos hemicaras (Taban M, 2011).

Ningún otro de los autores que han estudiado las diferencias entre los lados derecho e izquierdo del canal nasolagrimal óseo ha hallado diferencias estadísticamente significativas (Truchot P, 1953) (Groessl SA, 1997) (Siricki A, 2001) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009) (Fasina O, 2013) (Yong AM, 2014) (Estes JL, 2015). Estes et al 2015 no hallaron diferencia entre los lados derecho e izquierdo, ni en pacientes con PANDO ni en controles. Shigeta et al 2007 no hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los lados derecho e izquierdo en los diámetros anteroposterior y transversal, en el área seccional del canal nasolagrimal óseo, ni en el ángulo entre el canal óseo y el suelo nasal.

Otros autores presentan las diferencias pero no indican si las diferencias halladas fueron estadísticamente significativas (Kesavachar KR, 1958) (Shukla B, 1965) (Groell R, 1997).

7.3.6. Diferencias en el canal nasolagrimal óseo en función del pronóstico tras la cirugía

Janssen et al 2001 intentaron correlacionar el éxito de la dacriocistoplastia con el diámetro del canal. Encontraron que en 9 de los 24 sistemas obstruidos tratados con dacriocistoplastia con éxito, el mínimo diámetro medio del canal óseo fue 3,1 mm, mientras que en los 15 sistemas obstruidos en los cuáles la dacriocistoplastia no tuvo éxito fue 2,9 mm. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

7.4. ANÁLISIS DE NUESTROS RESULTADOS Y COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS DE TRABAJOS PREVIOS

7.4.1. Dificultades en la aplicación de las técnicas de visión artificial

Entre las principales dificultades para la aplicación de las técnicas de visión artificial para analizar los canales nasolagrimales están su pequeño tamaño, y la falta de homogeneidad de sus paredes óseas. La TC clínica por lo general proporciona una resolución espacial de alrededor de 0,5 mm en cada uno de los tres ejes, mientras que el diámetro medio del canal nasolagrimal está entre 2,5 y 6,8 mm (Truchot P, 1953) (Saxena SK, 1984) (Steinkogler FJ, 1986) (Groell R, 1997) (Janssen AG, 2001) (Siricki A, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007)

(McCormick A, 2009) (Takahashi Y, 2011) (Takahashi Y, 2013). Además, sus paredes óseas pueden medir desde varios mm a menos de 0,2 mm de espesor en el mismo corte (Tao H, 2014); cuando su espesor se hace inferior al tamaño del vóxel entonces disminuye el contraste y el contorno de la pared en esa zona puede llegar a desaparecer de la TC, tal como se muestra en los dos ejemplos de la fig. 22.

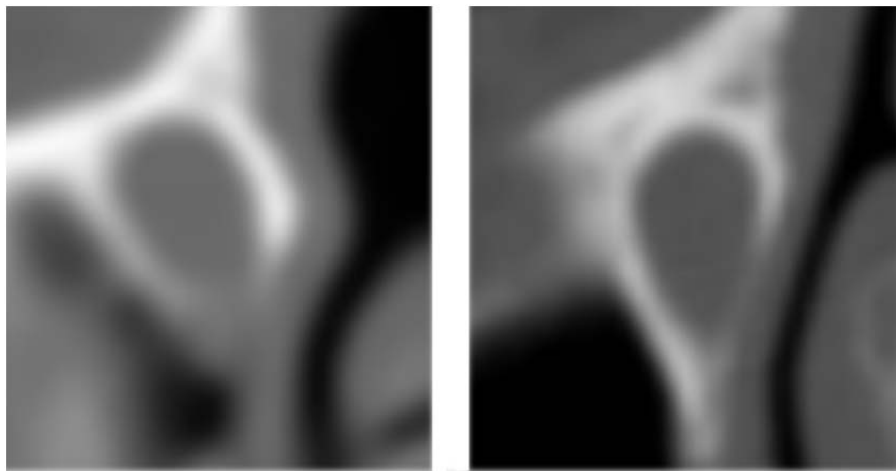


Figura 22. Heterogeneidad en el espesor de las paredes de los canales nasolagrimal

Ciertamente, la resolución podría mejorarse con una mejor tecnología de TC y con el uso de dosis mayores de radiación, pero la primera opción es un proceso lento y costoso, y la segunda opción es inaceptable por razones médicas, éticas y legales. Es por tanto de gran interés el desarrollo de nuevos métodos objetivos para el estudio 3-D del canal nasolagrimal, basado en la tecnología de TC clínica actual.

Se han empleado diversas técnicas para estudiar las diferencias morfológicas del canal nasolagrimal en diversas poblaciones y analizar las diferencias entre ellas.

Ya existen varios estudios en 3-D del conducto nasolagrimal, no solo en adultos (Wilhelm KE, 2009) (Estes JL, 2015), sino también en niños (Weiss AH, 2012) e incluso en embriones (De-la-Cuadra-Blanco C, 2006).

7.4.2. Metodología de medición

En todos los estudios revisados en los cuáles se realizan mediciones del canal nasolagrimal óseo existe algún paso manual, con la consiguiente pérdida de objetividad, reproducibilidad y precisión. Hasta Ramey et al 2013, los trabajos empleaban técnicas tradicionales y se limitaban a realizar mediciones sobre los planos axiales, con los posibles errores que conlleva este método, como se ha expuesto anteriormente. Sin embargo, en nuestro trabajo la medición está íntegramente automatizada, por lo que se eliminan los errores derivados de las mediciones manuales.

7.4.3. Herramientas

Al igual que en los trabajos más recientes (Takahashi Y, 2014) (Yong AM, 2014) (Estes JL, 2015) en este trabajo se han empleado TC de alta resolución (≤ 1 mm) y reconstrucciones tridimensionales (Wilhelm KE, 2009) (Yong AM, 2014) (Estes JL, 2015). La reconstrucción tridimensional de la TC permite la rotación de las estructuras permitiendo la evaluación multiplanar del sistema de drenaje lagrimal. Otros autores ya han observado anteriormente las ventajas de las imágenes tridimensionales) (Freitag SK, 2002) (Karagülle T, 2002) (Lüchtenberg M, 2004.

Las imágenes tridimensionales dentro del contexto clínico pueden aportar información adicional y facilitar decisiones en cuanto al tratamiento (Lüchtenberg M, 2004).

Este trabajo proporciona nuevos métodos para modelar y analizar de manera más objetiva y precisa las características 3-D del canal nasolagrimal óseo.

Para evitar tantas fuentes subjetivas de distorsión de las mediciones analizadas previamente, este trabajo aporta dos contribuciones:

1. Definición o redefinición de un conjunto de variables que captan las características fundamentales de la estructura 2-D y 3-D del canal nasolagrimal
2. Implementación de un conjunto de herramientas y métodos para automatizar su medición.

Las principales ventajas sobre los métodos anteriores son tres:

1. Evita la variabilidad aleatoria introducida por los métodos manuales
2. No requiere ninguna asunción sobre la forma de la sección del canal
3. Utiliza toda la información proporcionada por el estudio de TC.

Por tanto, se diferencia de trabajos anteriores en la realización del análisis de imágenes utilizando métodos, hardware y software diferentes de los proporcionados por los fabricantes industriales, y en el uso de software abierto adaptado para resolver los problemas específicos encontrados en la

segmentación del canal nasolagrimal. Además, esta nueva metodología se puede aplicar directamente a cualquier estudio DICOM, independientemente del fabricante de la TC, de la tecnología de adquisición (helicoidal multicorte, etc.), del tamaño de vóxel, del espaciamiento de los cortes y del solapamiento o los saltos entre cortes consecutivos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la exactitud de los resultados está estrechamente vinculada a la resolución espacial del estudio de TC por razones obvias.

7.4.4. Asociación entre las dimensiones del canal y la patología obstructiva

Varios autores han realizado mediciones del canal nasolagrimal tratando de relacionar la anatomía del canal con la patología obstructiva (Phillips CI, 1956) (Kesavachar KR, 1958) (Shukla B, 1965) (Janssen AG, 2001) (Shigeta K, 2007) (Wilhelm KE, 2009) (McCormick A, 2009) (Takahashi Y, 2014) (Estes JL, 2015).

Zabel 1900 y Onodi 1913 observaron que un espolón en la cresta lagrimal anterior o posterior, o un bien desarrollado gancho lagrimal podían constreñir el saco lagrimal (Shukla B, 1965). Phillips et al 1956 afirmaron que la malformación del canal óseo podía ser responsable del bloqueo nasolagrimal. La evidencia a favor de esta deducción la dio en 1930 Gualdi, que estudió series de bloqueo del conducto nasolagrimal familiar hereditario, y sugirió que este tipo de anomalía se asociaba con alteración en la forma de la entrada del canal nasolagrimal (de oval a redondo), y con reducciones en su diámetro. Otros autores han sugerido que el diámetro del canal óseo puede ser un factor contribuyente en la PANDO (Linberg

JV 1986) (Berkefeld J, 1997) (Groessler SA, 1997). Se cree que las diferencias de género en la anatomía del canal nasolagrimal óseo son la causa de una mayor incidencia de PANDO en las mujeres (Santos-Fernández J, 1921) (Post RH, 1969) (Groessler SA, 1997) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009) (Takahashi Y, 2011) (Takahashi Y, 2013) (Fasina O, 2013). Existen sin embargo resultados contradictorios en cuanto a la relación de las dimensiones del canal óseo con la presencia de patología obstructiva.

Ya a principios del siglo XX, Meller afirmó que la mayor incidencia de dacriocistitis en mujeres se debía a un canal nasolagrimal más estrecho. Una relativamente pequeña entrada del canal nasolagrimal óseo en mujeres puede ser un potencial factor causal de PANDO (Groessler SA, 1997) (Shigeta K, 2007). Varios autores han hallado menores diámetros del canal nasolagrimal óseo en pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal (Kesavachar KR, 1958) (Janssen AG, 2001) (Shigeta K, 2007) (Wilhelm KE, 2009). Hasta el trabajo de Janssen et al 2001, no se habían publicado datos cuantitativos de las dimensiones del canal nasolagrimal óseo en pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal. Los autores observaron que el diámetro mínimo medio en el grupo de pacientes con PANDO (3,0 mm) fue significativamente más pequeño que en el grupo control (3,5 mm). Wilhelm et al 2009 observaron que en el conducto nasolagrimal óseo del lado con epífora, el diámetro mínimo era significativamente menor (4,61 mm) que en lado no afectado (4,93 mm), en ambos sexos.

En cuanto al área, Phillips et al 1956 compararon los tamaños de los canales óseos observados en un grupo de sujetos normales con un grupo de pacientes

con epífora, midiendo el área de la entrada del canal óseo en radiografías de cráneo, sin hallar diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto al volumen, hasta el momento ningún trabajo ha revelado diferencias significativas entre los sujetos con obstrucción y los sujetos sanos, aunque Estes et al 2015 encontraron una tendencia no significativa de los pacientes a tener mayores volúmenes que los controles. Los pacientes con obstrucción del lado derecho, los pacientes con obstrucción de lado izquierdo y los pacientes con obstrucción de ambos lados, tenían volúmenes mayores que el grupo control, siguiendo la tendencia general de que los pacientes tenían un mayor volumen medio que los controles, aunque este hallazgo no fue significativo. Esta tendencia se observaba también en las mujeres pacientes, que tenían un volumen de conducto significativamente mayor que las mujeres controles. Sin embargo, esta tendencia no se observó en los pacientes hombres, que tenían menor volumen de los conductos que los hombres controles, al contrario que la tendencia general observada en pacientes en comparación con la de los controles, pero este hallazgo no fue significativo. Los autores tampoco hallaron diferencia significativa entre los conductos nasolagrimales obstruidos y los no obstruidos dentro del grupo de pacientes.

Estes et al 2015 no especifican la exclusión de pacientes con patología que hubiera podido alterar el canal nasolagrimonal, ni de pacientes con obstrucciones funcionales, ni de individuos con historia de traumatismos, cirugías, infecciones, inflamaciones, neoplasias, malformaciones o fracturas faciales, nasales, de senos paranasales o del aparato lagrimonal, ni de sujetos con patología nasal o de senos

paranasales evidenciada en la exploración otorrinolaringológica o en las pruebas de imagen. No excluyeron tampoco los individuos con patología otológica que pudieran ser susceptibles de tener unas condiciones anatómicas favorecedoras de procesos obstructivos de la vía lagrimal. En nuestro trabajo se excluyen todas estas condiciones, disminuyendo así los sesgos derivados de la selección y mejorando el control de las variables relevantes. En el trabajo de Estes et al 2015, los sujetos control fueron elegidos entre los pacientes en los que se realizó la prueba de imagen por traumatismo facial o enfermedad inflamatoria sinusal, por lo que podrían no ser representativos de la población normal, debido a la conocida asociación de la patología nasal y sinusal, con la obstrucción del conducto nasolagrimal (Kallman JE, 1997) (Francis IC, 1999) (Habesoglu M, 2013), o a una alteración subclínica de la anatomía del canal tras el traumatismo facial.

La tendencia general de mayores volúmenes en los pacientes encontrada por Estes et al 2015 fue inesperada, al partir de la hipótesis sugerida por otros estudios (Kesavachar KR, 1958) (Janssen AG, 2001) (Shigeta K, 2007) (Wilhelm KE, 2009), de que los conductos lagrimales con menor volumen causan PANDO. Los autores postulan que el volumen paradójicamente aumentado en los casos femeninos es secundario a un área focal de estenosis, seguido de la formación dacriocistocele y remodelación ósea.

Estes et al 2015 observaron que los hombres tenían mayores volúmenes que las mujeres, tanto en los pacientes ($p=0,13$), como en los controles ($p < 0,0001$), pero la diferencia entre ambos fue menor en el grupo de pacientes (22% en pacientes frente a 51% en los controles). El aumento en el volumen observado en las

mujeres con obstrucción puede ser debido a la expansión del canal óseo tras la menopausia (Estes JL, 2015). Estos datos confirman lo que otros estudios han mostrado: en sujetos normales, las mujeres tienden a tener una anatomía más pequeña. Sin embargo, puede haber un proceso que reduce la diferencia entre hombres y mujeres durante la obstrucción. La expansión del canal óseo puede ocurrir como resultado de la inflamación crónica y de alta presión dentro del canal, lo que podría tener un mayor efecto en las mujeres debido a su composición ósea después de la menopausia (Estes JL, 2015). Los autores proponen por tanto que los volúmenes más grandes observados en los casos en comparación con los controles, pueden ser en realidad un resultado de PANDO en lugar de una posible etiología.

De modo análogo, en otros estudios se ha encontrado que las poblaciones con mayor prevalencia de PANDO presentan diámetros mínimos de mayor tamaño, lo que implica que un mayor diámetro podría ser un efecto y no una causa de PANDO (McCormick A, 2009) (Fasina O, 2013).

Otro factor a tener en cuenta es la distancia desde la entrada del canal al diámetro mínimo. Takahashi et al 2014 observaron que los pacientes con PANDO presentan el tipo embudo más frecuentemente, es decir, presentan menor distancia desde la entrada a la parte con el mínimo diámetro que los controles. Concluyen por tanto que una menor distancia desde la entrada a la parte con el mínimo diámetro del canal puede aumentar el riesgo de PANDO.

Varios autores (Phillips CI, 195) (Shukla B, 1965) (McCormick A, 2009) (Estes JL, 2015) han sugerido que las dimensiones del canal no son relevantes al no

encontrar diferencias entre los pacientes con obstrucción y los controles. Esto podría ser debido a una escasa potencia de las pruebas estadísticas o a errores derivados de las mediciones. Las dimensiones del canal podrían ser un factor más, no predominante, entre los muchos factores que se han visto asociados con la patología obstructiva del sistema de drenaje lagrimal.

7.4.5. Relación de la anatomía del canal nasolagrimal con la edad

Takahashi et al 2011 consideran la edad un factor importante que afecta a los resultados de los estudios morfométricos. Existen sin embargo resultados contradictorios en cuanto a la relación de las dimensiones del canal con la edad.

El diámetro de la entrada del canal nasolagrimal óseo aumenta con la edad (Groessl SA, 1997) (Shigeta K, 2007) (Francisco FC 2007). Groessl et al 1997 analizaron los diámetros del canal óseo en un grupo de 71 adultos, aunque no mencionaron si el grupo incluía pacientes con obstrucción del sistema de drenaje lagrimal, y demostraron que de 20 a 80 años el conducto nasolagrimal a nivel de la fosa inferior aumenta de tamaño con la edad en hombres y mujeres (siendo dicho aumento de tamaño menor en mujeres que en hombres), coincidiendo con cambios osteoporóticos en el cuerpo, mientras que el conducto nasolagrimal medio solo aumenta de tamaño con la edad en hombres. El ensanchamiento del canal nasolagrimal (no demostrado a nivel del canal nasolagrimal inferior) que se produce con la edad sería un factor protector, sin embargo, este ensanchamiento es muy leve en mujeres, por lo que no se encontró este efecto protector.

Shigeta et al 2007 observaron que con la edad, el diámetro transverso aumenta significativamente en hombres, y el diámetro anteroposterior aumenta significativamente en mujeres. Aunque no estadísticamente significativo se observó una tendencia del diámetro anteroposterior a aumentar con la edad en hombres y del diámetro transverso a aumentar con la edad en mujeres.

Ramey et al 2013 observaron una tendencia al aumento del diámetro seccional del canal en pacientes mayores de 50 años con respecto a los pacientes más jóvenes, aunque no hallaron diferencias estadísticamente significativas en el diámetro mínimo medio entre los jóvenes y los mayores. Los mayores diámetros axiales (de las elipses seccionales) en la parte proximal del canal y al 80% de altura sí fueron significativamente mayores en pacientes de mayor edad (aproximadamente un 0,5% de aumento cada año); al igual que los menores diámetros axiales, en este caso en la parte distal del canal y al 20% de altura, que fueron significativamente mayores en pacientes de mayor edad (aproximadamente 0,4% de crecimiento al año).

Contrariamente a los anteriores trabajos, Janssen et al 2001 hallaron una asociación inversa estadísticamente significativa entre la edad y el diámetro mínimo del canal óseo en el grupo con obstrucción adquirida del sistema de drenaje lagrimal (a más edad menor diámetro). Este hallazgo les pareció consistente con un aumento de la obstrucción lagrimal con la edad. Sin embargo, no hallaron asociación entre la edad y el diámetro mínimo del canal óseo en el grupo control. La diferencia de resultados puede radicar en parte en que, al

contrario que los estudios anteriores, Janssen et al 2001 obtiene estos resultados en la submuestra de pacientes con obstrucción lagrimal.

Janssen et al 2001, al no hallar asociación entre la edad y el mínimo diámetro del canal óseo en su grupo control, atribuyeron las diferencias halladas en el trabajo de Groessl et al 1997 a la utilización del diámetro anteroposterior para realizar las mediciones, no considerando fiable la medida de dicho diámetro en cortes axiales de TC. Janssen et al 2001 argumentaron que dada la bien conocida asociación positiva entre la edad y la PANDO, su hallazgo parecía más plausible que un ensanchamiento del canal óseo con la edad. Sin embargo, el trabajo de Shigeta 2007, al ser un estudio en cadáveres no se ve afectado por este tipo de error, y también hallan esta asociación positiva entre la edad y el diámetro del canal nasolagrimal óseo.

Otros autores no hallaron relación entre la edad y el diámetro del conducto (Fasina O, 2013) (Wilhelm KE, 2009), o entre la edad y la longitud del canal (Ramey NA, 2013), o entre la edad y el área mínima (Ramey NA, 2013), o entre la edad y el volumen del canal (Ramey NA, 2013).

En nuestro trabajo, no hemos hallado relación significativa de la edad con el volumen, ni con las áreas seccionales media y mínima, ni con la longitud del canal. Sin embargo la correlación de Pearson de la edad con las áreas medias ortogonales basadas en los ejes polinómicos de 2º, 3º y 4º grado oscila entre 0,12 y 0,30, tanto en el canal derecho como en el izquierdo. Este hallazgo apunta a que con una muestra mayor, las correlaciones de la edad con las áreas basadas en los polinomios podrían salir también significativas. En cualquier caso las

correlaciones serían bajas y la edad podría explicar solo un pequeño porcentaje de la variación del área media ortogonal del canal. Sin embargo, las correlaciones de la edad con las áreas axiales en los canales derecho e izquierdo oscilan en torno a cero. Éste sería otro argumento en contra de la utilización del área axial.

7.4.6. Correlación entre los parámetros del sistema de drenaje lagrimal y la antropometría craneal

Mediciones del cráneo en pacientes con PANDO revelan una alta prevalencia de braquicefalia, que se asocia con canales nasolagrimales más estrechos (Heinonen O, 1920) (Avasthi P, 1971).

En 1930, Gualdi estudió series de bloqueo del conducto nasolagrimal familiar hereditario, y sugirió que este tipo de anomalía se asociaba con índices cefálicos bajos, índices nasales altos y huesos nasales menores de lo normal. Whitnall 1932 afirmó que el curso del sistema de drenaje nasolagrimal se veía influenciado por la forma facial y la anchura nasal del paciente. Narioka et al 2007 hallaron que en el plano sagital, la profundidad nasal se correlacionaba significativamente con la inclinación del conducto nasolagrimal, y con el ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal; y la distancia entre el orificio nasal externo y la apertura inferior del conducto nasolagrimal se correlacionaba significativamente con la inclinación del saco lagrimal y del conducto nasolagrimal. Los autores destacaron como especialmente interesante la fuerte correlación negativa entre la profundidad nasal y el ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal. La anchura nasal, la altura nasal y la longitud nasal presentaron una correlación negativa significativa con la

inclinación del saco lagrimal y con el ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal. Estos hallazgos sugirieron que los valores de profundidad nasal pueden ser predictivos del ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal en el plano sagital (el ángulo gradualmente aumenta a medida que disminuye la profundidad nasal), y que la altura y longitud nasales pueden ser predictivas del ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal en el plano coronal (la inclinación del saco lagrimal y el ángulo saco lagrimal-conducto nasolagrimal aumentaban a medida que la altura, longitud y anchura nasales disminuían) (Narioka J, 2007).

Ruiz Barranco et al 1977 también relacionaron parámetros biométricos faciales con las características del sistema de drenaje lagrimal. Excepto los índices orbitonasal externo-externo, orbitonasal externo-interno, orbitonasal interno-externo y orbitonasal interno-interno, que son mayores en mujeres; la anchura de los canalículos (su diámetro transversal a unos 2 mm de su unión para formar el común), que no es constante en ambos sexos; y la angulación canalicular (ángulo que forman sus ejes longitudinales), con medidas prácticamente iguales en ambos sexos, los autores observaron que el resto de las medidas eran mayores en hombres que en mujeres: longitud de la nariz (desde el punto medio del entrecejo a la punta), línea biectoconca (une los dos ángulos externos de los párpados), línea vertical media, línea interorbitaria externa (une el borde externo de las órbitas), línea interorbitaria interna (une el borde interno de las órbitas), anchura máxima de la mandíbula (parte más ancha de las ramas mandibulares) y anchura máxima del frontal (parte más ancha del mismo a 4 cm del reborde orbitario), longitud del saco lagrimal (desde el vértice de la cúpula hasta el punto de unión con el canal lagrimonasal), anchura del saco lagrimal (diámetro

transversal), longitud del canal lagrimonasal (desde su punto de unión con el saco a su desembocadura en el meato nasal), y anchura del canal lagrimonasal (diámetro transversal en proyección anteroposterior) -en caso de que hubiese dilataciones o estrecheces, tomaron la medida del diámetro mayor y del menor e hicieron la media-, ángulo del canal lagrimonasal con el saco lagrimal y ángulo del canal lagrimonasal con la línea sagital (ángulo que forma la prolongación del eje longitudinal del canal lagrimonasal con la línea sagital). La angulación del canal lagrimonasal-saco fue mayor en hombres, con más tendencia a acercarse a los 180°. Los autores hallaron una correspondencia de tamaño entre las medidas craneales y las de las vías lagrimales: a mayor tamaño del cráneo, mayor tamaño de las vías lagrimales. El ángulo canal lagrimonasal-línea sagital es el único parámetro en el que no hallaron relación con la edad, ni con el sexo, ni con las medidas de las estructuras craneales.

Yong et al 2014 hallaron una asociación significativa del espesor de la cresta lagrimal anterior con el diámetro mínimo del conducto nasolagrimal. Se observó que cuanto mayor era el diámetro del conducto nasolagrimal, más gruesa es la cresta lagrimal anterior. Además, un mayor diámetro del conducto nasolagrimal se correlacionaba con una significativamente mayor distancia entre las suturas frontozigomáticas, lo que sugería que las razas caucásicas y las razas del sur de Asia, con caras más estrechas, tenían conductos nasolagrimales más estrechos que las razas del sudeste asiático. También hallaron una asociación significativa del espesor de la cresta lagrimal anterior con la distancia entre suturas frontozigomáticas y con el ángulo frontonasal.

Las diferencias halladas entre hombres y mujeres pueden atribuirse a las estructuras medifaciales más grandes en los hombres. En hombres adultos la distancia intercantal media es 33,3 mm mientras que en mujeres es 31,8 mm (Farkas LG, 1994).

Varios autores han hallado diámetros del conducto nasolagrimal óseo menores en mujeres (Groessl SA, 1997) (Janssen AG, 2001) (Wladis EJ, 2005) (Shigeta K, 2007) (McCormick A, 2009) (Fasina O, 2013) (Takahashi Y, 2011) (Takahashi Y, 2014), menor longitud del canal en mujeres (Wladis EJ, 2005) (Ramey NA, 2013), área seccional del canal más pequeña en mujeres (Shigeta K, 2007), y menor volumen del canal en mujeres (Ramey NA, 2013) (Estes JL, 2015). Sin embargo, solo un trabajo ha examinado previamente diferencias de género en el área de entrada del canal nasolagrimal en cadáveres (Post RH, 1969). En este trabajo, se hallaron tamaños significativamente menores en mujeres caucásicas que en hombres caucásicos en menores de 50 años, mientras que en mayores no se hallaron diferencias significativas.

Algunos autores no hallaron sin embargo diferencias significativas entre ambos sexos en los diámetros anteroposteriores (Siricki A, 2001) (Takahashi Y, 2011) (Ramey NA, 2013). Ramey et al 2013 no hallaron diferencias estadísticamente significativas en el área mínima media ni en el diámetro mínimo medio del canal entre hombres y mujeres. Tampoco Siricki et al 2001 hallaron diferencia estadísticamente significativa en el diámetro coronal medio entre hombres y mujeres.

En nuestro trabajo no se ha hallado asociación significativa entre la PANDO y el sexo (test de probabilidad exacta de Fisher $p=0,09$), aunque esto podría atribuirse al tamaño muestral. Los hombres presentaron una distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios significativamente mayor que las mujeres (87,56 mm y 82,40 mm, respectivamente, $t(32)=3,43$, $p =0,002$). Además, en consonancia con este hallazgo se ha detectado una fuerte correlación entre la distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios y el sexo: $r_{bp}=0,52$ ($p=0,002$).

7.4.7. Etiología multifactorial de la PANDO

Un cambio en el diámetro del lumen del conducto nasolagrimal influye en la resistencia al flujo lagrimal (Lee H, 2012). La fórmula de resistencia al flujo en un tubo $=8\eta L (\pi r^4)$ no es aplicable a un conducto in vivo tapizado de mucosa, pero sugiere que pequeños cambios en el diámetro pueden influir en el flujo y producir obstrucción (McCormick A, 2009).

La entrada del canal nasolagrimal óseo es, por naturaleza, donde el lumen de la mucosa del conducto lagrimal se estrecha (Sasaki T, 2005). Esto es debido a que el conducto nasolagrimal se halla limitado en el canal óseo, y el cuerpo cavernoso del conducto nasolagrimal está más desarrollado y engrosado que el de la pared del saco lagrimal (Narioka J, 2006). Aunque la entrada ósea aumenta con la edad (Francisco FC, 2007), una combinación de factores contribuyentes contrarrestan el ensanchamiento pudiendo aumentar la prevalencia de PANDO en mujeres mayores (Groessl SA, 1997).

Estudios previos han examinado el diámetro mínimo del conducto nasolagrimal, encontrando un menor diámetro en las mujeres que en los hombres, lo que se ha propuesto como una posible etiología de la PANDO debido a la mayor incidencia en mujeres (Groessl SA, 1997) (Janssen AG, 2001) (Shigeta K, 2007) (Takahashi Y, 2011) (Takahashi Y, 2013).

Janssen et al 2001 afirma que aunque el diámetro medio mínimo del canal óseo en los pacientes con epífora (3,0 mm) fue significativamente más pequeño que en el grupo control (3,5 mm), se debe tener en cuenta que el rango de diámetros hallado en el grupo control (1,5-6,3) muestra un solapamiento completo con el rango hallado en el grupo con epífora (2-4,2). Los autores interpretan que este solapamiento indica que un menor diámetro del canal óseo no es el único factor etiológico en la PANDO.

No solo el diámetro, sino el ángulo del canal nasolagrimal óseo con el suelo nasal también puede desempeñar un papel importante en la aparición de obstrucción del conducto nasolagrimal (Yong AM, 2014). Esto es evidente en el trabajo realizado por Takahashi et al 2013, que encontró que una mayor inclinación del conducto nasolagrimal puede causar estasis del flujo lagrimal resultando en la obstrucción del mismo. En mujeres puede producirse estasis del fluido lagrimal e infecciones desde la cavidad nasal, dado que el canal nasolagrimal óseo es más horizontal con respecto al suelo nasal y más estrecho que en hombres. En otras palabras, la mayor estrechez del canal nasolagrimal óseo y el ángulo agudo entre el canal óseo y el suelo nasal predisponen a la inflamación crónica del sistema de drenaje nasolagrimal en mujeres (Shigeta K, 2007).

Además del diámetro y del ángulo del canal con el suelo nasal, el trabajo de Takahashi et al 2014 mostró que el canal de tipo embudo tendía a ser más común en las mujeres y en los pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal, lo que indica que este tipo de canal puede aumentar la incidencia de obstrucción del conducto nasolagrimal en las mujeres.

Podría ser que en sujetos más jóvenes existiese un menor diámetro del conducto que propiciase la obstrucción, tomando más relevancia en individuos mayores otros factores etiopatogénicos, sobre todo en mujeres en las que los cambios postmenopáusicos se asocian con un aumento del canal (Estes JL, 2015).

Aun habiéndose demostrado, tanto en nuestro trabajo como en trabajos anteriores, diferencias en las dimensiones del canal nasolagrimal óseo entre los pacientes con PANDO y los controles, permanece sin aclarar si estas diferencias son causa o consecuencia de la PANDO (Estes JL, 2015). En base a los datos disponibles, no se puede descartar que una alteración en las dimensiones del canal óseo pudiera ser un factor causal más, dentro del perfil fisiopatológico complejo y multifactorial de la PANDO.

7.4.8. Congruencia de nuestros resultados con los de trabajos anteriores

La diferencia en las mediciones entre los distintos trabajos puede deberse a las distintas metodologías de trabajo y de medición, a las distintas técnicas de imagen, y a los errores analizados previamente.

7.4.8.1. Longitud del canal nasolagrimal

Nuestros resultados, 14,59 mm con el método polinómico de grado 3, y 14,93 mm con el método polinómico de grado 4, son algo mayores que los resultados de los trabajos anteriores: 10 mm (Truchot P, 1953); 11,2 mm (rango 6-21 mm) (Groell R, 1997); 12,3 mm en hombres y 10,8 mm en mujeres (Ramey NA, 2013). Esto puede ser debido a que, como se ha expuesto anteriormente, los métodos axial (Groell R, 1997) y de extremo a extremo (Ramey NA, 2013) infraestiman la longitud del canal (fig. 21). La discordancia con Truchot et al 1953 también puede ser debida a diferencias en el marcado de los límites superior e inferior del canal, puesto que los autores no definen cómo determinan el límite inferior.

Por el contrario, Saxena 1984 halló una longitud media mayor de los canales derecho e izquierdo (2,152 cm y 2,390 cm, respectivamente). Esta diferencia puede derivarse también de variabilidad en el punto que se toma como límite inferior de forma manual (con un cable flexible que se enganchara al cornete inferior).

Nuestros resultados están en concordancia con el trabajo en cadáveres de Tao et al 2014, que hallaron una longitud media del canal nasolagrimal óseo de 13,40 mm.

Mediante ANOVA, hemos hallamos que el canal nasolagrimal en pacientes es solo 0,45 mm más corto que en el grupo control, no siendo esta diferencia estadísticamente significativa.

7.4.8.2. Área seccional media del canal

El área seccional media obtenida con los métodos polinómicos de tercer grado ($13,15 \text{ mm}^2$) y 4º grado ($13,06 \text{ mm}^2$), concuerda en general con lo esperado con los datos previamente publicados. Es importante reseñar que en trabajos previos no se ha realizado una medición del área media de todos los cortes del canal como en este trabajo, sino que se han limitado a uno o varios niveles.

Tao et al 2014 midieron el área seccional a tres niveles y sus resultados fueron: $29,04 \pm 3,40 \text{ mm}^2$ en la apertura superior del canal; $26,19 \pm 2,96 \text{ mm}^2$ en la parte media del canal; y $43,50 \pm 5,60 \text{ mm}^2$ en la apertura inferior del canal. Los mayores valores podrían deberse a que se trata de sujetos de raza asiática.

En general, las áreas halladas en trabajos previos son mayores debido a la sobreestimación derivada de las mediciones axiales (Truchot P, 1953) (Phillips CI, 1956) (Kesavachar KR, 1958) (Shukla B, 1965) (Shigeta K, 2007) (Lee H, 2012). Los cuatro primeros realizaron mediciones en radiografía convencional y los dos últimos en TC. El área seccional media que hemos obtenido mediante el método axial es $21,88 \text{ mm}^2$, que se aproxima al área seccional hallada por estos autores.

Phillips et al 1956, Shukla et al 1965 y Kesavachar 1958 midieron las áreas a la entrada del canal. Phillips et al 1956 hallaron un área de entrada al canal media en los controles de $24,35 \text{ mm}^2$, y en el grupo de pacientes de $23,1 \text{ mm}^2$ en el lado con epífora y $22,16 \text{ mm}^2$ en el lado sin epífora. Son concordantes los resultados de Shukla et al 1965, que hallaron un área media de entrada del canal en los controles de $23,6 \text{ mm}^2$: (en el lado derecho $22,0 \text{ mm}^2$ y en el lado izquierdo $25,2 \text{ mm}^2$), y en los casos bilaterales de dacriocistitis crónica $22,7 \text{ mm}^2$. En los casos

de estenosis unilateral, la media en el lado afectado fue $22,6 \text{ mm}^2$ y en el lado no afectado $24,3 \text{ mm}^2$. Kesavachar 1958 obtuvo unas áreas mayores que en los trabajos anteriores: el área media de las entradas de los controles fue $32,60 \text{ mm}^2$, y el área media de las entradas de los pacientes fue $25,78 \text{ mm}^2$.

Shigeta et al 2007 y Lee et al 2012 realizaron las mediciones a nivel del reborde orbitario inferior. Shigeta et al 2007 midió un área seccional media de $22,6 \text{ mm}^2$; lado derecho $22,5 \text{ mm}^2$ y lado izquierdo $22,6 \text{ mm}^2$; hombres $23,6 \text{ mm}^2$ y mujeres $20,6 \text{ mm}^2$. El área seccional medida por Lee et al 2012 fue $24,1 \text{ mm}^2$ ($24,2 \text{ mm}^2$ en hombres y 24 mm^2 en mujeres).

En nuestro trabajo, la diferencia que hemos hallado entre las áreas seccionales medias de los grupos de pacientes y controles es $3,66 \text{ mm}^2$, siendo significativamente mayor en sujetos con obstrucción que en los controles. Tal diferencia significativa no se detecta con las mismas pruebas estadísticas cuando el área seccional se mide mediante el más tradicional método axial; realizando la medición con dicho método, la diferencia es solo $0,41 \text{ mm}^2$ y no es significativa. Esta falta de sensibilidad demostrada por el método axial favorece la elección del método polinómico para las mediciones del área del canal nasolagrimal.

7.4.8.3. Área seccional mínima del canal

El área seccional mínima obtenida con los métodos polinómicos de tercer grado y de 4º grado es $8,65 \text{ mm}^2$ y $8,45 \text{ mm}^2$, respectivamente.

Kesavachar 1958 midió en los controles un área mínima de $16,5 \text{ mm}^2$, y en los ojos con epífora el área mínima fue $11,25 \text{ mm}^2$. El área mínima media hallada posteriormente por Ramey et al 2013 fue 16 mm^2 en hombres y $14,8 \text{ mm}^2$ en mujeres; $16,3 \text{ mm}^2$ en negros y $14,8 \text{ mm}^2$ en caucásicos; y $13,9 \text{ mm}^2$ en los jóvenes y $16,6 \text{ mm}^2$ en los mayores.

Nuestros resultados son menores debido a la sobreestimación derivada de las mediciones axiales (Kesavachar KR, 1958). Las diferencias con los resultados de Ramey et al 2013 pueden ser debidas en parte a la aproximación de la sección irregular del canal mediante una elipse.

Los resultados del área seccional mínima son consistentes con los hallados previamente al evaluar el área seccional media, mostrando una vez más el fuerte sesgo del tradicional método axial, que sobreestima las áreas seccionales. Además, las diferencias estadísticamente significativas halladas entre las medias de las áreas mínimas de los pacientes con obstrucción lagrimal y los controles cuando las mediciones se hicieron con el método basado en el polinomio cúbico, no se encuentran cuando la medición se hace con el método axial. Con el método axial la diferencia entre el grupo de pacientes y el de controles es solo de $0,06 \text{ mm}^2$ y no es significativa. Todo lo anterior lleva a la conclusión a favor de evaluar las áreas seccionales mediante el método basado en el modelo polinómico de tercer grado del eje del canal nasolagrimal.

7.4.8.4. Volumen del canal

En nuestro conocimiento, solo otros dos trabajos han realizado mediciones del volumen del canal nasolagrimal óseo, uno de ellos limitándose a sujetos normales (Ramey NA, 2013), y el otro comparando un grupo de pacientes con obstrucción lagrimal con un grupo control (Estes JL, 2015).

Ramey et al 2013 estudiaron las características 3-D del conducto en sujetos normales, no hallando diferencia en el diámetro ni el volumen entre los grupos de distinta edad, género o raza. Al centrarse en una población normal, de sus resultados no se puede inferir ninguna conclusión sobre la anatomía de los pacientes con obstrucción del conducto nasolagrimal. Posteriormente, Estes et al 2015 realizaron reconstrucciones 3-D del canal nasolagrimal y mediciones de volumen, aunque dichas mediciones se realizaron de forma manual. En ninguno de estos trabajos la segmentación se realiza de forma automática, por lo que ambos están sujetos a errores derivados de las mediciones manuales.

El volumen que hemos hallado es de $215,19 \text{ mm}^3$ en los controles y $242,85 \text{ mm}^3$ en los pacientes. Estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Quizás podrían haberlo sido con un mayor tamaño muestral. Los primeros autores en medirlo fueron Ramey et al 2013, hallando un volumen medio algo mayor ($296,7 \text{ mm}^3$) en su submuestra de raza caucásica, que es la que sería comparable a nuestro trabajo. La diferencia con nuestros resultados podría explicarse porque El Vitrea Imaging Package del Vitrea Enterprise Suite Workstation (Vital Images, Inc., Minnetonka, MN, U.S.A.) utilizado por los autores asume que la sección del canal es elíptica, lo cual puede distorsionar sus mediciones de áreas y de

volúmenes. También puede influir en estas diferencias el marcado del límite inferior del canal, dado que los autores no especifican más allá de límite distal en el meato inferior.

Los resultados de Estes et al 2015 se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. Volumen de los canales nasolagrimales (tomado de Estes et al 2015)

Demographics and mean volume measurements of nasolacrimal ducts in patients and controls			
	Patients (cm ³) [range]	Controls (cm ³) [range]	Significance: <i>p</i>
Age (mean)	71.3±8.5 [60–93]	71.1±7.8 [60–88]	0.93
OU	0.411±0.18 [0.174–1.052]	0.380±0.13 [0.207–0.798]	0.23
OD	0.418±0.18 [0.197–1.052]	0.377±0.11 [0.222–0.710]	0.27
OS	0.405±0.17 [0.174–0.934]	0.383±0.14 [0.207–0.798]	0.56
Males	0.470±0.23 [0.200–1.052]	0.493±0.14 [0.317–0.798]	0.70
Females	0.384±0.13 [0.174–0.796]	0.328±0.08 [0.207–0.501]	0.01
Significance	<i>p</i> = 0.13	<i>p</i> < 0.0001	
Males—all		0.482±0.19 [0.200–1.052]	
Females—all		0.356±0.11 [0.174–0.796]	<i>p</i> < 0.001
Obstructed eye	0.407±0.19 [0.174–1.052]	0.390±0.13 [0.207–0.798]	0.53

p values: unpaired Student *t* test.

En el trabajo de Estes et al 2015, los sujetos con obstrucción y los controles tenían más de 60 años (edad media en controles 71,1 años, y en pacientes 71,3 años) en el momento de la prueba de imagen. La población no es equiparable a la de nuestro trabajo, en el cual la edad media fue de 56,71 años (65,69 años en los pacientes y 48,72 años en los controles). La mayor edad de los pacientes y controles podría explicar los mayores valores (Groessler SA, 1997) (Shigeta K, 2007) (Francisco FC 2007) encontrados por los autores con respecto a nuestros resultados. Estes et al 2015 no especifican en qué raza han realizado el trabajo. Los autores definieron superiormente el límite del conducto nasolagrimal como la entrada del saco lagrimal en el canal óseo en la unión entre el proceso frontal del maxilar y el hueso lagrimal, pero no especifican en qué punto de la dirección

craneocaudal de dicha unión. El límite inferior lo definieron como la salida del conducto en el meato inferior en la válvula de Hasner. La TC no permite una definición tan precisa de los tejidos blandos como la RM. Esta imprecisión en el marcado de los límites superior e inferior del canal podría también contribuir a las diferencias con nuestros resultados.

7.5. APORTACIONES DEL TRABAJO

7.5.1. Aportaciones técnicas

- Este trabajo ha demostrado la utilidad de la TC clínica con procedimientos de imagen estándares para obtener reconstrucciones 3-D de conductos nasolagrimales de humanos vivos, y para cuantificar dicha estructura 3-D.
- Se ha encontrado la solución técnica al problema de automatizar la segmentación de los canales lagrimales, que no se había hecho anteriormente.
- Al automatizarse completamente el proceso de medición, se ha ganado en objetividad, sensibilidad, reproducibilidad y rapidez con respecto a otros métodos existentes; y en consecuencia su coste es menor.
- Nuestros resultados prueban la factibilidad de nuestro método automático para realizar las mediciones del canal nasolagrimonal. La

nueva herramienta puede utilizarse para medir con precisión la longitud, el área seccional y el volumen del conducto nasolagrimal.

- Los resultados han demostrado la viabilidad de la segmentación automatizada del canal nasolagrimal en TC y su buena concordancia con la segmentación manual de un radiólogo experto, permitiendo así un análisis preciso, objetivo y con mayor rendimiento que los métodos manuales, de la estructura tridimensional del canal nasolagrimal.

7.5.2. Aportaciones científicas

- Se han aportado y estudiado métodos nuevos para medir el volumen y la longitud del canal nasolagrimal, así como su área seccional axial y ortogonal, basados en la segmentación automática del mismo y en los modelos aportados para el canal y su eje. Los nuevos métodos se han demostrado mejores que los convencionales, por ser más exactos, más objetivos, más rápidos y menos costosos.
- Se ha demostrado que la trayectoria del canal nasolagrimal humano puede ser descrita con una precisión muy alta por un polinomio cúbico. Este modelo ha demostrado además su utilidad, sirviendo de base para los nuevos métodos de medición citados en el párrafo anterior.
- El nuevo método polinómico para evaluar el área seccional ortogonal del canal nasolagrimal presenta varias ventajas sobre el previo método axial: la objetividad, la reproducibilidad, la automatización y el hacer viable la explotación práctica y rutinaria de toda la información

proporcionada por la TC (no únicamente en unos pocos niveles seleccionados), están entre las más relevantes.

- Se han evidenciado y cuantificado algunos problemas inherentes a los métodos en uso. Se ha demostrado que el área seccional obtenida directamente en los cortes axiales de TC sobreestima el área real en torno a un 50%. Análogamente, se ha evidenciado que medir la longitud del canal como la distancia entre sus extremos infraestima su longitud real en torno a un 13%. Se puede afirmar que el área seccional del canal nasolagrimal no debería obtenerse directamente de los cortes axiales, debido a la intensidad del sesgo citado, y que en su lugar se deberían utilizar otros métodos más precisos, como los desarrollados en este trabajo.

7.5.3. Aportaciones clínicas

- La ganancia en velocidad del análisis y medición del canal nasolagrimal es un avance cuantitativo, que se traduce en un avance cualitativo, ya que los estudios que hasta ahora habían estado restringidos a entornos de investigación, podrán realizarse en la clínica de manera rutinaria, barata y repetida.
- Las áreas seccionales medias y mínimas del canal nasolagrimal han sido significativamente mayores en los pacientes con obstrucción que en el grupo control. No se han hallado sin embargo diferencias significativas en la longitud y el volumen del canal entre ambos grupos.

- La utilidad clínica de este método ha sido demostrada al poder éste detectar diferencias significativas entre el grupo con obstrucción lagrimal y los controles en las áreas seccionales media y mínima, que no hubiesen sido detectadas con el método axial en la misma muestra.
- Este método es aplicable en otras regiones anatómicas óseas (trayectos nerviosos y vasculares intraóseos, órbita, senos paranasales, oído interno, conducto auditivo interno...), y por tanto es de utilidad en otras especialidades médicas.
- La nueva metodología se puede aplicar directamente a cualquier estudio tomográfico, independientemente del fabricante de la TC, de la tecnología de adquisición (helicoidal multicorte, etc.), del tamaño de vóxel, del espaciamiento de los cortes y del solapamiento o saltos entre cortes consecutivos.
- El nuevo método podría ser de utilidad en casos de obstrucción complicados con fracasos terapéuticos repetidos en niños.
- La generación de modelos tridimensionales permite obtener una representación realista de canal y al ser modelos específicos abren la puerta a otras aplicaciones como guiado de cirugía robótica o producción de implantes personalizados.

7.6. LIMITACIONES DE NUESTRO TRABAJO

Una de las principales limitaciones de nuestro trabajo es el tamaño muestral. No se realizó ningún cálculo formal de potencia previo al inicio del estudio, sino que el tamaño de la muestra se basó en el número total de pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión para el período de tiempo definido. El escaso tamaño muestral se debe a unos criterios de inclusión muy estrictos, que han restringido la muestra al escaso número de pacientes que los han cumplido, en el período de tiempo determinado (desde el 1 de enero de 2008 al 31 de mayo de 2014). Los numerosos criterios de exclusión, podrían contribuir al hallazgo de diferencias que no habrían sido detectadas con unos criterios de inclusión más laxos, y por tanto con introducción de más sesgos. Esta es la razón de que no se hayan podido obtener muestras homogéneas en cuanto al sexo y a la edad, entre los pacientes y los controles. Creemos que las diferencias entre hombres y mujeres en las dimensiones del canal se deben a mayores estructuras faciales de los hombres. Los hombres de nuestro trabajo tienen una distancia significativamente mayor entre los forámenes cigomático-orbitarios que las mujeres. Sin embargo, no se han hallado diferencias significativas en la distancia entre los forámenes cigomático-orbitarios entre el grupo de pacientes y el de controles. En nuestro trabajo no se ha hallado asociación entre la PANDO y el sexo, aunque esto podría deberse al escaso tamaño muestral.

El objetivo de nuestro trabajo se ha centrado, no en hallar diferencias entre ambos sexos sino diferencias entre pacientes con PANDO y controles sanos. Como se ha expuesto anteriormente, creemos que las diferencias entre ambos sexos son

debidas a las diferentes características antropométricas de hombres y mujeres (Farkas LG, 1994).

Hemos observado una tendencia no significativa, que es sugestiva de un volumen medio más pequeño en los controles que en los pacientes con PANDO. Un mayor tamaño muestral podría haber revelado diferencias significativas en el volumen entre ambos grupos.

Si bien no queda demostrado que nuestro método de medida del canal nasolagrimal en TC sea equivalente a un estudio de cadáver, creemos que se aproxima más que los anteriores trabajos al haber eliminado varias de sus fuentes de error, consiguiendo mayor reproducibilidad, precisión y objetividad, con la ventaja respecto a los estudios de cadáver de que puede realizarse en sujetos vivos. Otra ventaja adicional con respecto a los trabajos en cadáver es la automatización total del método.

Nuestro trabajo fue retrospectivo, con los posibles errores que conlleva este tipo de estudio. Los sesgos de selección pueden ocurrir en cualquier estudio epidemiológico, sin embargo, ocurren con mayor frecuencia en estudios retrospectivos (Hernández-Ávila M, 2008). Un estudio ideal sería longitudinal, y que cada paciente fuese su propio control para determinar quién desarrolla obstrucción y quién no (Estes JL, 2015).

Este trabajo considera únicamente el canal nasolagrimal óseo, y no el tejido blando, que se cita como un sitio de inflamación y posible etiología de la obstrucción (Paulsen FP, 2001) (Estes JL, 2015).

Al igual que en el trabajo de Janssen et al 2001, al poderse incluir en el grupo de pacientes solo a los que se les realizó TC previa podría ser que dichos pacientes no fuesen representativos de la población de pacientes, al ser casos complicados, con anatomías especiales.

7.7. NUEVAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN

- Planteamos la hipótesis de que las diferencias observadas en trabajos previos en las dimensiones del canal nasolagrimal óseo, no solo entre las diferentes razas (Yong AM, 2014), sino también entre ambos sexos, podrían depender de una única variable, que es la diferente antropometría entre los distintos grupos. Esta hipótesis podría ponerse a prueba en futuros trabajos.
- Aun habiéndose demostrado, tanto en nuestro trabajo como en trabajos anteriores, diferencias en las dimensiones del canal nasolagrimal óseo entre los pacientes con obstrucción y los controles, permanece sin aclarar si estas diferencias son causa o consecuencia de la PANDO (Estes JL, 2015) y en base a los datos disponibles no se puede descartar que una alteración en las dimensiones del canal óseo pueda ser un factor causal más, dentro de un perfil fisiopatológico complejo y multifactorial. Futuros trabajos podrían clarificar estas cuestiones. La RM sería una herramienta más útil que la TC para el estudio de las partes blandas del sistema de drenaje lagrimal.

- Con la nueva herramienta podrían estudiarse otras regiones anatómicas.
- La correlación entre las mediciones en cadáver y las mediciones en TC con el método descrito en este trabajo podría ser el objetivo de un futuro trabajo.
- Un trabajo con mayor tamaño muestral podría revelar diferencias significativas en los volúmenes de pacientes y controles.
- Pueden estudiarse otras variables, como la curvatura media y máxima, su ubicación, la excentricidad, el grado de circularidad, la torsión y otros índices morfométricos.

8. CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado la viabilidad de la segmentación automatizada del canal nasolagrimal en TC, lo cual proporciona precisión, objetividad, velocidad y menor coste en las mediciones.
2. Un polinomio cúbico describe con precisión el eje del canal nasolagrimal.
3. Se han definido y validado nuevos métodos, más fiables que los convencionales, para medir el volumen, obtener el área ortogonal por proyección de la axial sobre el plano ortogonal al eje del canal, y calcular el área ortogonal al eje, junto con las magnitudes relacionadas con ella.
4. Se ha desarrollado un método capaz de caracterizar la estructura tridimensional del canal, midiéndose de forma objetiva y automatizada la longitud, el área seccional media, el área seccional mínima y el volumen.
5. Se ha demostrado la relevancia de las nuevas herramientas en la práctica clínica, especialmente en patologías obstructivas.
6. Las áreas seccionales medias y mínimas del canal nasolagrimal han resultado significativamente mayores en los pacientes con obstrucción que en el grupo control.
7. Nuestros resultados claramente invitan a abandonar el método axial para evaluar las áreas seccionales del canal nasolagrimal, y a utilizar

en su lugar métodos basados en los modelos polinómicos de su eje, preferentemente el cúbico.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Amrith S, Goh PS, Wang SC. «Lacrimal sac volume measurement during eyelid closure and opening». *Clin Experiment Ophthalmol*, 35 (2007): 135-9.
- Amrith S, Goh PS, Wang SC. «Tear flow dynamics in the human nasolacrimal ducts: a pilot study using dynamic magnetic resonance imaging». *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 243 (2005): 127-31.
- Aubaret. «Emploi de la radiographie dans la sémiologie des voies lacrymales». *Soc Franç d' Oph*, (1911): 124.
- Avasthi P, Misra RN, Sood AK. «Clinical and anatomic considerations of dacryocystitis». *Int Surg*, 55 (1971): 200-3.
- Ayub M, Thale AB, Hedderich J, Tillmann BN, Paulsen FP. «The cavernous body of the human efferent tear ducts contributes to regulation of tear outflow». *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44 (2003): 4900-7.
- Bailey JH. «Surgical anatomy of the lacrimal sac». *Am J Ophthalmol*, 6 (1923): 665–71.
- Bartley GB. «Acquired lacrimal drainage obstruction: an etiologic classification system, case reports and a review of the literature». Part 1. *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 8 (1992): 237-42.
- Becker BB. «Tricompartiment model of the lacrimal pump mechanism». *Ophthalmology*, 99 (1992): 1139–45.
- Berkefeld J, Kirchner J, Müller HM, Fries U, Kollath J. «Balloon dacryocystoplasty: indications and contraindications». *Radiology*, 205 (1997): 785–90.
- Bourjat P, Veillon F. «Macizo facial normal». En *Tomodensitometría e IRM. Colección de diagnóstico por imagen*. Editado por Masson. Barcelona, 1992 .
- Brunetti. *Atti Cong Ital Radiol Med*, 2(1930):25.
- Burns JA, Morgenstern KE, Cahill KV, Foster JA, Jhiang SM, Kloos RT.

- «Nasolacrimal obstruction secondary to I(131) therapy». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 20 (2004): 126–9.
- Caldemeyer KS, Stockberger SM Jr, Broderick LS. «Topical contrast-enhanced CT and MR dacryocystography: imaging the lacrimal drainage apparatus of healthy volunteers». *Am J Roentgenol*, 171 (1998):1501-4.
- Cassady JV. «Developmental anatomy of nasolacrimal duct». *Arch Ophthal*, 47 (1952): 141.
- Cervelli V, Gravante G, Colicchia GM, Grimaldi M, Bottini DJ, Torcia PL, Garziona F. «Asymptomatic lacrimal flow abnormalities in patients with septal deviations and turbinate hypertrophy». *Aesthetic Plast Surg*, 32 (2008):72-6.
- Clark R. «Aparato lacrimal» En *Diagnóstico por la imagen en oftalmología*. Editado por González CF, Becker MH, Flanagan JC, 77–87. Barcelona: Ediciones Doyma, 1988.
- Clunie, D. «Slice spacing of DICOM series».
<http://public.kitware.com/pipermail/insight-users/2005-September/014711.html>
- Cowen D, Hurwitz JJ. «Anatomy of the lacrimal drainage system». In: Hurwitz JJ, ed. *The Lacrimal System*. Philadelphia, PA: Lippincott-Raven Publishers; 1996: 15-21.
- Dantas RR. «Lacrimal Drainage System Obstruction». *Seminars in Ophthalmology*, 25 (2010): 98–103.
- DeAngelis D, Hurwitz J, Oestreicher J, Howarth D. «The pathogenesis and treatment of lacrimal obstruction: the value of lacrimal sac and bone analysis». *Orbit*, 20 (2001): 163-72.
- de-la-Cuadra-Blanco C, Peces-Peña MD, Jáñez-Escalada L, Mérida-Velasco JR. «Morphogenesis of the human excretory lacrimal system». *J Anat*, 209 (2006): 127-35.
- Detorakis ET, Drakonaki E, Papadaki E, Pallikaris IG, Tsilimbaris MK. «Watery eye following patent external DCR: an MR dacryocystography study». *Orbit*, 29 (2010): 239–43.

- Djambazov K, Yovchev I, Baltadjiev G. «Anatomo-topographic landmarks on the lateral wall of nasal cavity used in endonasal surgery». *Folia Med (Plovdiv)* 41 (1999): 27-32.
- Doane MG. «Blinking and the mechanics of the lacrimal drainage system». *Ophthalmology*, 88 (1981): 844–51.
- Duke-Elder S. «The development, form and function of the visual apparatus». In *Textbook of Ophthalmology*. Vol 1, 235. London, England: Henry Kimpton Publishers, 1946.
- Duke-Elder, S. *Text-book of Ophthalmology*. Vol. 5. London, England: Henry Kimpton Publishers, 1952.
- Duke-Elder WS. «The naso-lacrimal duct». In *Text-Book of Ophthalmology*. Vol. 1. The Development, Form and Function of the Visual Apparatus, 238–9. London, England: Henry Kimpton Publishers, 1932.
- Estes JL, Tsiouris AJ, Christos PJ, Lelli GJ. «Three-dimensional volumetric assessment of the nasolacrimal duct in patients with obstruction». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 31 (2015): 211-4.
- Francisco FC, Pires-Carvalho AC, Torres-Neto G, Murta-Francisco VF, Moreira-de-Souza LA, Celli-Francisco M, Barbosa-da-Fonseca LM, Gutfilen B, Azevedo-de-Mendonça. «Evaluation of the lacrimal system by radiological methods». *Radiol Bras*, 40 (2007): 273–278.
- Fard-Esfahani A, Gholamrezanezhad A, Mirpour S, Tari AS, Saghari M, Beiki D, Sichani BF, Eftekhari M. «Assessment of the accuracy of lacrimal scintigraphy based on a prospective analysis of patients' symptomatology». *Orbit*, 27 (2008): 237–241.
- Farkas LG. «Anthropometry of the Head and Face». 2nd ed, 272-284. New York: Raven Press, 1994.
- Farkas LG, Cheung G. «Facial asymmetry in healthy North American Caucasians. An anthropometrical study». *Angle Orthod*, 51 (1981): 70–7.
- Fasina O, Ogbole GI. «CT assessment of the nasolacrimal canal in a black African

- Population». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 29 (2013): 231-3.
- Fayet B, Racy E, Assouline M, Zerbib M. «Surgical anatomy of the lacrimal fossa a prospective computed tomodensitometry scan analysis». *Ophthalmology*, 112 (2005): 1119-28.
- Feller W. «An introduction to probability theory and its applications». Wiley, 1971.
- Fisch AE, Sondheimer FK. «Evaluation of the nasolacrimal canal in the basal projection». *Radiology*, 118 (1976): 230-1.
- Francis IC, Kappagoda MB, Cole IE, Bank L, Dunn GD. «Computed tomography of the lacrimal drainage system: retrospective study of 107 cases of dacryostenosis». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 15 (1999): 217-26.
- Francisco FC, Carvalho AC, Francisco VF, et al. «Evaluation of 1000 lacrimal ducts by dacryocystography». *Br J Ophthalmol*, 91 (2007):43– 6.
- Freitag SK, Woog JJ, Kousoubris PD, Curtin HD. «Helical computed tomographic dacryocystography with three-dimensional reconstruction: a new view of the lacrimal drainage system». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 18 (2002):121-32.
- Galloway JE, Kavic TA, Raflo GT. «Digital subtraction macrodacryocystography: A new method of lacrimal system imaging». *Ophthalmology*, 91 (1984): 956–62.
- Garcier JM, Napon M, Chiambaretta F, Mofid R, Chahid T, Lipiecka E, Privat C, Ravel A, Boyer L. «Dacryoscanner par instillation sans cathétérisme des voies lacrimales: 39 patients». *J Radiol*, 83 (2002): 1743-7.
- Gökçek A, Argin MA, Altintas AK. «Comparison of failed and successful dacryocystorhinostomy by using computed tomographic dacryocystography findings». *Eur J Ophthalmol*. 2005;15(5):523–529.
- Gonzalez RC, Woods RE. «Digital Image Processing» 2nd Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002
- Groell R, Schaffler GJ, Uggowitz M, Szolar DH, Muellner K. «CT-anatomy of the nasolacrimal sac and duct». *Surg Radiol Anat*, 19 (1997): 189-91.
- Groessl SA, Sires BS, Lemke BN. «An anatomical basis for primary acquired nasolacrimal duct obstruction». *Arch Ophthalmol*, 115 (1997):71-4.

- Haahr M. «True Random Number Service», <http://www.random.org>. (2014).
- Habesoglu M, Eriman M, Habesoglu TE, Kinis V, Surmeli M, Deveci I, Deveci S. «Co-occurrence and possible role of sinonasal anomalies in primary acquired nasolacrimal duct obstruction». *J Craniofac Surg*, 24 (2013):497-500.
- Hähnel S, Jansen O, Zake S, Sartor K. «Der Wert der Spiral-CT zur Diagnose von Stenosen der ableitenden Tränenwege». *Röfo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr*, 163 (1995):210–4.
- Heinonen O. «Klinische Untersuchungen über die Bedeutung der Nasenkrankheiten und einigen disponierenden Momenten in der Aetiologie der Dakrystenose». *Klin Monatsbl Augenheilkd*, 65 (1920):601.
- Herman GT. «Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections» In *Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*, 2nd ed, 312. NewYork: Springer, 2009.
- Hernandez-Ávila, M, Garrigo MC, Francisco-y-Salazar-Martínez, E. «Sesgos en estudios epidemiológicos». *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 46 (2008).
- Hu MK «Visual Pattern Recognition by Moment Invariants». Vol. IT-8, 179. *IEEE Transactions on information theory*, 1962.
- Huertas A, Medioni G. «Detection of Intensity Changes with Subpixel Accuracy Using Laplacian-Gaussian Masks». Vol. PAMI-8, 5. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986.
- Hurwitz JJ. «The lacrimal system». Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 1996.
- Hurwitz JJ, Pavlin CJ, Rhemtulla E-K. «Identification of retained intracanalicular plugs with ultrasound biomicroscopy». *Can J Ophthalmol*, 39 (2004): 533-7.
- Hyde KJ, Berger ST. «Epidemic keratoconjunctivitis and lacrimal excretory system obstruction». *Ophthalmology*, 95 (1988): 1447-9.
- Ipek E, Esin K, Amac K, Mustafa G, Candan A. «Morphological and morphometric evaluation of lacrimal groove». *Anat Sci Int*, 82 (2007): 207-10.
- Janssen AG. «Imaging and interventional procedures for the lacrimal duct

- system». In Mukherji SK, Castelijns JA. *Modern Head and Neck Imaging*, 214. Berlin: Springer, 1999.
- Janssen AG, Mansour K, Bos JJ, Castelijns JA. «Diameter of the bony lacrimal canal: normal values and values related to nasolacrimal duct obstruction: assessment with CT». *Am J Neuroradiol*, 22 (2001): 845–50.
- Jedrzyński MS, Bullock JD. «Lacrimal ultrasonography». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 10 (1994):114-20.
- Jones LT. «An anatomical approach to problems of the eyelids and lacrimal apparatus». *Arch Ophthalmol*, 66 (1961): 111-24.
- Jones LT. «The lacrimal apparatus: practical fundamentals of anatomy and physiology». *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*, 62 (1958): 669–78.
- Kahn DM, Shaw RB Jr. «Aging of the Bony Orbit: A Three-Dimensional Computed Tomographic Study». *Aesthet Surg J*, 28 (2008): 258-64.
- Kallman JE, Foster JA, Wulc AE, Yousem DM, Kennedy DW. «Computed tomography in lacrimal outflow obstruction». *Ophthalmology*, 104 (1997): 676-82.
- Karagülle T, Erden A, Erden I, Zilelioğlu G. «Nasolacrimal system: evaluation with gadolinium-enhanced MR dacryocystography with a three-dimensional fast spoiled gradient-recalled technique». *Eur Radiol*, 12 (2002): 2343-8.
- Kashkouli MB, Sadeghipour A, Kaghazkanani R, Bayat A, Pakdel F, Aghai GH. «Pathogenesis of primary acquired nasolacrimal duct obstruction». *Orbit*, 29 (2010): 11–5.
- Kassel EE, Schatz CJ. «Lacrimal apparatus». In: Som PM, Curtin HD. *Head and neck imaging*, 3rd ed, 1129–83. Saint Louis: Mosby, 1995.
- Kemeny-Beke A, Szabados L, Barna S, Varga J, Galuska L, Kettesy B, Gesztelyi R, Juhasz B, Toth L, Berta A, Garai I. «Simultaneous dacryocystography and dacryoscintigraphy using SPECT/CT in the diagnosis of nasolacrimal duct obstruction». *Clin Nucl Med*, 32 (2012): 609-10.
- Kesavachar KR. «The bony naso lacrymal canal in epiphoric eyes». *Indian J*

- Ophthalmol, 6 (1958): 61-3.
- Knop E, Knop N. «Lacrimal drainage-associated lymphoid tissue (LDALT): a part of the human mucosal immune system». Invest Ophthalmol Vis Sci, 42 (2001): 566-74.
- Kopylow «Roentgenpraxis». 2 (1930): 686.
- Kumar GC, Kumar A, Nayak SR, Krishnamurthy A, D'Costa S, Ramanathan L. «Morphology of the lacrimal sac and nasolacrimal duct in adult human cadaver». Bratisl Lek Listy, 110 (2009): 740-3.
- Lee H, Ha S, Lee Y, Park M, Baek S. «Anatomical and morphometric study of the bony nasolacrimal canal using computed tomography». Ophthalmologica, 227 (2012):153-9.
- Lee-Wing MW, Ashenurst ME. «Clinicopathologic analysis of 166 patients with primary acquired nasolacrimal duct obstruction». Ophthalmology, 108 (2001): 2038-40.
- Lee MJ, Kyung HS, Han MH, Choung HK, Kim NJ, Khwarg S. «Evaluation of lacrimal tear drainage mechanism using dynamic fluoroscopic dacryocystography». Ophthal Plast Reconstr Surg, 27 (2011):164-7.
- Lefebvre DR, Freitag SK. «Update on imaging of the lacrimal drainage system». Semin Ophthalmol, 27 (2012):175-86.
- Levine MD. «Shape» Chapter 10. In Vision In Man And Machine. New York: McGraw-Hill, 1985.
- Levine RA. «Orbital ultrasonography». Radiol Clin North Am, 25 (1987): 447
- Linberg JV, McCormick SA. «Primary acquired nasolacrimal duct obstruction: a clinicopathologic report and biopsy technique». Ophthalmology, 93 (1986):1055-63.
- Linberg JV, Moore CA. «Symptoms of canalicular obstruction». Ophthalmology, 95 (1988):1077-9.
- Loftus WK, Kew J, Metreweli C. «Nasolacrimal duct opacity on CT». Br J Radiol, 69 (1996): 630-1.

- Lowe JM, Brennan PC, Evanoff MG, McEntee MF. «Variations in performance of LCDs are still evident after DICOM gray-scale standard display calibration». *Am J Roentgenol*, 195 (2010):181-7.
- Lüchtenberg M, Kuhli C, du-Mesnil-de-Rochemont R, Yan B, Ohrloff C, Berkefeld J. «Three-Dimensional Rotational Dacryocystography for Imaging of the Lacrimal Draining System and Adjacent Anatomical Structures». *Ophthalmologica*, 219 (2005):136-41.
- Maatman G. «High-Resolution Computed Tomography of the Paranasal Sinuses and Pharynx and Related Regions». New York: Springer Science & Business Media, 1986
- Mackenzie W. «A practical treatise on the diseases of the eye», In: Duke-Elder System of Ophthalmology 3rd ed. Vol XII. London, England: Henry Kimpton Publishers, (1840)
- Manfrè L, de-Maria M, Todaro E, Mangiameli A, Ponte F, Lagalla R. «MR dacryocystography: comparison with dacryocystography and CT dacryocystography». *Am J Neuroradiol*, 21: (2000): 1145-50.
- Mannor GE, Millam AL. «The prognostic value of preoperative dacryocystography in endoscopic intranasal dacryocystorhinostomy». *Am J Ophthalmol*, 113 (1992): 134-7.
- McCormick A, Sloan B. «The diameter of the nasolacrimal canal measured by computed tomography: gender and racial differences». *Clin Experiment Ophthalmol*, 37 (2009): 357-61.
- Melanová J. «Diverticulum of the lacrimal sac». *Cesk Oftalmol*, 25 (1969): 47-8.
- Meller J «Diseases of the lacrimal apparatus». *Trans Ophth Soc UK*, 49 (1929): 233-311.
- Miracle AC, Mukherji SK. Conebeam «CT of the head and neck, part 2: clinical applications». *Am J Neuroradiol*, 30 (2009):1285–92
- Murube del Castillo J. «Dacriología básica», Ponencia oficial de la Sociedad Española de Oftalmología, Las Palmas (1981): 287-293.

- Nadas S, Duvoisin B, Raimondi S, Schnyder P. «Radiation doses delivered to the critical organs during radiological studies of chronic sinusitis. Comparison between TDM and standard radiographies». *J Radiol*, 75 (1994):217-9.
- Narioka J, Matsuda S, Ohashi Y. «Correlation between anthropometric facial features and characteristics of nasolacrimal drainage system in connection to false passage». *Clin Experiment Ophthalmol*, 35 (2007):651-6.
- Narioka J, Ohashi Y. «Changes in lumen width of nasolacrimal drainage system after adrenergic and cholinergic stimulation». *Am J Ophthalmol*, 141 (2006): 689–98.
- Narioka J, Ohashi Y. «Dacryocystography with nasolacrimal probing under fluoroscopic guidance for treatment of congenital dacryocystocele». *J AAPOS*, 12 (2008): 299-301.
- Narioka J, Ohashi Y. «Effects of adrenergic and cholinergic antagonists on diameter of nasolacrimal drainage system». *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 245 (2007): 1843-50.
- Nazinar AM, Silva EA, Ammann JJ. «Image Processing for Particle Characterization». *Materials Characterization*, 36 (1996): 165-73.
- Nema HV, Nema N. «Text book of ophthalmology: Diseases of lacrimal apparatus», 4th Edition, Jaypee Brothers
- Novelline RA. «Squire's Fundamentals of Radiology», 6th ed, 660. Boston, MA: Harvard University Press, 2004.
- Paulsen FP, Thale AB, Hallmann UJ, Schaudig U, Tillmann BN. «The cavernous body of the human efferent tear ducts: function in tear outflow mechanism». *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 41 (2000):965-70.
- Paulsen F, Thale A, Kohla G, Schauer R, Rochels R, Parwaresch R, Tillmann B. «Functional anatomy of human lacrimal duct epithelium». *Anat Embryol (Berl)*, 198 (1998): 1-12.
- Paulsen FP, Thale AB, Maune S, Tillmann BN. «New insights into the pathophysiology of primary acquired dacryostenosis». *Ophthalmology*, 108

(2001): 2329-36.

Peter NM, Pearson AR. «External dacryocystorhinostomy for the treatment of epiphora in patients with patent but non-functioning lacrimal systems». *Br J Ophthalmol*, 94 (2010): 233-5.

Phillips CI, George M. «Epiphora and the bony naso-lacrimal canal». *Br J Ophthalmol*, 40 (1956): 673-80.

Post RH. «Population differences in tear duct size. Implications of relaxed selection». *Soc Biol*, 16 (1969): 257-69.

Post RH. «Tear duct size differences of age, sex and race». *Am J Phys Anthropol*, 30 (1969): 85-8.

Potter GD. «Tomography of the orbit». *Radiol Clin North Am*, 10 (1972): 21-38.

Prabhu LV, Kumar A. «The functional anatomy of the lacrimal sac: a reassessment». *Kar J Ophthalmol*, 20 (2003): 26-7.

Pratt WK. «Digital Image Processing». New York: John Wiley & Sons Inc, 1991.

Ramey NA, Hoang JK, Richard MJ. «Multidetector CT of nasolacrimal canal morphology: normal variation by age, gender and race». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 29 (2013): 475-80.

Rheeman CH, Meyer DR. «Enlargement of the nasolacrimal canal in the absence of neoplasia». *Ophthalmology*, 105 (1998):1498-503.

Rice CD, Kersten RC. «Absence of chlamydia in trachomatous lacrimal sacs». *Am J Ophthalmol*, 105 (1988): 203-6

Rosengren B. «On lacrimal drainage». *Ophthalmologica*, 164 (1972): 409–21.

Roussos J, Bouza A. «Essai d' explication par des facteurs hormonaux de la grande fréquence d'apparition de dacryocystite chronique chez les femmes plutôt que chez les hommes». *Bull Mem Soc Fr Ophtalmol* (1973): 96-9.

Rouvière H, Delmas A. «Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. Tomo I. Cabeza y cuello». 10ª edición. Barcelona: Masson, 1999.

Rubin PA, Bilyk JR, Shore JW, Sutula FC, Cheng HM. «Magnetic resonance

- imaging of the lacrimal drainage system». *Ophthalmology*, 101 (1994): 235-43.
- Ruiz-Barranco F. «Citología de la vía lagrimal». *Arch Soc Oftal Hisp-Amer*, 28 (1968): 115-26.
- Ruiz-Barranco F, Quiles Morilla A. «Estudio radiológico de las vías lacrimales: características, diferencias entre ambos sexos, y parámetros que influyen en la patogenia de las dacriostenosis». *Arch Soc Canar Oftal*, 2 (1977): 61-82.
- Ruiz Barranco F, Martínez Román J. «Patogenia de las dacriocistitis. Papel del conducto nasal». *Arch Soc Oftal Hisp-Amer*, 26 (1966):113-25.
- Russell EJ, Czervionke L, Huckman M, Daniels D, McLachlan D. «CT of the inferomedial orbit and the lacrimal drainage apparatus: normal and pathologic anatomy». *Am J Roentgenol*, 145 (1985):1147-54.
- Saleh GM, Gauba V, Tsangaris P, Tharmaseelan K. «Digital subtraction dacryocystography and syringing in the management of epiphora». *Orbit*, 26 (2007): 249-53.
- Sakahara H, Yamashita S, Suzuki K, Imai M, Kosugi T. «Visualization of nasolacrimal drainage system after radioiodine therapy in patients with thyroid cancer». *Ann Nucl Med*, 21 (2007): 525–7.
- Samei E et al. «Assessment of display performance for medical imaging systems: Executive summary of AAPM TG18 report». *Medical Physics*, 32 (2005).
- Santos-Fernandez J. «The measurement of the nasal canal according to the race». *Am J Ophthalmol*, 4 (1921): 32-7.
- Sarrabezolles. «Étude des voies lacrymales normales et pathologiques par la radiographie». Thèse Bordeaux, 1928
- Sasaki T, Nagata Y, Sugiyama K. «Nasolacrimal duct obstruction classified by dacryoendoscopy and treated with inferior meatal dacryorhinotomy. Part I: positional diagnosis of primary nasolacrimal duct obstruction with dacryoendoscope». *Am J Ophthalmol*, 140 (2005): 1065–9.
- Sasaki T, Nagata Y, Sugiyama K. «Nasolacrimal duct obstruction classified by dacryoendoscopy and treated with inferior meatal dacryorhinotomy: Part II.

- Inferior meatal dacryorhinotomy». *Am J Ophthalmol*, 140 (2005): 1070-4.
- Saxena SK. «A study of nasolacrimal canal in crania from Uttar Pradesh (India)». *Anthropol Anz*, 42 (1984): 265-9.
- Schaeffer JP. «Types of ostia nasolacrimalis in man and their genetic significance». *Amer J Anat*, 13 (1912):183-92.
- Schatz CS. «Dacryocystography». In Bergeron RT, Osborn AG, Som PM. *Head and neck imaging*. 1st ed, 669–680. St. Louis, MO: CV Mosby, 1984.
- Seidenari R. *Minerva Med*, 38 (1947):176.
- Shigeta K, Takegoshi H, Kikuchi S. «Sex and age differences in the bony nasolacrimal canal: an anatomical study». *Arch Ophthalmol*, 125 (2007):1677-81.
- Siricki A, Bayazit Y, Bayram M, Inaloz S. «Fusiform enlargement of the nasolacrimal canal: a rare anatomic variation». *Surg Radiol Anat*, 23 (2001):163-7.
- Shukla B, Firdosi AH. «X-ray study of the nasolacrimal canal inlet». *J All India Ophthalmol Soc*, 13 (1965): 55-8.
- Siddle KJ, Sim L. «Radiation dose to the lens of the eye during computerised tomography examinations of the orbit, the pituitary fossa and the brain on a General Electric 9800 Quick C.T. Scanner». *Australas Radiol*, 34 (1990): 326-30.
- Stallard F. «Eye surgery» 3rd ed. Bristol: Wright, 1958.
- Steinkogler FJ. «The postsaccal, idiopathic dacryostenosis: experimental and clinical aspects». *Doc Ophthalmol*, 63 (1986): 265-86.
- Stupp T, Pavlidis M, Busse H, Thanos S. «Presurgical and postsurgical ultrasound assessment of lacrimal drainage dysfunction». *Am J Ophthalmol*, 138 (2004): 764-71.
- Summerskill WH. «Problems of lacrimal obstruction; the rhinological approach». *Trans Ophthal Soc U K*, 76 (1956): 385-7.
- Taban M, Jarullazada I, Mancini R, Hwang C, Goldberg RA. «Facial Asymmetry

- and Nasal Septal Deviation in Acquired Nasolacrimal Duct Obstruction». *Orbit*, 30 (2011): 226-9.
- Takahashi Y, Nakata K, Miyazaki H, Ichinose A, Kakizaki H. «Comparison of bony nasolacrimal canal narrowing with or without primary acquired nasolacrimal duct obstruction in a Japanese population». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 30 (2014): 434-8.
- Takahashi Y, Nakamura Y, Nakano T, Asamoto K, Iwaki M, Selva D, Leibovitch I, Kakizaki H. «The narrowest part of the bony nasolacrimal canal: an anatomical study». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 29 (2013): 318-22.
- Takahashi Y, Kakizaki H, Nakano T. «Bony nasolacrimal duct entrance diameter: gender difference in cadaveric study». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 27 (2011): 204-5.
- Tao H, Ma ZZ, Wu HY, Wang P, Han C. «Anatomic study of the lacrimal fossa and lacrimal pathway for bypass surgery with autogenous tissue grafting». *Indian J Ophthalmol*, 62 (2014): 419-23.
- Tatlisumak E, Aslan A, Cömert A, Ozlugedik S, Acar HI, Tekdemir I. «Surgical anatomy of the nasolacrimal duct on the lateral nasal wall as revealed by serial dissections». *Anat Sci Int*, 85 (2010):8-12.
- Thale A, Paulsen F, Rochels R, Tillmann B. «Functional anatomy of the human efferent tear ducts: a new theory of tear outflow mechanism». *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 236 (1998): 674–8.
- Toth Z. «Lotrechte Röntgenaufnahme des Tränennasenkanal». *Klin Mbl Augenheilk*, 91(1933): 390.
- Traquair HM. «Chronic dacryocystitis: its causation and treatment». *Arch Ophthalmol*, 26 (1941):165-80.
- Truchot P, Offret G, Chauvet P «Normal and pathologic radiography of the lacrimonasal canal». *Arch Ophtalmol Rev Gen Ophtalmol*, 13 (1953): 479-89.
- Tucker SM, Linberg JV, Nguyen LL, Viti AJ, Tucker WJ. «Measurement of the resistance to fluid flow within the lacrimal outflow system». *Ophthalmology*,

102 (1995): 1639-45.

Tucker N, Chow D, Stockl F, et al. «Clinically suspected primary acquired nasolacrimal duct obstruction: clinicopathologic review of 150 patients». *Ophthalmology*, 104 (1997):1882-6.

Uehara F, Ohba N. «External dacryocystorhinostomy combined with mucosal grafting and magnetic resonance imaging». *Jpn J Ophthalmol*, 46 (2002): 183-8.

Wallace MJ, Kuo MD, Glaiberman C, Binkert CA, Orth RC, Soulez G. «Three-dimensional C-arm cone-beam CT: applications in the interventional suite». *J Vasc Interv Radiol*, 19 (2008):799–813.

Weber AL, Rodriguez-De-Velasquez A, Lucarelli MJ, Cheng HM. «Normal anatomy and lesions of the lacrimal sac and duct: evaluated by dacryocystography, computed tomography, and MR imaging». *Neuroimaging Clin N Am*, 6 (1996): 199-217.

Weiss AH, Baran F, Kelly J. «Congenital nasolacrimal duct obstruction: delineation of anatomic abnormalities with 3-dimensional reconstruction». *Arch Ophthalmol*, 130 (2012): 842-8.

Whitnall SE. «The Anatomy of the Human Orbit and Accessory Organs of Vision». 2nd ed, 1-252. London: Oxford University Press, 1932. Reprinted and Published: New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979.

Whitnall SE. «The Anatomy of the Human Orbit and Accessory Organs of Vision». Part 1, chap. 5. London: H. Frowde; Hodder & Stoughton, 1921.

Whitnall SE. «The naso-lacrimal canal: the extent to which it is formed by the maxilla, and the influence of this upon caliber». *Ophthalmoscope*, 10 (1912): 557-8.

Whitnall SE. «The relations of the lacrimal fossa to the ethmoidal cells». *Ophthalmic Rev*, 30 (1911): 321–5.

Wilhelm KE, Rudolf H, Greschus S, Garbe S, Lüssem M, Lischka T, Schild HH, Gerstner AO. «Cone-Beam Computed Tomography (CBCT)

- dacryocystography for imaging of the nasolacrimal duct system». *Klin Neuroradiol*, 19 (2009): 283-91.
- Wladis EJ, Manelis JB, Carter SR et al. «Gender and racial differences in lacrimal system anatomy». Poster presentation: 2005 ASOPRS scientific symposium.
- Woog JJ. «The incidence of symptomatic acquired lacrimal outflow obstruction among residents of Olmsted County», Minnesota, 1976–2000 (an American ophthalmological society thesis). *Trans Am Ophthalmol Soc*, 105 (2007): 649–66.
- World Health Organization. «Report of the 2nd global scientific meeting on trachoma». Geneva, 25–27 August 2003. Accessed January 2008. Available from: <http://www.int/blindness>
- Wormald PJ, Kew J, Van Hasselt A. «Intranasal anatomy of the nasolacrimal sac in endoscopic dacryocystorhinostomy». *Otolaryngol Head Neck Surg*, 123 (2000); 123: 307-10.
- Yang M, Kpalma K, Ronsin J, «A Survey of Shape Feature Extraction Techniques», In *Pattern Recognition*, 43-90. Peng-Yeng Yin, 2008.
- Yazici B, Hammad AM, Meyer DR. «Lacrimal sac dacryoliths: predictive factors and clinical characteristics». *Ophthalmology*, 108 (2001): 1308-12.
- Yazici B, Yazili Z, Parlak M. «Treatment of nasolacrimal duct obstruction in adults with polyurethane stent». *Am J Ophthalmol*, 131 (2001): 37-43.
- Yazici Z, Kline-Fath BM, Yazici B, et al. «Congenital dacryocystocele: Prenatal MRI findings». *Pediatr Radiol*, 40 (2010): 1868-73.
- Yong AM, Zhao DB, Siew SC, Goh PS, Liao J, Amrith S. «Assessment of bony nasolacrimal parameters among Asians». *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 30 (2014): 322-7.
- Zabel E. «Varietäten und vollständiges fehlen des thränenbeins beim menschen». *Anat Hefte* (1900): 153–201.
- Zinreich SJ, Dolan KD. «Radiology of the nasal cavity and paranasal sinuses» In *Otolaryngology and Head and Neck Surgery* 2nd edition. Cummings CW, 912.

St. Louis: Mosby Year Book, 1993.

Zolli CL, Shannon GM. «Dacryocystorhinostomy: a review of 119 cases». *Ophthalm Surg*, 13 (1982): 905-10.

10. ANEXO: OTRAS APORTACIONES

Este trabajo ha dado lugar a:

- 1) Artículo titulado *Three-dimensional reconstruction of the bony nasolacrimal canal by automated segmentation of computed tomography images*.
- 2) Solicitud de patente del método de segmentación y análisis automatizados de la estructura tridimensional de conductos lagrimales en imágenes de tomografía, presentada en la Oficina Española de Patentes y Marcas.

