II.- MATERIAL Y MÉTODOS

II. A. MUESTRA

El estudio fue diseñado para analizar la evolución de la osificación de los huesos de pies en edad pediátrica de población española. En él se incluyeron pacientes que acudieron al especialista de traumatología y cirugía ortopédica y fueron atendidos en el Área 10 de la red Sanitaria de Salud de la comunidad de Madrid. Esto corresponde a la zona de asistencia del municipio de Getafe y alrededores.

Los datos de los pacientes proceden del Archivo General del Hospital Universitario de Getafe, del Servicio de Urgencias de dicho hospital, y de las diversas consultas del Area de Atención Especializada. Al ser los datos identificativos de los pacientes un valor protegido por la legislación vigente (Ley Orgánica 15/1999 de protección de datos de carácter personal –LOPD-), y por la ética profesional, se segregaron los datos de filiación, de los clínicos, para preservar en todo momento el derecho a la intimidad de los mismos.

Como es lógico, a ningún paciente se le hizo ningún tipo de exploración radiológica que no estuviese clínicamente indicada por el médico que lo exploró, estando el consentimiento informado a dicha exploración clínico-radiológica explícito o implícito, por parte de los padres o tutores legales en el caso de menores y del mismo paciente en los mayores de 18 años, dentro del devenir normal del acto médico. Además, como se ha expuesto *supra* los datos clínicos se segregaron de los de filiación, por tanto careció de lógica pedir consentimiento para el tratamiento de las imágenes radiológicas con los fines de esta investigación. De otro modo, en ningún momento se quebrantó ni el derecho positivo ni la ética profesional ya que, ni el autor de esta tesis, ni sus compañeros indicaron nunca una radiografía con el único fin de dilucidar si se cumplía la hipótesis planteada y los objetivos propuestos. De hecho, se trata como veremos, de un estudio retrospectivo del caudal de conocimiento científico-médico que se encuentra en los archivos clínicos demasiadas veces olvidado sin que se aproveche para el devenir futuro de la Medicina y Cirugía. Como puede apreciarse en la matriz de datos (apéndice estadístico VI. A) la edad, el sexo y la patología correspondiente a cada imagen radiológica son conocidos, así como lo fue el

número de historia para saber que conjunto de radiografías corresponde a un único individuo en el estudio longitudinal del crecimiento óseo.

La selección de los pacientes se hizo acorde con la edad a estudiar, tanto varones como mujeres comprendidos desde el nacimiento hasta el cierre fisario, criterio este último de amplio espectro que abarca de manera general de los 11 a los 20 años, según los autores que se consulten (Testut 1923, Gómez Oliveros 1960, Köster 1968, Tachdjian 1972, Gray 1977, WEA 1980, Montagne 1984, Tax 1985, Reverte Coma 1991, Sarrafian 1993, Scheuer y Black 2000). No se definió ninguna patología como criterio de exclusión, seleccionando tanto "pacientes sanos" como los que presetaron patología. De esta manera un paciente entraba en el estudio con una única imagen radiológica si su consulta es puntual y no se vuelve a revisar, o con un número ilimitado de imágenes de uno o ambos pies a lo largo de la evolución del seguimiento en consulta. Esto permitió observar las característias estáticas o transversales determinadas de una edad ósea en un paciente, o bien la evolución longitudinal de la osificacion del pie de un mismo paciente, a lo largo de los años. Por ello de algunos pacientes se obtuvo una única imagen y otros aportaron al estudio, una serie de varias imágenes.

La recogida de la información se hizo de manera retrospectiva estudiando las historias clínicas. La imagen más antigua recogida fue de marzo de 1984, la más reciente de junio de 2005. Todas las imágenes fueron recogidas de una población madrileña moderna, aunque la procedencia exacta de cada paciente era variada. Sin embargo se puede afirmar, que se trata de personas caucasoides mediaterráneas graciles. Cabe destacar que sólo dos pacientes procedían de grupos poblacionales y de afinidad racial mayor diferentes: un nigeriano y un rumano (de características eslavas no mediterráneas).

Dependiendo de los parámetros que en cada momento son susceptibles de estudio, la muestra global de imágenes radiológicas obtenida, fue segmentada de forma que en ningún caso se produjese una artefactación de los resultados por una incorrecta utilización de la muestra de datos.

La muestra se compuso de un total de 1001 radiografías tomadas de 231 pacientes en edad pediátrica, que comprendía desde el nacimiento (0 años) hasta los 19,94 años, siendo la media de 8,93 años. El 59,7% de los estudiados fueron

niños y el 40,3% niñas. La distribución por lateralidad resultó homogénea, siendo ligeramente mayor el número de pies izquierdos (51,2%). Existió un predominio de cuatro grupos principales de motivos de consulta (pie plano, pie zambo, patología en valgo del *hallux*, y traumatismos) este último grupo se presupuso libre de patología y se utilizó como grupo control.

II. B. MATERIAL

La recogida de los datos para el estudio se diseñó según el estudio bibliográfico previo, introduciendo aquellos datos interesantes para nuestra investigación. Se elaboró un protocolo de filiación que incluía el número de historia clínica de cada paciente y el lugar de realización de la consulta. En esta hoja se añadió la fecha de nacimiento y la de la realización del estudio radiográfico del pie, pudiendo con ello calcular de manera exacta la edad cronológica del paciente en el momento de la realización del estudio de imagen. Se sumó a su vez el sexo de paciente, la lateralidad del pie estudiado y el diagnóstico por el que el paciente acudió a la consulta (ver tabla II. 1).

TABLA II. 1. HOJA DE RECOGIDA DE DATOS. FILIACÓN

NHC	PROC	F NAC	F RX	EDAD	SEXO	LADO	CONSULTA

Tabla II. 1. Recogida de datos de filiación del paciente.
NHC: Número de historia clínica; PROC: Procedencia; FNAC: Fecha de nacimiento; FRX: Fecha del estudio; CONSULTA: Diagnóstico de la consulta.

Se protocolizó en otra hoja las variables a estudiar de cada una de las imágenes obtenidas. Se muestra el protocolo utilizado que más adelante se explicará con detalle (ver tabla II. 2).

Una vez identificado cada paciente, se procedió a la revisión de su historia clínica. Se escogieron las radiografías realizadas de los pies a los pacientes, ordenándose cronológicamente. Todas las radiografías correspondientes a patologías no traumáticas seleccionadas correspondían a proyecciones dorsoplanatres de pie, obtenidas con el niño en bipedestación, con las piernas paralelas y el foco central angulado 15 grados hacia el tobillo para eliminar la supèrposición, como se describe en la literatura (Sullivan 1996). Las traumáticas evidentemente no pudieron realizarse en carga. Se desecharon todas aquellas imágenes en las que la calidad fotográfica o la proyección radiológica no eran válidas para nuestro estudio, recopilando sólamente las realizadas en proyección dorsoplantar en carga. Una vez selecionadas la radiografías correctas se filió cada caso, sólo por el número de historia obviando su nombre y demás datos personales, en el modelo de recogida de datos general. A continuación se realizó una copia digital de dichas imágenes con una cámara digital *SONY® DIGITAL STILL CAMERA DSC-P9 4.0 MEGA PIXELS.*

La técnica de toma fotográfica de las imágenes es sencilla. Colocando la radiografía en un negatoscopio, se retiró la iluminación ambiental y se realizó la fotografía digital en ausencia de flash, con el obejetivo macro activo. Se procuró mantener una distancia mínima de 75 centímetros a la imagen. Como se expondrá más adelante, el obstáculo que supone la diferencia de distancia focal Rx-placa en cada paciente o de la distancia a la que se toma la imagen fotográfica, se solventa al utilizar en el análisis de las imágenes índices relativos y no dimensiones absolutas de medición en los distintos núcleos de osificación del pie. A continuación se descargó cada fotografía en un ordenador personal PC, almacenándola en carpetas de formato digital para su estudio posterior.

TABLA II. 2. HOJA DE RECOGIDA DE DATOS DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES					
O2ºcuña					
Car2ºcuña					
Odis2ºmet					
Cardis2ºmet					
Risdis2ºmet					
Opro2ºmet					
Carpro2ºmet					
Rispro2ºmet					
Oproxf1					
Carproxf1					
Risproxf1					
Oproxf2					
Carproxf2					
Risproxf2					
Oproxf3					
Carproxf3					
Risproxf3					
Fdigital					
Fmetatarsal					
Ni2ºcuña					
Nipro2º met					
Nidis2º met					
Niproxf1					
Niproxf2					
Niproxf3					
Lonrad					
Cuñatra					
Cuñalo					
Lonmet					
Fidmtra					
Fidmlo					
Fipmtra					
Fipmlo					
Fif1tra					
Fif1lo					
Lonf1					
Fif2tra					
Fif2lo					
Lonf2					
Fif3tra					
Fif3lo					
Lonf3					
Metaprox					
Metadis					
Metaf1					
Metaf2					
Metaf3					
Combin					

Tabla II. 2. Recogida de datos de las variables radiológicas del estudio.
O2ºcuña: osificación de la 2º cuña; Car2ºcuña: características del núcleo de la 2º cuña; Odis2ºmet: osificación del núcleo distal del 2º metatarsiano; Cardis2ºmet: características de dicho núcleo; Risdis2ºmet: Risser del núcleo distal; Opro2ºmet: osificación del núcleo proximal del 2º metatarsiano; Carpro2ºmet: características del mismo; Rispro2ºmet: Risser del núcleo proximal;; Oproxf1: osificación secundaria de la falange proximal; Carproxf1: características fisarias de F1; Risproxf1: Risser del núcleo de F1; Oproxf2: osificación secundaria de la falange media; Carproxf2: características fisarias de F2; Risproxf2: Risser del núcleo de F2; Oproxf3: osificación secundaria de la falange distal; Carproxf3: características fisarias de F3; Risproxf3: Risser del núcleo de F3; Fdigital: fórmula digital; Fmetatarsal: fórmula metatarsiana; Ni2ºcuña: alteraciones radiológicas en la 2º cuña; Nipro2ºmet: alteración Rx en el núcleo proximal del 2º metatarsiano; Nidis2ºmet:alteración Rx en el núcleo distal del 2º metatarsiano; Niproxf1: alteración Rx en epífisis de F1; Niproxf2: alteración Rx en epífisis de F2; Niproxf3: alteración Rx en epífisis F3; Lonrad: longitud del radio; Cuñatra: anchura cuneana; Cuñalo: longitud cuneana; Lonmet: longitud del 2º metatarsiano; Fidmtra: anchura de la fisis distal del 2º metatarsiano; Fidmlo: longitud de la epífisis distal del M2; Fipmtra: anchura fisaria de la epífisis proximal de M2; Fipmlo: longitud de la epífisis proximal de M2; Fif1tra: anchura de la epífisis de F1; Fif1lo: longitud de la epífisis de F1; Lonf1: longitud de F1; Fif2tra: anchura fisaria de F2; Fif2lo: longitud de la epífisis de F2; Lonf2: longitud de F2; Fif3tra: anchura fisaria de F3; Fif3lo: longitud de la epífisis de F3; Lonf3: longitud de F3; Metaprox: anchura metafisaria proximal del 2º metatarsiano; Metadis: anchura metafisaria distal del 2º metatarsiano; Metaf1: anchura metafisaria de F1: Metaf2: anchura metafisaria de F2; Metaf3: anchura metafisaria de F3; Combin: Combinación de fórmula digital y metatarsal.

Tras conseguir fotografiar toda la colección de imágenes de la muestra se procedió al análisis digital de cada una individualmente. Para ello se utilizó el paquete de análisis de imagen *ADOBE®PHOTOSHOP® VERSIÓN 7.0.* Los datos obtenidos de cada imagen se guardaron en el protocolo diseñado y explicado anteriormente y se transcribieron a ordenador a través del programa *MICROSOFT OFFICE EXCEL® VERSIÓN 2003*.

Una vez terminado el proceso de recopilación de todos los datos, se trasladó toda la información al paquete informático estadístico *SPSS® VERSIÓN 11.5 PARA WINDOWS®*. Con este programa se realizó posteriormente el análisis estadístico de las 52 variables, 23 cuantitativas y 29 variables cualitativas de cada imagen recogida (ver tabla II. 3). Dado que en el global de la población estudiada, todos los sujetos de la muestra eran de la misma afinidad racial (con las referidas dos excepciones), no se ha realizado en ningún caso análisis inferencial en función de dicha variable.

La edición y procesamiento de texto e imagen se ha llevado a cabo con el paquete de *MICROSOFT OFFICE WORD® VERSIÓN 2003*.

TABLA II. 3. VARIABLES ANALIZADAS EN EL ESTUDIO	
CUALITATIVAS	**CUANTITATIVAS**
Sexo	Edad
Lateralidad	Medición longitudinal del segundo radio
Consulta	Medición longitudinal y transversal de los núcleos de osificación primarios y secundarios del segundo radio
Presencia o ausencia de los núcleos de la segunda cuña y los núcleos de osificación secundarios del segundo radio	Medición longitudinal individual de los componentes del segundo radio
Características de los núcleos	Medición transversal de la metáfisis de los componentes del segundo radio
Grado de osificación de los núcleos secundarios (Risser)	
Fórmula digital	
Fórmula metatarsiana	
Combinación de ambas fórmulas	
Presencia o ausencia de signos radiológicos sugerentes de necrosis isquémica en el núcleo de la segunda cuña y los núcleos de osificación secundarios del segundo radio	

Tabla II. 3. Variables analizadas en el estudio.

Un inciso: Los nombres comerciales se indican aquí con fines de mera exposición descriptiva de la metodología empleada, en ningún caso se ha obtenido ayuda o beneficio de tales marcas, y el autor y directores de la tesis presuponen que el estudio muy bien podría reproducirse con otras de características similares existentes en el mercado.

II. C. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

II. C. 1. Obtención de la muestra

El método de estudio fue siempre el mismo. Revisión de la historia clínica del paciente y filiación de sus datos. Selección de sus radiografías dorsoplantares de su o sus pies y ordenación cronológica de las mismas. Realización de la fotografía digital de cada imagen a través del negatoscopio, anotación de los datos y almacenamiento de la misma en archivo informático. Análisis digital de cada caso con el programa Adobe Photoshop® y recopilación de las variables cualitativas y de la medición de las cuantitativas, en la hoja de protocolo. Transcripción de los datos a las tablas de formato Excel® y traspaso definitivo a formato SPSS®.

La selección de las radiografías fue exhaustiva, rechazando las proyecciones oblícuas y laterales y aquellas dorsoplantares defectuosas por técnica o visualización. En todos los casos se pudo constatar la fecha de nacimiento y la de la realización de la radiografía, así como el sexo del paciente, lateralidad del pie estudiado y el motivo de la consulta o diagnóstico.

Al tratarse de un estudio retrospectivo, en el cual se recaba información a partir de historias clínicas de personas en diferentes momentos de la vida, y con variadas técnicas radiológicas, no se consigue controlar el factor distancia focal de la imagen, lo que dificulta la interpretación posterior de las variables cuantitativas absolutas. Por ello se ha vigilado mucho la selección previa de las radiografías. y se han analizado índices o variables derivadas.

La técnica empleada en la realización de las fotografías fue cuidadosa, manteniendo una distancia focal aproximada de 0,75 a 1 metro de distancia, e intentando obtener una imagen nítida sin brillos. Siempre hecha por la misma persona (el doctorando). A pesar de ello algunas imágenes no permiten analizar todos los componentes a medir, dada la suma de mínimos errores en técnica radiográfica y copia digital de la imagen. Los dos mayores problemas surgieron en los componentes más alejados del foco radiográfico. Así, algunas de las falanges medias o distales pequeñas o flexionadas resultaron muy difíciles de medir por la morfología adoptada (como comenta también Scheuer y Black 2000 en su estudio

en hueso seco) o por la hipontesidad de la señal; y algunas de las segundas cuñas estudiadas no tenían bordes nítidos por la hiperintensidad de la señal. En estos casos se excluyó del estudio la medición tomada, pero no la totalidad del caso, ya que otras medidas si fueron posibles. Por ello en la matriz de datos se observan en ocasiones casillas en blanco correspondientes a aquellas variables cuya obtención no fue posible en tales casos.

Al diseñar el estudio se tuvo en cuenta que ambos factores, radiológico y fotográfico, pudieran distorsionar la interpretación de los resultados. Por lo cual, la interpretación posterior de los resultados obtenidos en el análisis de las variables cuantitativas, no se realizó con las medidas originales absolutas, sino con medidas relativas (*i.e.* índices, tantos por uno) de tales mediciones. Esto se consiguió dividiendo dos variables directas, y tomando como dato definitivo el índice resultante. De cada una de las variables directas cabe esperar que esté reflejado por igual la magnificación, o por el contrario disminución del tamaño, inherentes a la variación en la distancia focal (*i.e.* factor de confusión "distancia focal"); y también la misma variabilidad en el ángulo de incidencia del rayo o de la fotografía digital (*i.e.* factor de confusión "oblicuidad").

Con el empleo de los índices, se pueden comparar imágenes de pacientes diferentes e incluso del mismo paciente en diferentes momentos de su vida. Se puede, al eliminar el factor "tamaño del pie", comparar sujetos de la misma edad pero de distinto tamaño. Y lo más importante, permite realizar estas mediciones con cualquier otro método de medición de imágenes que no sea el utilizado en este proyecto, como por ejemplo la medición directa cuantitativa sobre la radiografía original en cada caso. Con ello se universaliza el proceso de medición de las variables y de obtención de los índices de trabajo, para poder ser empleados y reproducidos en cualquier lugar del mundo.

La medición de cada variable cuantitativa en este estudio se realizó con la herramienta informática de medida antes referida. Esta herramienta traza una línea entre dos puntos marcados y la medida tomada y recogida es la indicada en el índice denominado D1 de la barra de tareas del programa. Para minimizar el error propio del observador y dada la sensibilidad del analizador, cada una de las variables cuantitativas lineales se estimó tres veces, en tres ocasiones diferentes.

Se consideró como valor numérico de cada variable el de la media aritmética de las tres estimas, redondeando al decimal de precisión del instrumento con que se realiza la medida, en este caso la opción de medición del editor de imágenes utilizado en el estudio. Se utilizó el mismo protocolo para obtener la medida de cada variable cuantitativa en cada uno de los huesos del segundo radio en toda la muestra.

Se analizó la presencia o no de determinados rasgos cualitativos en los componentes óseos del segundo radio del pie. En algunas variables incluso, se pudo hacer una clasificación o estadiaje de la variable en ese momento valorada. Todas las mediciones cunatitativas y observaciones cualitativas se realizaron en toda la muestra por un médico especialista en Cirugía Ortopédica y Traumatología (doctorando). En los casos donde existía una duda razonable en cuanto a la filiación u obtención de valores de una determinada variable, se revisó y reclasificó por los directores de la tesis: el profesor y catedrático de Anatomía Humana y Biomecánica prof. Dr. D. Francisco Javier Fernández Camacho, y el profesor y especialista en Cirugía Ortopédica y Traumatología Dr. D. José Antonio Pareja Esteban. No fue necesario en ningún caso recurrir a un cuarto observador. Aún cuando la clasificación de Risser pudiera parecer poco reproducible la concordancia en la valoración que obtuvimos denota la validez de la misma (Risser 1958).

Los datos obtenidos se almacenaron en una hoja de programa Excel®. Los parámetros recogidos sirvieron para calcular una serie de variables derivadas e índices (explicados más adelante), que luego se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS®.

II. C. 2. Descripción de variables del estudio

En el análisis realizado de cada imagen, se valoraron hasta un total de 52 variables, de las cuales 29 son cualitativas y 23 son cuantitativas. Estas se midieron a lo largo de los cinco huesos del segundo radio del pie, que son: la segunda cuña; el segundo metatarsiano, incluyendo los núcleos secundarios de osificación proximal, cuando existe y distal); y las falanges proximal, media

(cuando existe) y distal del segundo dedo (incluyendo sus respectivos núcleos secundarios proximales de osificación).

Para que el estudio sea fácilmente reproducible, se detalla de manera precisa en este apartado, la metodología de estimación y sus instrumentos de medida. A esta descripción se añade la aclaración de las abreviaturas en las tablas de la hoja de datos Excel® y del analizador SPSS®.

A continuación se exponen todas las variables medidas de manera general, comenzando primero con la cualitativas, puesto que muchas se repiten en cada uno de los huesos (ver tabla II. 3). Más adelante se describe la medición individual sistemática para cada uno de los huesos medidos.

II. C. 2 a. Variables cualitativas

Sexo (Sexo) Variable cualitativa dicotómica: masculino o femenino.

Lateralidad (Lado) Variable cualitativa dicotómica referida al lado del pie estudiado: derecho o izquierdo.

Consulta (Consulta) Variable cualitativa no dicotómica, nominal. Motivo de consulta por el cual el paciente acude al traumatólogo. Se recogen todos los diagnósticos, sistematizando los nombres de aquellos coincidentes.

Osificación de los núcleos (O -seguido de la indicación del hueso referido). Variable cualitativa dicotómica cuyos únicos valores posibles, que analiza, son la presencia o ausencia en la existencia del núcleo de osificación primario de la segunda cuña y de los núcleos de osificación secundarios del segundo radio (metatarsianos y falanges). Existe una variación del desarrolo específica detectada en algunas segundas falanges, que más adelante se explicará, donde la variable puede tomar el valor de ausencia-c, que se le da el significado de ausencia completa durante el desarrollo, también llamada osificación anepifisaria (Köster 1968). En caso de observar la imagen distorsionada o sin nitidez, puede darse el valor de no valorable (casilla en blanco en la matriz de datos).

Características de los núcleos (Car -seguido de la indicación del hueso referido) Variable cualitativa nominal que describe las características radiológicas propias de cada núcleo de osificación medido. Los posibles valores de la misma se describen tras la valoración de las imágenes (Pareja 2004), y son:

- Normal, el núcleo es de características normales en la imagen, no tiene ningún rasgo patológico.
- Esclerosis, el núcleo muestra una señal hiperintensa radiográfica.
- Esclerosis con aplastamiento, a la hiperintensidad de señal añade un tamaño longitudinal sensiblemente menor del común. Existe una relevante asimetría entre los diámetros longitudinal y transverso respecto a otros núcleos donde no se aprecia este hallazgo radiológico.
- Fragmentación, el núcleo no se visualiza como una única imagen conformada, sino que muestra uno o varios fragmentos menores.
- Aplastamiento, el núcleo tiene unas dimensiones de longitud por debajo de lo esperable.
- No valorable, cuando no puede establecerse la característica del núcleo, porque aún no se ha desarrollado, o por deficiencia de la imagen.
- Anucleado o anepífisis, término acuñado para casos donde el núcleo secundario de osificación está ausente.

Signos radiográficos sugerentes y compatibles clásicamente con el término de necrosis isquémica de los núcleos (Ni -seguido de la indicación del hueso referido) Variable cualitativa dicotómica que depende y complementa la previamente descrita. Según lo descrito se considera que la imagen radiográfica que refleja el núcleo sugiere signos de osteocondritis o necrosis isquémica, (valor Sí), o bien no los sugiere y es normal (valor No). Como es lógico, esta variable sólo es medida si existe presencia de núcleo.

Grado de osificación de los núcleos secundarios (Ris -seguido de la indicación del hueso referido) Variable cualitativa ordinal que analiza el grado de madurez esquelética en la fusión de los núcleos secundarios.

La fusión de la epífisis con la diáfisis se realiza de forma progesiva a partir del cartílago de conjunción epifisario. Ya en 1924, Stevenson diferenciaba 4 etapas en el proceso de fusión epifisaria: separadas, comienzo de la fusión, fusión reciente y completa. Mckern y Stewart 1957 (cit. Reverte Coma 1991) a partir de estudios esqueléticos de soldados de la segunda guerra mundial, observaron la existencia de cinco grados de fusión fisaria:

1- No hay unión.
2- Unión del 25%.
3- Unión del 50%.
4- Unión del 75%.
5- Unión completa.

En este estudio se utiliza una variación de todas estas clasificaciones, tomando como referencia la clasificación clásica de Risser (1958). Este autor estudió el comportamiento del desarrollo óseo en huesos de cresta ilíaca, con el fin de determinar la madurez esquelética en pacientes con patología vertebral. Diversos estudios que han evaluado la fiabilidad del método Risser la han aceptado favorablemente, consiguiendo correlaciones muy buenas con la predicción de la edad esquelética (Biondi 1985, Scoles 1988, Yoshikuni 1988, Dhar 1993, Little 1994, Izumi 1995, POSNA 2006). Aquí seguimos para el segundo radio del pie la adaptación de la clasificación de Risser al primer radio del pie propuesta por Pareja (ver figura II. 1) (Pareja 2004). Así:

Estadio 0: No existe núcleo de osificación
Estadio 1: Trazas del núcleo secundario
Estadio 2: Núcleo de osificación formado
Estadio 3: Signos de osificación parcial
Estadio 4: Osificación completa.

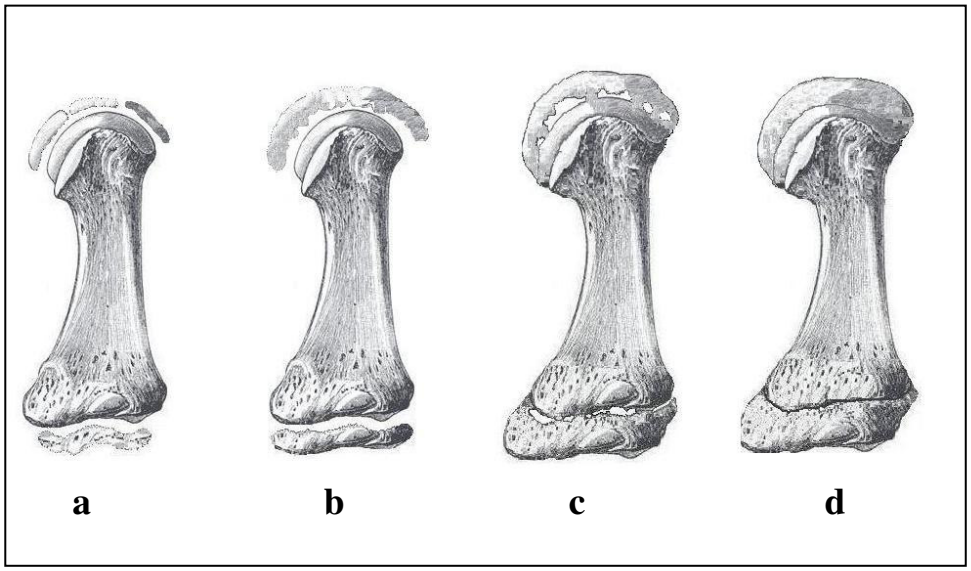


Figura II. 1. Representación esquemática de la metodología utilizada en el estudio para determinar el grado de osificación de los huesos de segundo radio. Se emplea como ejemplo la forma de osificación del primer metatarsiano, en el caso en que además estuviese presente el núcleo de osificación distal. Así: a. Estadío 1 o presencia de un núcleo rudimentario. b. Estadío 2, el núcleo está correctamente formado. c. Estadío 3 donde se aprecia un cierre parcial tanto a nivel proximal como distal. D. Estadío 4 o fusión total. (Imagen tomada de Pareja Esteban 2004).

Los valores posibles que recibe esta variable son: rudimentario, formado completamente y separado del primario, fusión parcial, fusión total, y no valorable. Más estadios aumentan el error interobservador y menos disminuyen la sensibilidad del sistema (Whitaker et al 2002).

Fórmula digital (F digital) Variable cualitativa nominal (no dicotómica). La fórmula digital se obtiene siguiendo el criterio más comúnmente aceptado (Faure 1981, Montagne et al. 1984, Shereff 1991, Llanos 1997, Valenti 2000, Viladot 2000, (2 y 3) 2001 y 2002, Monreal-Redondo y Fernández Camacho, 2003).

Se clasifican los diferentes pies según la fórmula digital como pie griego, cuadrado y egipcio dependiendo de la longitud relativa entre el primer y segundo dedo. La medición en el estudio se realiza desde el punto de encuentro de las articulaciones calcáneo-cuboidea y astrágalo-calcáneo-navicular (de la interlínea mediotarsiana) hasta los puntos distales del primer y segundo dedos (ver la figura II. 2).

De tal manera se denomina:

- Pie Egipcio: Longitud relativa del hallux > Longitud relativa del segundo dedo.
- Pie Griego: Longitud relativa del hallux < Longitud relativa del segundo dedo.
- Pie Cuadrado: Longitud relativa del hallux = Longitud relativa del segundo dedo.

Pie egipcio	D1>D2
Pie griego	D1<D2
Pie cuadrado	D1=D2

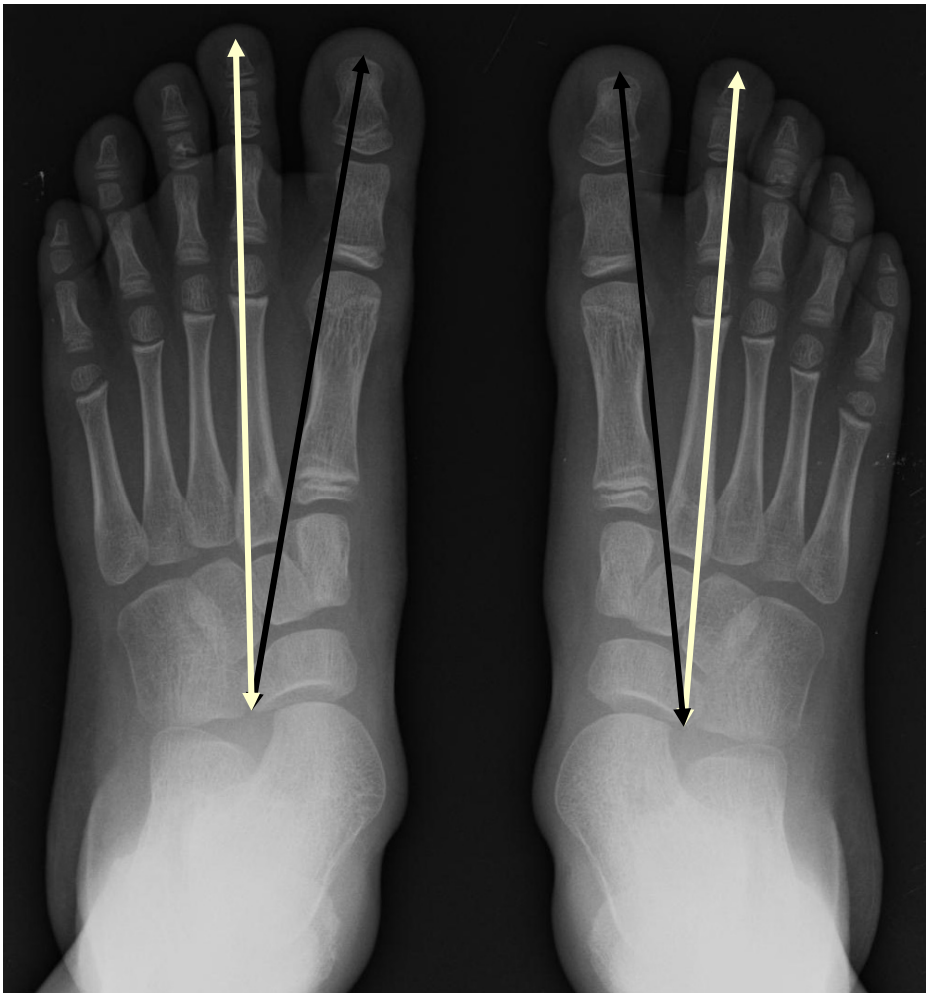


Figura II. 2. Modo de estimación de la fórmula digital adoptado en el estudio. Corresponde a un pie cuadrado.

Fórmula metatarsiana (F metatarsal) Variable cualitativa nominal. Se obtiene la fórmula metatarsiana empleando la nomenclatura internacionalmente aceptada (Hardy y Clapham 1951, Faure 1981, Montagne et al. 1984, Smith et al 1984, Shereff 1991, Llanos 1997, Monreal –Redondo y Fernández Camacho, 2003) de acuerdo con los criterios del Research Comite of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society recommendation (Smith et al. 1984), basado en el método de Hardy y Clapham (1951) que a su vez es aceptado por otros autores (Shereff. 1991, Monreal -Redondo y Fernández Camacho 2003). En él se mide la protrusión relativa metatarsal como la distancia radial entre los arcos de círculo centrados en la intersección del eje longitudinal del segundo metatarsiano con la línea tarsal transversa dibujada entre la parte posterior de la tuberosidad navicular y el centro de la articulación calcáneo-cuboidea.

Según estas referencias, la fórmula metatarsiana se determina en función de la mayor o menor longitud de los metatarsianos primero y segundo.

El método seguido en este trabajo, calcula la distancia radial entre dos arcos de círculo, uno para cada cabeza metatarsal, centrados proximalmente en el escafoides con el centro de la articulación calcáneo-cuboidea (ver figura II. 3).

Existen tres tipos diferentes de pie en función de la fórmula metatarsiana:

- *Index plus*: Protrusión distal del primer metatarsiano > protrusión distal del segundo metatarsiano.
- *Index minus*: Protrusión distal del primer metatarsiano < protrusión distal del segundo metatarsiano.
- *Index plus-minus*: Protrusión distal del primer metatarsiano = protrusión distal del segundo metatarsiano.

Index plus (1>2)	la cabeza del primer metatarsiano queda distal a la del segundo.
Index minus (1<2)	la cabeza del segundo metatarsiano queda distal a la del primero.
Index plus-minus (1=2)	las cabezas del primer y segundo metatarsiano quedan al mismo nivel.

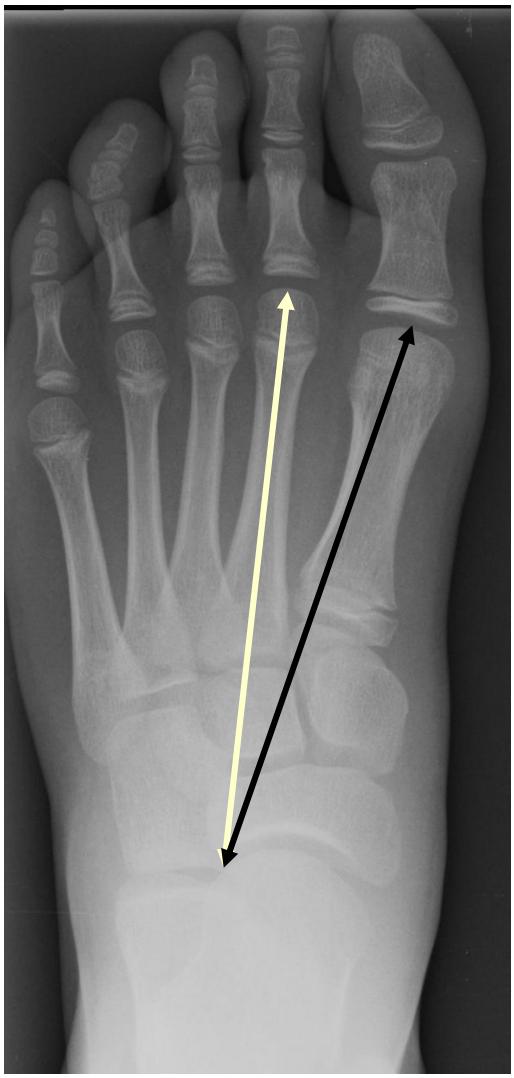


Figura II. 3. Estimación de la fórmula metatarsiana. Corresponde a un *index minus*.

Combinación de fórmulas (Combin) Variable cualitativa nominal. Esta variable recoge todas las opciones posibles de combinación entre las fórmulas digital y metatarsiana. Se toma la inicial de cada palabra utilizada, así por ejemplo de la combinación pie egipcio con *index plus* se obtiene : peip; de la combinación pie cuadrado con *index plus minus* se obtiene: pcipm; y así sucesivamente. Los valores posibles se indican en la tabla siguiente (ver tabla II. 4):

TABLA II. 4. COMBINACÓN DE FÓRMULAS	
Pgim	Pie griego *index minus*
Pgip	Pie griego *index plus*
Pgipm	Pie griego *index plusminus*
Peim	Pie egipcio *index minus*
Peip	Pie egipcio *index plus*
Peipm	Pie egipcio *index plusminus*
Pcim	Pie cuadrado *index minus*
Pcip	Pie cuadrado *index plus*
Pcipm	Pie cuadrado *index plusminus*

Tabla II. 4. Posibles combinaciones entre fórmulas digital y metatarsiana.

II. C. 2 b. Variables cuantitativas

Se trata en todos los casos de variables cuantitativas continuas.

Edad (Edad) Calculada realizando la sustracción de la fecha de realización de la radiografía (Fecha rx) y la fecha de nacimiento (Fecha nac). Este valor numérico está expresado en años completos, seguido del valor, calculado y expresado en decimales, de los meses transcurridos antes de cumplir el último año. Se trata por tanto de edades decimales como no podría ser de otra manera ya que estamos en un estudio de crecimiento y desarrollo en los que carecería de valor agrupar juntos un niño que acaba de cumplir un año con otro al que le falta un día para cumplir el siguiente.

Medición longitudinal del segundo radio (Lonrad) Valor numérico que representa la longitud total del segundo radio, medida a través de una línea recta que comienza en el punto central de la carilla articular proximal de la segunda cuña y que se extiende hasta el punto más central y distal de la falange distal del

segundo radio. Este valor es usado de manera indirecta para calcular los índices empleados para hacer las comparaciones y estimaciones estadísticas.

Medición longitudinal y transversal de los núcleos de osificación primarios y secundarios del segundo radio (indicación del hueso referido seguido de -lo o de –tra, respectivamente) Valor numérico con el que se mide cada uno de los núcleos de osificación del segundo radio del pie: cuña, núcleos proximal y/o distal del segundo metatarsiano y los núcleos proximales de las tres falanges. La longitud se halla mediante una recta que une los puntos medios de los bordes proximal y distal de cada núcleo. El diámetro transversal se mide con una línea que se extiende del borde tibial al borde peroneal de los núcleos.

Medición longitudinal individual de los componentes del segundo radio (Lon- seguido de la indicación del hueso referido) En este caso del segundo metatarsiano incuyendo los núcleos si estos están presentes, y de las tres falanges con sus núcleos, si estos están presentes. Este valor numérico se calcula desde el punto medio más proximal de cada componente, hasta el punto medio más distal del mismo.

Medición transversal de las metáfisis de los componentes del segundo radio (Meta- seguido de la indicación del hueso referido) La medición se realiza mediante una línea recta que une los extremos tibial y peroneal de las corticales metafisarias adyacentes al núcleo de osificación. El segundo metatarsiano tiene dos valores posibles, el de su base proximal y el de su extremo distal, nombrados como (metaprox) y (metadis) respectivamente. Las falanges aportan sólo el valor de su extremo metafisario proximal. Estos valores se usan para obtener los índices empleados en el análisis estadístico posterior.

II. C. 3. Determinación pormenorizada de las variables de cada estructura ósea del segundo radio del pie

A continuación se detalla de forma sistemática, recorriendo cada estructura ósea describiendo, cómo se realiza el análisis de las imágenes y la recogida de los datos en la hoja de protocolo.

II. C. 3 a. Segundo radio

El segundo radio se analiza únicamente mediante la medición de una variable cuantitativa, que expresa su longitud total (**Lonrad**). La utilidad de la variable al analizar los resultados, no se considera de forma absoluta sino que se usa de manera indirecta para calcular los índices empleados al hacer las comparaciones y estimaciones estadísticas.

Para calcular la longitud del segundo radio se traza una línea recta de proximal a distal que comienza en el punto medio de la carilla articular proximal de la segunda cuña y que se extiende hasta el punto más central y distal (vértice) de la falange distal del segundo radio (figura II. 4).

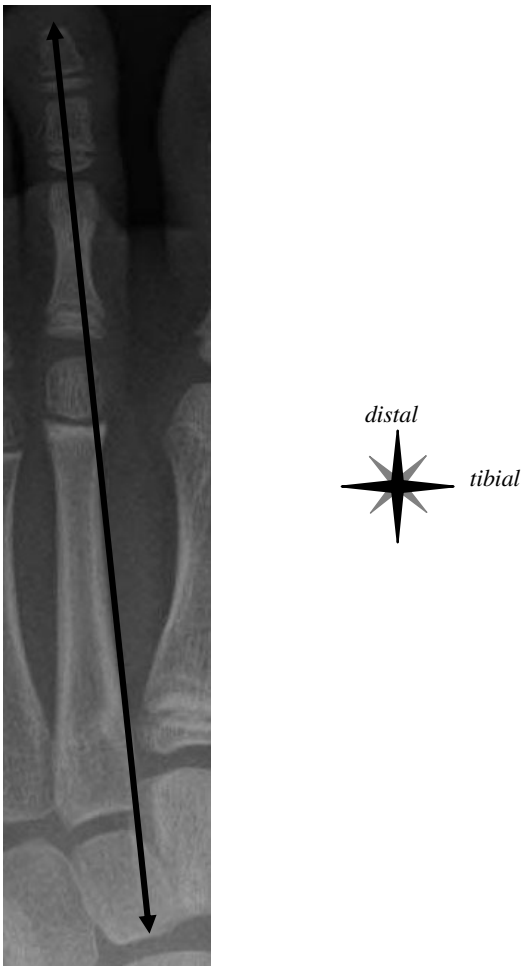


Figura II. 4. Medición de la longitud máxima del segundo radio del pie (Lonrad).

II. C. 3 b. Segunda cuña o cuneiforme central

Variables cualitativas

Al analizar la segunda cuña, se obtienen los siguientes parámetros cualitativos.

1º **O2ºcuña** Presencia o ausencia del núcleo de osificación de la cuña. Se trata de una variable dicotómica cuyos únicos valores posibles son la ausencia o presencia de dicho núcleo.

2º **Car2ºcuña** Características del núcleo de osificación de la cuña. Mediante el análisis de esta variable se determinan las características radiológicas del núcleo de osificación de la cuña central.

Es una variable cualitativa nominal, y los posibles valores de la misma son: normal, esclerosis, esclerosis con aplastamiento, fragmentación y finalmente aplastamiento.

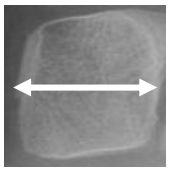
3º **Ni2ºcuña** Dependiendo del resultado del análisis de las características del núcleo, se determina si existen o no existen datos radiológicos que puedan corresponder a una necrosis isquémica de la cuña (ver figura IV. 1 de la discusión, capítulo IV). Resulta una variable dicotómica cualitativa con valor Sí o No.

Variables cuantitativas

Resultan de medir los dos ejes principales de la segunda cuña:

1º **Cuñatra** Medición del eje transversal. El diámetro transversal de la cuña une los dos puntos medios de cada borde, tibial y fibular, de dicho hueso (ver figura II. 5). Coincide con el ecuador de la cuña.

2º **Cuñalo** Medición del eje longitudinal. Este eje constituye la altura de la cuña en sentido proximal a distal. Se calcula mediante una línea que une los dos puntos medios de los bordes proximal y distal de la cuña (ver figura II. 6).



Figua II. 5. Medición del eje transversal de la cuña (Cuñatra).

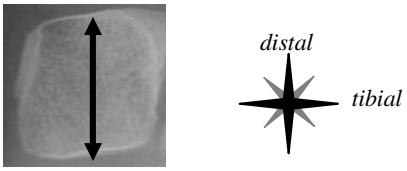


Figura II. 6. Medición del eje longitudinal de la cuña (Cuñalo).

II. C. 3 c. Segundo metatarsiano

El segundo metatarsiano puede ser desglosado en tres piezas separadas para su análisis. En primer lugar se describe, si es que existe, el núcleo de osificación proximal y sus variables medibles. A continuación, descubriendo el metatarsiano hacia distal, aparece el núcleo primario del que se analizan sus metáfisis proximal y distal. Por último se describen las variables del núcleo de osificación distal.

- **Núcleo secundario de osificación proximal del segundo metatarsiano**

Variables cualitativas

Se determina:

1º **Opro2ºmet** Presencia o ausencia de este núcleo en cada imagen estudiada. Su existencia es discutida según la fuente consultada, así hay quien defiende su existencia (Lee y Garn 1967, Rochera y Rabat 1980, Resnick 1981, Keats 1993, Ogden SR 1994, Ogden JPO 1994, Tachdjian 1999, Ogden (2)2000, Taylor y Resnick 2003) y quien no la refiere en su descripción anatómica (Testut 1923, Gómez Oliveros 1960, Köster 1968, Gray 1977, WEA 1980, Montagne 1984, Moore 1989, Sadler 1990, Reverte Coma 1991, Sarrafian 1993, Campos 1997, Scheuer y Black 2000). Ver revisión del arte.

2º **Carpro2ºmet** Las características radiológicas del núcleo, que al igual que ocurre con la cuña, oscila entre una apariencia normal, esclerosis, esclerosis y aplastamiento, fragmentación o, por último, aplastamiento.

3º **Nipro2ºmet** En función de las características radiológicas de este núcleo, se incluye una nueva variable cualitativa que marca la presencia o ausencia de signos radiológicos que pueden ser interpretados como necrosis isquémica del núcleo de osificación.

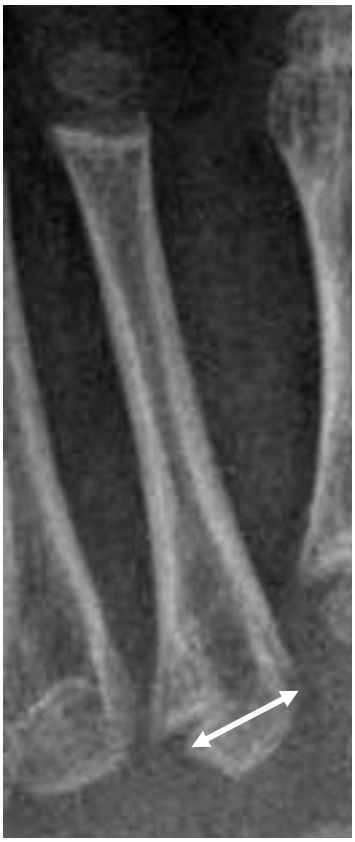
4º **Rispro2ºmet** Determina el grado de cierre de la metáfisis proximal. Es una variable cualitativa ordinal. Como ya se ha explicado, hace referencia a los estados de maduración esquelética, estimando el grado de fusión epífiso-metafisario entre el núcleo secundario proximal y la metáfisis proximal adyacente del núcleo primario. Los valores posibles que recibe esta variable son: rudimentario, formado completamente y separado del primario, fusión parcial y fusión total. A pesar de que algunos autores han tratado la epífisis distal del primer metatarsiano como una pseudoepífisis (Brailsford 1948, Lachman 1953, Caffey 1972, Tax 1985, Montagne 1984, Scheuer y Black 2000), en este apatado no se ha querido adaptar esta condición al núcleo basal del segundo metatrsiano, al no haber autores que discutan tal cuestión. A dichas imágenes sugerentes de pseudoepífisis se las ha tratado como fusiones parciales. A pesar de que después en su análsis se haya estudiado si se comportan como tal o como epífisis verdaderas de crecimiento.

Variables cuantitativas

En presencia de dicho núcleo se mide:

1º **Fipmtra** Diámetro transversal del núcleo de osificación proximal del segundo metatarsiano (ver figura II. 7). Coincide con la anchura máxima posible aproximadamente perpendicular al eje longitudinal del segundo metatarsiano, y que une los bordes tibial y fibular de dicho núcleo.

2º **Fipmlo** Diámetro longitudinal del núcleo de osificación proximal del segundo metatarsiano (ver figura II .8). Es el diámetro proximo-distal del núcleo de osificación a nivel del eje longitudinal del primer metatarsiano. Une los dos puntos medios de los bordes proximal y distal del núcleo.



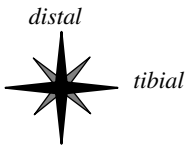


Figura II. 7. Medición del diámetro transversal del núcleo de osificación proximal del segundo metatarsiano (Fiptra).

Figura II. 8. Medición del eje longitudinal del núcleo de osificación del segundo metatarsiano (Fiplo).

- **Núcleo primario del segundo metatarsiano**

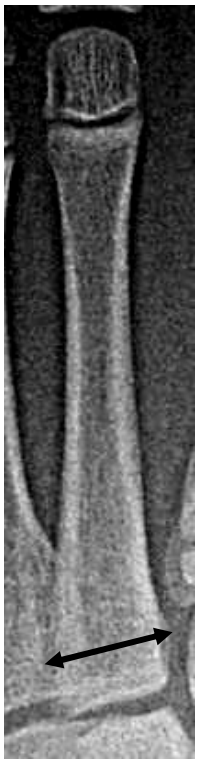
Se realizan dos mediciones fundamentales que sirven más adelante para obtener índices de trabajo estadístico. Ambas son cuantitativas.

Variables cuantitativas

1º **Metaprox** Variable cuantitativa que mide el diámetro transversal que marca la anchura metafisaria proximal del metatarsiano. Se calcula trazando una línea recta a nivel metafisario que parte de la cortical tibial y llega a la cortical fibular, tomando como referencia la zona más ancha de la metáfisis (ver figura II. 9).

2º **Metadis** Se realiza igual que en la zona proximal. Línea transversal que une las corticales tibial y fibular de la zona metafisaria más ancha distal del

segundo metatarsiano, la adyacente al núcleo secundario distal, al cual se fusiona al llegar a la madurez esquelética (ver figura II. 10).



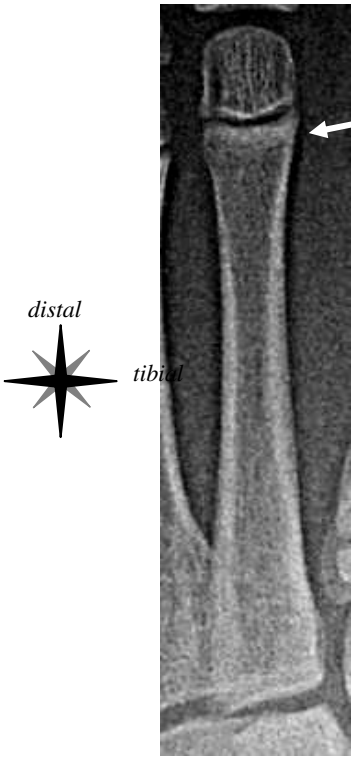


Figura II. 9. Medición de la anchura metafisaria proximal del segundo metatarsiano (metaprox).

Figura II. 10. Medición de la anchura metafisaria distal del segundo metatarsiano (metadis).

- **Núcleo secundario de osificación distal del segundo metatarsiano**

Variables cualitativas

De manera similar a lo realizado con el núcleo proximal del segundo metatarsiano, se revisa:

1º **Odis2ºmet** La presencia o ausencia de dicho núcleo.

2º **Cardis2ºmet** El patrón radiológico característico en los casos donde se encuentra presente. De igual forma realizada con el núcleo proximal, se clasifica como: normal, esclerosis, esclerosis y aplastamiento, fragmentación o, por último, aplastamiento.

3º **Nidis2ºmet** En función de las características radiológicas de este núcleo, se clasifica como presente o ausente la existencia o no de signos radiológicos que alteren la forma y tamaño normal de este núcleo de osificación (ver figura IV. 3 de la discusión, capítulo IV).

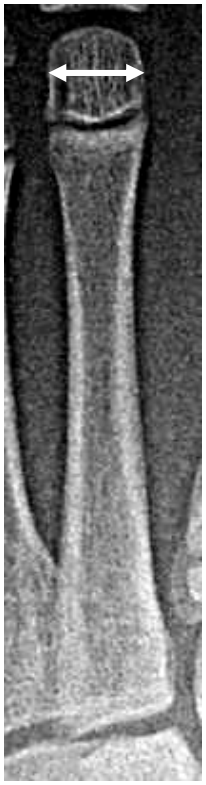
4º **Risdis2ºmet** El grado de osificación del núcleo con respecto a la metáfisis distal del segundo metatarsiano siguiendo la clasificación modificada de Risser (Risser 1958, Pareja 2004).

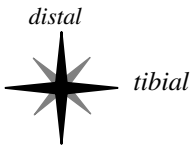
Variables cuantitativas

Se analizan los diámetros:

1º **Fidmtra** El diámetro máximo transversal del núcleo distal del segundo metatarsiano, que aproximadamente divide en dos mitades iguales, distal y proximal, al núcleo (ver figura II. 11).

2º **Fidmlo** La altura o diámetro proximo-distal del núcleo epifisario (ver figura II. 12).





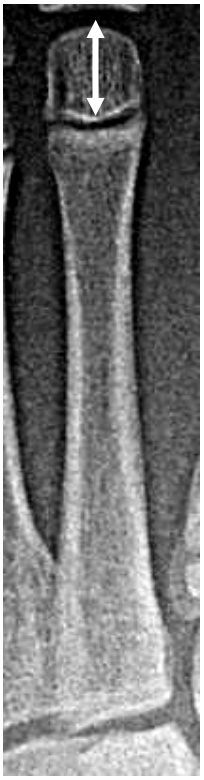
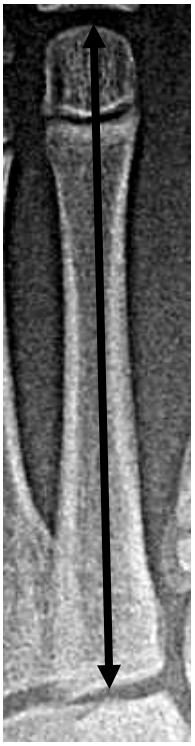


Figura II. 11. Medición del diámetro transversal del núcleo de osificación distal del segundo metatarsiano (Fidmtra).

Figura II. 12. Medición del eje longitudinal del núcleo de osificación secundario distal del segundo metatarsiano (Fidmlo).

Longitud del segundo metatarsiano

Por último, se realiza la medición longitudinal de todo el metatarsiano, incluyendo los núcleos existentes (**Lonmet**) (ver figura II. 13). Al igual que lo referido con el eje total del segundo radio, ha resultado ser una variable útil para calcular determinados índices, claves a la hora de poder obtener algunos de los resultados de este trabajo de tesis. Esta variable cuantitativa resulta de trazar una línea recta desde el punto medio más proximal del metatarsiano (con o sin núcleo proximal) y se extiende hasta el punto medio más distal del mismo (con o sin núcleo distal).



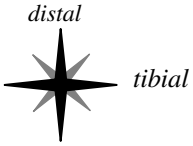


Figura II. 13. Medición del diámetro longitudinal máximo del segundo metatarsiano (Lonmet).

II. C. 3 d. Falange proximal del segundo dedo

En las tres falanges seguimos la misma sistemática.

- **Núcleo de osificación secundario de la falange proximal del segundo radio**

Variables cualitativas

1º **Oproxf1** La presencia o ausencia del núcleo de osificación secundario de la falange proximal en cada imagen radiológica analizada.

2º **Carproxf1** Las características radiológicas de los núcleos mencionados cuando están presentes.

3º **Niproxf1** Mediante esta variable cualitativa dicotómica se describe la existencia de signos radiográficos que sugieran una posible necrosis isquémica de este núcleo (ver figura IV. 6 de la discusión, capítulo IV).

4º **Risproxf1** El grado de osificación de cierre de la metáfisis.

Variables cuantitativas

Continuando con la sistemática empleada en el resto de los núcleos de osificación hemos realizado la medición de:

1º **Fif1tra** Diámetro transversal máximo del núcleo fisario de la falange proximal del segundo dedo (ver figura II. 14).

2º **Fif1lo** Diámetro longitudinal máximo de dicho núcleo de tal manera que al trazar la línea delimita dos mitades prácticamente iguales, una tibial y otra fibular (ver figura II. 15).

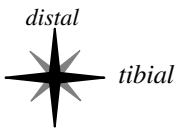


Figura II. 14. Medición del eje transversal del núcleo secundario de la falange proximal (Fif1tra).

Figura II. 15. Modo de obtener la medición del eje longitudinal del núcleo de osificación de la falange proximal del segundo radio (Fif1lo).

- **Núcleo primario de la falange proximal del segundo dedo**

Variable cuantitativa

Metaf1 Medición, mediante variable cuantitativa, de la anchura máxima de la zona radio-lucente de la metáfisis proximal de la primera falange (ver figura II. 16) no tiene por qué ser un diámetro trasnversal puro ni perpendicular al eje diafisario. Es útil para calcular determinados índices utilizados para el análisis estadístico.

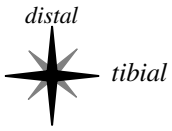


Figura II. 16. Medición del eje transversal de la metáfisis proximal de la falange proximal del segundo dedo (Metaf1).

Longitud de la falange proximal del segundo dedo

Se calcula la variable cuantitativa que mide la longitud del eje anatómico de la falange proximal del segundo radio (**Lonf1**), de forma similar a lo explicado para el segundo metatarsiano. Para ello se dibuja una línea que une la parte central y proximal de dicha falange (incluyendo el núcleo si está presente) con la parte central y distal de la misma (ver figura II. 17).

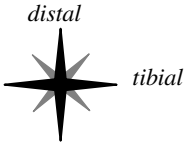


Figura II. 17. Medición del eje longitudinal de la falange proximal del segundo radio (Longf1).

II. C. 3 e. Falange media del segundo dedo

Se calculan las siguientes variables.

- **Núcleo de osificación secundario de la falange media del segundo radio**

Variables cualitativas

Se sigue de forma rigurosa la recogida de datos en este núcleo, al igual que en los otros ya expuestos.

1º **Oproxf2** Si el núcleo de osificación secundario de la falange media del segundo radio del pie está presente o ausente. En esta falange se añade el valor: ausente-c (ausente completo), que define aquella segunda falange que no tiene núcleo secundario en ningún momento de su desarrollo, la llamada osificación anepifisaria.

2º **Carproxf2** Si existe alguna característica radiológica específica según los valores explicados. Se añade a los valores habituales: normal, escleroso, escleroso con aplastamiento, fragmentación y aplastamiento; el valor anucleado, para describir a las falanges medias con ausencia completa de dicho núcleo.

3º **Niproxf2** Según las características observadas, se define la posibilidad de que la imagen radiográfica sea sugerente de necrosis isquémica de este núcleo (ver figura IV. 7 de la discusión, capítulo IV).

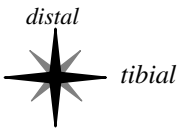
.4º **Risproxf2** Filiar, utilizando la misma escala que en el resto de los grupos, el nivel de osificación de este núcleo epifisario con el primario. No se toma en cuenta la posibilidad descrita de pseudoepífisis (Venning 1960, Köster 1968), tomándose dicha imagen como fusión parcial.

Variables cuantitativas

Se realiza la medición de los siguientes ejes:

1º **Fif2tra** Diámetro transversal máximo del núcleo fisario de la falange media del segundo dedo (ver figura II. 18).

2º **Fif2lo** Diámetro longitudinal máximo de dicho núcleo de tal manera que al trazar la línea delimita dos mitades prácticamente iguales, una tibial y otra fibular (ver figura II. 19).



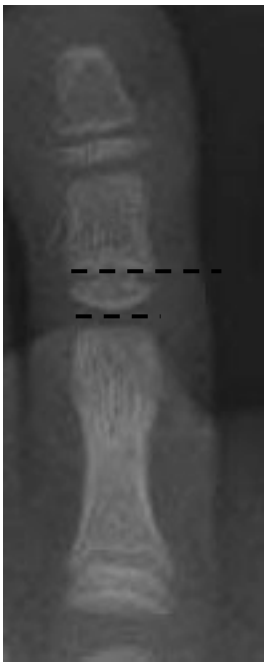


Figura II. 18. Medición del diámetro transversal del núcleo de la falange media del segundo dedo (Fif2tra).

Figura II. 19. Medición del eje longitudinal del núcleo de la falange media del segundo radio (Fif2lo).

- **Núcleo primario de la falange media del segundo dedo**

Variable cuantitativa

Metaf2 Estimación del diámetro transverso máximo de la metáfisis proximal de la segunda falange (ver figura II. 20).

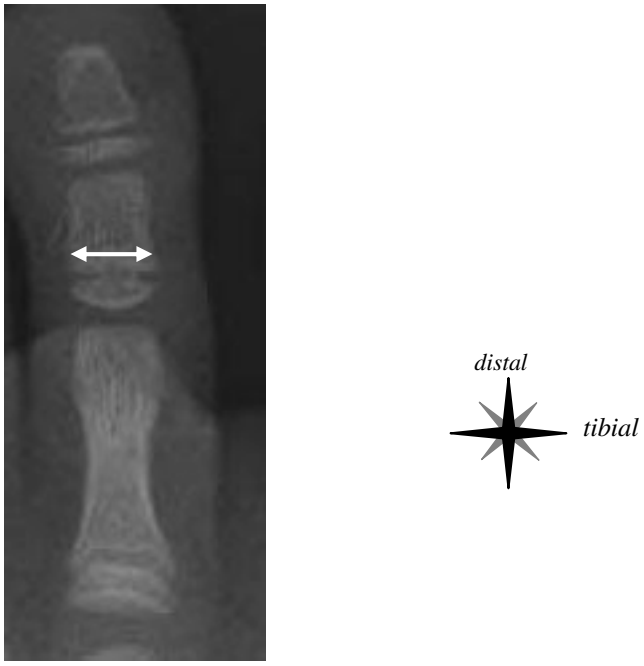


Figura II. 20. Medición del eje transversal de la metáfisis proximal de la falange media del segundo dedo (Metaf2).

Longitud de la falange media del segundo dedo

Al calcular la longitud del eje anatómico de la segunda falange del segundo dedo (**Lonf2**) (ver figura II. 21), se obtienen los datos correspondientes a una variable cuantitativa continua que, al igual que la variable descrita con anterioridad, sirve para relacionar datos de pacientes diferentes.

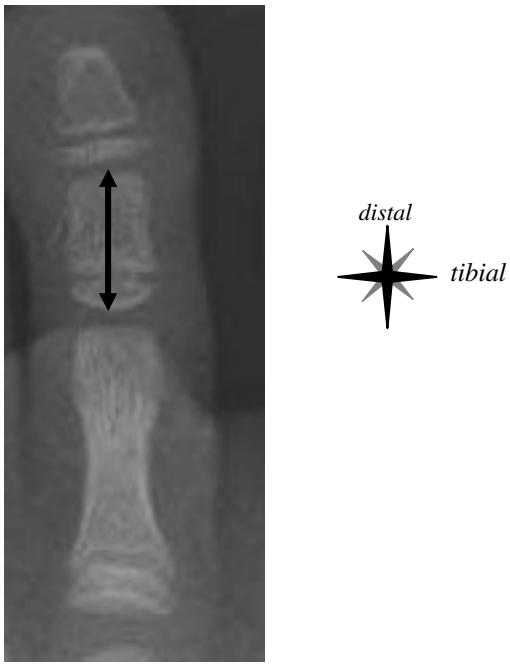


Figura II. 21. Medición del eje longitudinal de la falange media del segundo radio (Longf2).

II. C. 3 f. Falange distal del segundo dedo

La medicion de sus variables se describe a continuación.

- **Núcleo de osificación secundario de la falange distal del segundo radio**

Variables cualitativas

Se practica el análisis correspondiente de las variables.

1º **Oproxf3** Variable que describe la presencia o ausencia del núcleo de osificación secundario de la falange estudiada. No se estudia su ausencia o pseudoepífisis por ser muy difícil evalorar en las imágenes, daría estadísticas erróneas.

2º **Carproxf3** Valora las características radiológicas en la imagen de ese núcleo, desde su normalidad hasta su aplastamiento, tal y como ha sido descrito en el apartado general.

3º **Niproxf3** Tomando en cuenta la variable anterior, se analiza la posibilidad de una señal radiológica sugestiva de la presencia de necrosis isquémica del núcleo.

4º **Risproxf3** Como en el resto de núcleos, clasificamos el grado de fusión epífisometafisaria según la escala de Risser (Risser 1958, Pareja 2004).

Variables cuantitativas

Se procede de la siguiente forma:

1º **Fif3tra** Medición de la distancia transversal máxima del núcleo fisario de la falange distal (ver figura II. 22).

2º **Fif3lo** Medición de la longitud máxima que alcanza dicho núcleo (ver figura II. 23).

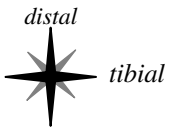


Figura II. 22. Medición del diámetro transversal del núcleo de la falange distal del segundo dedo (Fif3tra).

Figura II. 23. Medición del eje longitudinal del núcleo de la falange distal del segundo radio (Fif3lo)

- **Núcleo primario de la falange distal del segundo dedo**

Variable cuantitativa

Metaf3 Se calcula mediante una línea recta, la distancia mayor del eje transversal de la metáfisis proximal de la tercera falange del segundo dedo (ver figura II. 24).

Figura II. 24. Medición del eje transversal de la metáfisis proximal de la falange distal del segundo dedo (Metaf3).

Longitud de la falange distal del segundo dedo

Por último, se traza una recta que una la parte media proximal de la tercera falange (que incluya al núcleo proximal si está presente), con el vértice distal de dicha falange. Este valor representa la longitud total de este componente óseo, y se denomina **Lonf3** (ver figura II. 25).

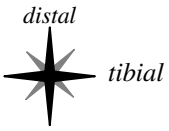


Figura II. 25. Medición del eje longitudinal de la falange distal del segundo dedo (Lonf3).

II. C. 4. Indices obtenidos a partir de las variables

En vistas a poder realizar un estudio comparativo entre las variables de imágenes distintas, se han creado unos índices que manejan los datos de una manera homogéna. Al realizar la inferencia estadística, estos índices han permitido eliminar la distancia focal y la distorsión de la imagen, como factores de confusión al analizar los resultados.

Los índices utilizados (ver tabla II. 5), junto con las abreviaturas designadas en el programa de análisis estadístico SPSS® son los siguientes:

1- **Icuñarad** Indice segunda cuña – segundo radio

Representa la relación existente entre el diámetro longitudinal de la cuña y el diámetro longitudinal total del segundo radio.

El cálculo de este índice se realiza de la siguiente manera:

$$icuñarad = \frac{Cuñalo}{Lonrad}$$

TABLA II. 5. ÍNDICES	
Icuñarad	$\frac{Cuñalo}{Lonrad}$
Icuña2	$\frac{Cuñalo}{Cuñatra}$
Ifipmet	$\frac{Fipmlo}{Lonmet}$
Ifipmet2	$\frac{Fipmlo}{Lonrad}$
Ifidmet	$\frac{Fidmlo}{Lonmet}$
Ifidmet2	$\frac{Fidmlo}{Lonrad}$
Ifipf1	$\frac{Fif1lo}{Lonf1}$
Ifipf1.2	$\frac{Fif1lo}{Lonrad}$
Ifipf2	$\frac{Fif2lo}{Lonf2}$
Ifipf2.2	$\frac{Fif2lo}{Lonrad}$
Ifipf3	$\frac{Fif3lo}{Lonf3}$
Ifipf3.2	$\frac{Fif3lo}{Lonrad}$
I2metrad	$\frac{Lonmet}{Lonrad}$
Ipmet	$\frac{Fipmtra}{Metaprox}$
Idmet	$\frac{Fidmtra}{Metadis}$
Ipf1	$\frac{Fif1tra}{Metaf1}$
Ipf2	$\frac{Fif2tra}{Metaf2}$
Ipf3	$\frac{Fif3tra}{Metaf3}$
Lf2	$\frac{Lonf2}{Lonrad}$

Tabla II. 5. Relación de los índices utilizados en el estudio.

2- **Icuña2** Indice segunda cuña tranversal - longitudinal

Es el cociente entre el diámetro longitudinal de la cuña y el diámetro transversal de la misma.

$$icuña2 = \frac{Cuñalo}{Cuñatra}$$

3- **Ifipmet** Indice epífisis proximal del segundo metatarsiano – longitud total del metatarsiano

Es la relación entre la altura de la epífisis proximal del segundo metatarsiano y la longitud total del metatarsiano.

$$ifipmet = \frac{Fipmlo}{Lonmet}$$

4- **Ifipmet2** Indice epífisis proximal del segundo metatarsiano – longitud del radio

Relaciona al diámetro longitudinal de la epífisis proximal del segundo metatarsiano y la longitud total del segundo radio.

$$ifipmet2 = \frac{Fipmlo}{Lonrad}$$

5- **Ifidmet** Indice epífisis distal del segundo metatarsiano – longitud total del metatarsiano

Resultado del cociente entre la máxima altura del núcleo de osificación distal del segundo metatarsiano y el eje mayor del segundo metatarsiano.

$$ifidmet = \frac{Fidmlo}{Lonmet}$$

6- **Ifidmet2** Indice epífisis distal del segundo metatarsiano – longitud del radio

Cociente entre el diámetro longitudinal del núcleo de osificación distal del segundo metatarsiano y el eje mayor del segundo radio.

$$ifidmet2 = \frac{Fidmlo}{Lonrad}$$

7- **Ifipf1** Indice epífisis de la falange proximal del segundo dedo – longitud de la falange proximal

Es el resultado de dividir la altura de la epífisis de la falange proximal entre la longitud del eje anatómico de dicho hueso

$$ifipf1 = \frac{Fif1lo}{Lonf1}$$

8- **Ifipf1.2** Indice epífisis de la falange proximal del segundo dedo – longitud del segundo radio

Relación entre la altura de la epífisis de la falange proximal y la longitud total del radio

$$ifipf1.2 = \frac{Fif1lo}{Lonrad}$$

9- **Ifipf2** Indice epífisis de la falange media del segundo dedo – longitud de la falange media

Cociente entre la longitud de la epífisis de la segunda falange y la altura máxima de dicha falange.

$$ifipf2 = \frac{Fif2lo}{Lonf2}$$

10- **Ifipf2.2** Indice epífisis de la falange media del segundo dedo – longitud del radio

Relación entre la longitud de la epífisis de la segunda falange y el diámetro longitudinal del segundo radio.

$$ifipf\,2.2 = \frac{Fif\,2lo}{Lonrad}$$

11- **Ifipf3** Indice epífisis de la falange distal del segundo dedo – longitud de la falange distal

Cociente entre la longitud de la epífisis de la tercera falange y la altura máxima de dicha falange.

$$ifipf\,3 = \frac{Fif\,3lo}{Lonf\,3}$$

12- **Ifipf3.2** Indice epífisis de la falange distal del segundo dedo – longitud del radio

Relación entre la longitud de la epífisis de la tercera falange y el diámetro longitudinal del segundo radio.

$$ifipf\,3.2 = \frac{Fif\,3lo}{Lonrad}$$

13- **I2metrad** Indice segundo metatarsiano - segundo radio

Proporción entre la altura total del segundo metatarsiano y la total de todo el segundo radio

$$i2metrad = \frac{Lonmet}{Lonrad}$$

14- **Ipmet** Indice fiso - metafisario proximal del segundo metatarsiano

Cociente entre el diámetro transverso de la epífisis proximal del segundo metatarsiano y la anchura máxima metafisaria proximal (inmediatamente distal al cartílago de crecimiento).

$$ipmet = \frac{Fipmtra}{Metaprox}$$

15- **Idmet** Indice fisario - metafisario distal del segundo metatarsiano

Proporción entre el diámetro transverso de la epífisis distal del segundo metatarsiano y la anchura máxima distal metafisaria (inmediatamente proximal al cartílago de crecimiento distal).

$$idmet = \frac{Fidmtra}{Metadis}$$

16- **Ipf1** Indice fisario - metafisario de la falange proximal del segundo dedo

Cociente entre la anchura máxima de la epífisis de la falange proximal y el diámetro transverso máximo metafisario distal al cartílago de crecimiento.

$$ipf1 = \frac{Fif1tra}{Metaf1}$$

17- **Ipf2** Indice fisario - metafisario de la falange media del segundo dedo

Relación entre la anchura máxima de la epífisis de la falange media y el diámetro transverso máximo metafisario distal al cartílago de crecimiento de dicha falange.

$$ipf2 = \frac{Fif2tra}{Metaf2}$$

18- **Ipf3** Indice fisario - metafisario de la falange distal del segundo dedo
Relación entre la anchura máxima de la epífisis de la falange distal y el diámetro transverso máximo metafisario distal al cartílago de crecimiento de dicha falange.

$$ipf3 = \frac{Fif3tra}{Metaf3}$$

19- **Lf2** Indice longitud segunda falange – longitud del segundo radio
Relación entre la longitud total de la falange media de segundo dedo y la longitud total del segundo radio del pie

$$lf2 = \frac{Lonf2}{Lonrad}$$

II. D. MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Seguidamente comentaremos, tan brevemente como sea posible, los aspectos más relevantes de los análisis estadísticos realizados, recomendando al lector que acuda a la bibliografía de referencia consultada para ulteriores aclaraciones (Fisher 1949, Olivier 1960, Lamotte 1965, Yule et Kendall 1967, Sokal et Rolf 1969 y 1986, Armitage 1971, Romeder 1973, Colton 1979, Carrasco de la Peña 1986, Johnson et Wichern 1988, Fernández Camacho 1990, Doménech Massons 1992, Carrasco et Hernán 1993, Aitken 1995, Álvarez Cáceres 1995, Pardo y Ruiz 2002, Wulf et Gotzsche 2002, Cañellas 2006).

II. D. 1. Análisis de las muestras

Tanto en la muestra del total de casos, como en la del total de pacientes, y en la segregada por cada una de las principales patologías se realizó un análisis de diferencia de porcentajes entre las variables cualitativas sexo y lado, similar al que

se comenta en el apartado II. D. 2 a. Lo que tenía por objeto ver si existían sesgos muestrales o predominio de un tipo de patología en un sexo o lado concreto.

Análogamente se realizó un análisis de diferencia de porcentajes para cada uno de los principales morfo-tipos de antepié (fórmulas digital y metatarsal aisladas o combinadas) entre ambos sexos o en función del lado. Lo que tenía por objeto ver si existían sesgos muestrales o predominio de un tipo de morfo-tipo en un sexo o lado concreto.

También se realizó un análisis de diferencia de medias de la variable edad en función del sexo, del lado, de los morfo-tipos metatarsal, digital y combinado de antepie o de la existencia o no de cada una de las patología consideradas, similar a los que se comentan en los apartados II. D. 2 y 3.

Todos estos análisis son necesarios para evitar confundir reales hallazgos que relacionen por ejemplo retardo en la aparición de núcleos de osificación por causa o acompañando a una patología, con aparentes ya que esa patología se de significativamente más en niños (o niñas) de un grupo de edad concreto.

II. D. 2. Análisis de diferencia de porcentajes entre variables cualitativas

Consideramos variables cualitativas al sexo, lado, a cada uno de los rasgos o variantes de la normalidad de morfotipia del antepié (fórmulas digital, metatarsal y combinada), y a la existencia o no (y en su caso grado de intensidad-gravedad) de los principales grupos de patologías.

II. D. 2 a. Variables cualitativas dicotómicas entre sí

Cada rasgo dicotómico puede tomar dos valores distintos (masculino/ femenino; derecho/ izquierdo; ausente/ presente) de manera que tendremos un total de 2x2 categorías diferentes, entre las que podrán repartirse los diversos individuos observados, quedando definida cada categoría por un estado particular de cada uno de los caracteres. Estas categorías se disponen en una tabla de doble entrada, llamada **tabla contingencia**, en la que las diferentes columnas corresponden a los diversos estados de cada uno de los caracteres y las diversas

líneas a los diferentes estados del otro carácter. El número de individuos que entran en cada categoría constituye la frecuencia absoluta de la clase. Los totales de las líneas y los totales de las columnas indican el número de individuos que presentan el aspecto de uno de los caracteres, independientemente del estado del otro.

A partir de esta tabla podemos ver si se mantienen las proporciones de un carácter en todas las categorías del otro, en cuyo caso asumiremos que hay independencia entre ambos caracteres. Cuando estas proporciones son diferentes se dice que hay asociación de los caracteres.

Es evidente que cuando realmente hay independencia en la población original, las proporciones que se encontrarán en una muestra sacada de la misma diferirán, como consecuencia de fluctuaciones debidas al azar, de las proporciones teóricas de independencia y que por consiguiente, podrán indicar una asociación que no existe en realidad. Por lo tanto, necesitamos un método estadístico que nos permita medir hasta dónde llega el azar, y a partir de qué momento hemos de pensar que el azar no puede justificar tanta diferencia y, por tanto, la asociación es obvia. Resulta aquí necesario el concepto de hipótesis nula, que ahora consiste en suponer que no hay asociación, es decir que el azar explica las desproporciones, y que por tanto los caracteres son independientes. El siguiente paso es incluir en la tabla, junto con las frecuencias observadas, las teóricas o esperadas, que debería observarse, supuesta la hipótesis nula de que los caracteres son independientes. Tenemos, ahora, una distribución experimental frente a una distribución teórica. La prueba estadística capaz de compararlas recibe el nombre de **Chi^2**. Dicho test se basa en considerar como desajuste hallado en nuestro experimento frente a los valores esperados, a la suma de las diferencias cuadráticas relativas entre cada valor experimental y su correspondiente teórico:

$$Chi^2 = \sum [(E-T)^2 / T]; \text{ E, valor experimental y T valor teórico}$$

Basándose en una hipotética repetición infinita del experimento y viendo como se distribuirá esta suma, Pearson nos presenta tabuladas, las máximas diferencias cuadráticas relativas que permite el azar según la seguridad que se exija, y en función del número de términos libres de la distribución o grados de

libertad. Ahora bien, en cualquier tabla de contingencia, el número de grados de libertad se calcula por la fórmula: (filas-1) x (columnas-1) puesto que los totales por filas y columnas son obligados. Entonces la forma de proceder sería, una vez calculado el Chi^2 de nuestro experimento, acudir simplemente a la tabla de Pearson y comprobar si nuestra Chi^2 supera o no el de la tabla. Si lo supera, la hipótesis nula de independencia no podrá ser mantenida, y por tanto, los caracteres estarán asociados. En el caso de que rechacemos la hipótesis nula, la comparación entre las frecuencias experimentales y las esperadas nos dará, en cada casilla, el signo de tal asociación.

Por otra parte cuando el efectivo total de la muestra (como en algunos tipos de patología en un sexo y lado concreto) es inferior a 200 debe de introducirse la **corrección de Yates** sugerida para tales casos. Tal corrección de Yates sólo es aplicable a tablas de 2x2 y consiste en modificar ligeramente las frecuencias obtenidas en las 4 casillas para así obligar a que las diferencias entre los valores experimentales y teóricos (E-T) queden artificialmente disminuidas. Con ello se consigue que sea un poco más difícil alcanzar el Chi^2 necesario para que se supere el valor teórico de la tabla compensando, de esta manera, la disminución de rigor de la prueba realizada con un número de casos inferior a 200. Se resta 0,5 al valor de la casilla experimental que supere al teórico y se suma 0,5 al valor de la casilla experimental que esté por debajo del teórico. Las diferencias E-T se mitigan así y, en consecuencia, la suma $\sum [(E-T)^2 / T]$ se hace menor, con lo que será más difícil alcanzar el Chi^2 teórico de la tabla que el azar explica, consiguiéndose <u>una prueba más conservadora y por consiguiente más fiable</u>. Hemos de señalar que esta prueba, con o sin la corrección de Yates, sólo es aplicable cuando ninguna de las casillas de la tabla de frecuencias teóricas sea inferior a 5 elementos. Cuando se presenta tal circunstancia la prueba que se realizará es la denominada **prueba exacta de Fisher** (siempre que la tabla sea de 2x2) que brevemente consiste en lo siguiente: Sea una tabla del tipo:

A	b	F_1
C	d	F_2
C_1	C_2	n

En dicha tabla n es el tamaño muestral, F_1 y F_2 los totales de las filas y C_1 y C_2 los totales de las columnas. Se ha demostrado que la probabilidad de que se presente la distribución a,b,c,d de las casillas de la tabla viene dada por $p = (F_1! \; F_2! \; C_1! \; C_2!) / (n! \; a! \; b! \; c! \; d!)$. A partir de aquí, el problema se reduce a hallar la probabilidad total de que se presente la situación que se analiza, y todas las más desfavorables que ella, para ver si la hipótesis nula de proporciones iguales debe o no ser rechazada. Esta probabilidad total calculada nos da el nivel de significación exacto con el que podríamos rechazar la hipótesis nula.

El programa estadístico utilizado (SPSS®) facilita a continuación de la tabla de contingencia diferentes pruebas Chi^2, Chi^2 con la corrección de Yates (o por continuidad), la razón de verosimilitud, y la prueba lineal (de Mantel-Haenszel o de regresión lineal) con sus correspondientes grados de libertad y de significación (*p*). Al pie cuando procede indica el número de casillas con efectivo esperado inferior a 5, el menor valor esperado y el número de casos sin valor.

Para saber cuáles de las pruebas utilizar en cada caso debemos resaltar que:

- La **Chi^2** no puede aplicarse si en alguna casilla el efectivo esperado es inferior a 5.
- La **corrección de Yates** sólo es aplicable a tablas de contingencia 2x2, válida con efectivos esperados pequeños (pero no demasiado pequeños), y es recomendable aplicarla siempre a tablas 2x2.
- Conviene emplear las **pruebas exactas de Fisher**, en tablas de 2x2, cuando las muestras son muy pequeñas.
- La **razón de verosimilitud** no debe utilizarse en muestras demasiado pequeñas ya que no incorpora la corrección por continuidad (o de Yates).
- La **prueba de tendencia lineal** de Mantel-Haenszel no se utiliza en las tablas 2x2. Esta prueba tiene interés cuando se relacionan dos variables con categorías ordenadas o una variable binaria (o dicotómica o con 2 categorías) y la otra con categorías ordenadas.

La **razón de verosimilitud** (likehood ratio) es la razón (cociente o relación) de dos funciones de verosimilitud (probabilidades = verosimilitudes),

para cada una de las dos hipótesis alternativas, que se aplica para el test de dichas hipótesis. Es una medida del grado de concordancia entre las frecuencias observadas y las esperadas. Puede aplicarse este "test de bondad de ajuste" en casos en los que no es posible aplicar la Chi^2 (casillas con efectivo esperado menor de 5).

Por todo lo cual, los análisis de porcentajes que se han estimado mejor para analizar variables cualitativas dicotómicas entre sí son las **pruebas exactas de Fisher** y serán por ello a las que nos refiramos al afirmar o no diferencia de porcentajes en el capítulo de resultados de la presente tesis.

II. D. 2 b. Variables cualitativas dicotómicas *versus* no dicotómicas

Análogamente se puede proceder en el caso de rasgos no dicotómicos (p.ej: tipos de fórmula metatarsal, digital o morfo-tipos, combinada, de antepié; grados de Risser; alteraciones radiológicas compatibles con la denominación clásica de "necrosis isquémica",...) frente a rasgos dicotómicos (sexo, lado, ausencia o presencia de una patología concreta, etc) en los que la tabla de contingencia es 2x3, 2x4, etc. En las tablas de contingencia cada casilla representa una combinación de las categorías de estas dos variables enfrentadas. En cada tabla de se ofrecen los casos observados (frecuencias absolutas), el porcentaje de casos sobre el total de la columna o fila así como los porcentajes acumulados.

Para comprender el análisis de diferencia de porcentajes véase lo expuesto en el apartado anterior. El análisis de porcentajes que se ha estimado mejor para analizar variables cualitativas una dicotómica y la otra no dicotómica entre sí es la **razón de verosimilitud** y será por ello a la que nos refiramos al afirmar o no diferencia de porcentajes en el capítulo de resultados de la presente tesis.

En ocasiones se ha eliminado alguna de las categorías, y se repitió el análisis con las restantes una vez que así se reconvirtió la tabla a 2x2 y por tanto es de aplicación lo expuesto en el apartado anterior.

II. D. 2 c. Variables cualitativas no dicotómicas entre sí

Se trata de una generalización de las situaciones comentadas en los apartados precedentes, aquí estamos ante tablas de contingencia de más de 2 categorías tanto en filas como columnas (3x3, etc). Por ejemplo morfotipo (combinado de antepié) y grados de Risser o de alteraciones radiológicas compatibles con las denominadas "necrosis isquémicas".

Para comprender el análisis de diferencia de porcentajes véase lo expuesto en el apartado II. D. 2 a. El análisis de porcentajes que se ha estimado mejor para analizar variables cualitativas no dicotómicas entre sí es la **razón de verosimilitud** y será por ello a la que nos refiramos al afirmar o no diferencia de porcentajes en el capítulo de resultados de la presente tesis.

En ocasiones se ha eliminado alguna de las categorías de cada variable, y se repitió el análisis con las restantes una vez que así se reconvirtió la tabla a 2x2 y por tanto es de aplicación lo expuesto en el apartado anterior.

II. D. 3. Análisis de cada variable cuantitativa *versus* cualitativas

Consideramos variables cuantitativas a cada una de las medidas lineales pero por lo expuesto anteriormente con referencia a los problemas de distancia foco de Rx-placa y placa-máquina de fotos no se han analizado estas variables absolutas sino las variables derivadas o índices. Obviamente también la edad es una variable cuantitativa.

Conceptos básicos previos:

Media aritmética, es en la práctica el parámetro de centralización más importante. $m_x = \sum x_i / n$, siendo n el tamaño muestral.

Desviación típica, es la raíz cuadrada de la varianza, es en la práctica la medida de dispersión más importante.

La **varianza** (variancia según la RAE 1988 y varianza según la RACEFN 1990) se define como la media de los cuadrados de las desviaciones de la media (diferencia de los datos con su media).

$$V= [\sum (x_i - m_x)^2]/ n.$$

Este índice es fácilmente comprensible y calculable, y se basa en todas las desviaciones, con lo cual resulta ser una excelente medida de dispersión. Ahora bien, tiene un inconveniente ya que la varianza tiene como unidad la misma de los datos pero elevada al cuadrado. Por ello, para tener un índice de dispersión en la misma unidad que los datos se considera la raíz cuadrada de la varianza, es decir la desviación típica.

Elevar al cuadrado las desviaciones a la media puede parecer un poco artificioso, pero obsérvese que de nada serviría tomar la simple suma de tales desviaciones para obtener una media de dispersión, pues tal suma es precisamente cero. El elevar al cuadrado dichas desviaciones nos permite obviar el inconveniente de los signos negativos, de manera que la media de tales desviaciones al cuadrado (varianza), y por tanto su raíz cuadrada (desviación típica) es un número que evidentemente varía con la dispersión de las diversas medidas alrededor de su media.

La **desviación estándar** es similar a la desviación típica, con la cual frecuentemente se confunde en la literatura científica, pero se diferencian en el denominador ya que en la desviación típica es n (número de casos) y en la desviación estándar es n-1. De otro modo, la desviación estándar es la raíz cuadrada de la cuasi-varianza muestral, la cual a su vez, es la suma de los cuadrados de las desviaciones de los elementos de la muestra a la media muestral, dividida por el tamaño muestral menos 1. La introducción de este concepto de cuasi-varianza muestral se justifica porque es un estimador insesgado (o centrado) de la varianza poblacional.

La respuesta a la pregunta de hasta qué porcentajes se puede considerar una distribución suficientemente concentrada, no es fácil, pues depende de lo que

se pretende hacer posteriormente con ella. Ahora bien, siguiendo a Carrasco "en general, para distribuciones biológicas de datos, sin valores negativos, se pueden considerar suficientemente concentradas aquellas distribuciones cuya desviación típica no exceda de la tercera parte de la media, desviaciones entre un tercio y la mitad de la media empiezan a traducir dispersiones grandes, y desviaciones superiores a la mitad de la media traducen claramente dispersiones excesivas" (Carrasco 1986).

El **error estándar de la media** mide la dispersión imaginaria que presentarán las sucesivas medias que se obtengan ante una hipotética repetición del experimento infinitas veces. Su importancia es pues, fácil de comprender, ya que "el interés de los resultados de un trabajo de investigación realizado sobre una muestra limitada está condicionado a que a partir de ellos puedan formularse leyes generales válidas para la población total de donde procede la muestra" (Fernández Camacho 1990). Es evidentemente lógico adoptar la media muestral como valor estimado de la media desconocida de la población total, y estudios estadísticos la avalan como la mejor estimación. Ahora bien, ya que en la práctica todas las composiciones o casi todas son posibles para una muestra tomada de una población cualquiera, si no existen límites estrictos que no podrían rebasarse en la población de donde se ha tomado la muestra, es natural buscar aquellos valores límites con pocas posibilidades de ser excedidos. Así, se procede a fijar *a priori* el grado de seguridad de los límites que se buscan: su **coeficiente de seguridad** o inversamente el **coeficiente de riesgo** o **probabilidad de error** que se admita. Así pues, si se consigue calcular el margen de variación de nuestra media ante una repetición infinita del experimento, se llega a definir la población, no ya con una media fija estimada, sino en forma de margen de tolerancia del que no escaparía más que un porcentaje de ocasiones en que se repitiera el experimento, porcentaje que se fija *a priori* y es lógicamente pequeño. El intervalo así definido se llama **intervalo de confianza**, y por lo expuesto va ligado directamente al coeficiente de seguridad admitido. En este trabajo el coeficiente de seguridad escogido para la media ha sido al menos al 95%.

Si se repitiera el experimento infinitas veces, cada vez trabajaríamos con una muestra distinta a partir de la cual obtendríamos la media muestral

correspondiente. Todas estas medias diferirán más o menos de la verdadera media poblacional. Ahora bien está probado (Lamotte 1965, Carrasco 1986) que para tamaños grandes (entendiendo por tales mayores de 30) siempre que la repetición del experimento sea infinita, las medias de las muestras están distribuidas normalmente alrededor de la verdadera media poblacional. A la desviación típica de esta distribución se la denomina error estándar de la media, y esto justifica nuestra anterior afirmación según la cual el error estándar de la media nos mide la dispersión imaginaria que presentarían las sucesivas medias que se obtendrían ante una hipotética repetición infinita del experimento. En conclusión y siguiendo a Carrasco "así como la desviación típica, con la media define la muestra, el error estándar (de la media) define la tolerancia y seguridad en la población de los resultados de la muestra" (Carrasco 1986).

El valor del error estándar de la media puede calcularse a partir de la muestra mediante la división de la desviación típica (σ) por la raíz cuadrada de n-1, siendo n el tamaño muestral. Finalmente, para toda curva normal, los límites del intervalo de confianza al 95% se calcularían a partir de la media ± 2 veces el error estándar de la media, siempre que $n > 30$.

II. D. 3 a. Análisis univariante

II. D. 3 a. 1. Análisis de cada variable cuantitativa *versus* cualitativa dicotómica. Anova y diferencia de medias

Con el **test inferencial de homogeneidad de medias** se trata de determinar si la diferencia entre las medias de las muestras puede ser únicamente atribuida a fluctuaciones debidas al azar, dependientes del efectivo limitado de las muestras o si, por el contrario es demasiado importante para que se pueda admitir que las muestras proceden de una población única.

El principio general del método empleado (conocido como **test de la t de Student-Fisher**) se basa en la consideración de la ley de distribución de la toma de las muestras de la diferencia de las medias en las dos muestras tomadas al azar en una población. La comparación de la diferencia de medias calculada efectivamente a partir de las dos muestras experimentales con dicha ley de distribución, permite concluir si la diferencia de medias es estadísticamente

significativa. En resumen, se trata de imaginar la repetición indefinida del experimento completo pero suponiendo de entrada que ambas muestras son homogéneas. Es decir se toma como hipótesis nula la suposición de que ambas medias son iguales. El objeto de los test de contraste de hipótesis, es el rechazo de la hipótesis nula considerada en cada caso, con una probabilidad de error impuesta *a priori*, o lo que es igual con un coeficiente de seguridad prefijado.

Lo primero que conviene hacer es un **test de homogeneidad de varianzas**. El test más clásico es conocido como el test de la F de Snédecor que parte del cálculo del estadístico F. Hemos de señalar, que dado que la distribución del estadístico F es sensible a desviaciones de la normalidad (Armitage 1971), el estadístico utilizado por nosotros para el test de igualdad de varianzas es el propuesto por **Levene** que no presenta tal problema (Brown et Forsythe 1974).

Si las varianzas han resultado ser significativamente diferentes, se dispone del resultado teórico que afirma que si el valor experimental, es superior al valor teórico de la t de Student para muestras de varianzas no homogéneas, para los grados de libertad y nivel de significación escogido (valores que están tabulados), se rechaza la hipótesis nula y por tanto se admite que la diferencia de medias es estadísticamente significativa con la probabilidad de error (nivel de significación) previamente establecido.

Para el caso en que las varianzas poblaciones no hayan resultado significativamente diferentes, se dispone del resultados teórico que afirma que si el valor experimental, es superior al valor teórico de la t de Student para muestras de varianzas homogéneas, para los grados de libertad y nivel de significación escogido (valores que están tabulados), se rechaza la hipótesis nula y por tanto se admite que la diferencia de medias es estadísticamente significativa con la probabilidad de error (nivel de significación) previamente establecido.

Se ha de resaltar que "**por la propia naturaleza de estos test, si no podemos rechazar la hipótesis nula, lo más que podemos enunciar como conclusión es que nuestro experimento no nos permite demostrar que las muestras sean distintas**" (Fernández Camacho 1990). Aquí se cumple una vez más el hecho conocido de que "la ausencia de evidencia no evidencia la ausencia".

De lo contrario entraríamos en la conocida y clásica trampa filosófico-teológica que se proponía a los no-creyentes: "demuestre la inexistencia de Dios". Cuya versión actual podría ser "demuestre que no existe vida extraterrestre". Obviamente ni en lógica (Filosofía) ni en Ciencia se puede demostrar la inexistencia de algo, de otro modo las afirmaciones en Ciencia tienen que ser en sentido positivo.

Además toda afirmación científica está sujeta a una probabilidad de error y a revisión conforme avanza la Ciencia. Para tales conclusiones en este trabajo se ha exigido que el nivel de significación fuese al menos menor o igual a 0,05, lo que nos garantiza al menos una seguridad de acierto del 95%.

A continuación se da el valor de la F experimental del test de Levene para el contraste de homogeneidad de varianzas con el valor de la *p* (probabilidad de error al afirmar diferencia de varianzas). Seguidamente aparece el test de la t de Student de contraste de igualdad de medias, especificándose los valores de la t-experimental en el supuesto de que las varianzas sean significativamente diferentes o en el que tal cosa no pueda afirmarse. Lógicamente la consideración de una u otra t dependerá del resultado del test de la F de Levene. A continuación de los valores de la t aparecen los grados de libertad, el nivel de significación (probabilidad de error al afirmar diferencia de medias significativa), la diferencia entre las medias, el error estándar de la diferencia y el intervalo de confianza de la diferencia, de las distribuciones correspondientes.

Recordemos aquí que por grados de libertad se entiende el número de términos realmente libres, es decir aquellos cuya aparición no es obligada, realmente independientes, esto es que se podrían fijar arbitrariamente, con independencia de los valores de los términos de la distribución experimental. En el caso de p. ej. La estimación de la media de una población, al suponer que la obtenida en la muestra va a definir el centro del intervalo de confianza, estamos obligando a la media, condición que resta un grado de libertad. Con un elemento menos, n-1, al obligar la media queda definida la serie ya que el último término podría ser calculado a partir de los demás valores. Cada condición que se ponga resta un grado de libertad.

En el caso de que la variable cualitativa dicotómica sea el sexo, el objetivo no es en principio determinar el mismo, conocido por la clínica, sino que con estos estudios podemos detectar determinadas variables cuantitativas índices que varían significativamente en un sexo concreto. Tales variables serán aquellas para las que hayamos obtenido diferencia de medias estadísticamente significativas.

En el caso de que la variable cualitativa dicotómica sea el lado, el objetivo no es determinar el mismo pues es fácil hacerlo si se ha tenido la precaución de marcar la placa al momento de obtenerla, sino evaluar si hay variables en las que influya el lado lo cual podría estar en relación con por ejemplo una posible asimetría funcional.

En el caso de que la variable cualitativa dicotómica sea la presencia o ausencia de un rasgo (variante de la norma) o una patología, el objetivo es determinar que variables cuantitativas presentan diferencias lo cual apuntaría a una relación entre la presencia/ausencia y la variable cuantitativa considerada, si bien la interpretación de la misma debe hacerse conforme a la lógica biológica ya que el análisis estadístico *per sé* no indica causa-efecto.

II. D. 3 a. 2. Análisis de cada variable cuantitativa *versus* cualitativa no dicotómica. Test de Tukey

En el caso de que la variable cualitativa no dicotómica sea un rasgo (existencia e intensidad de la variante de la norma, p.ej. fórmulas de antepie o "alteraciones radiológicas del núcleo epifisario"), el objetivo es determinar que variables cuantitativas presentan diferencias lo cual apuntaría a una relación entre la variable cualitativa y la variable cuantitativa considerada, si bien la interpretación de la misma debe hacerse conforme a la lógica biológica ya que el análisis estadístico per sé no indica causa-efecto.

Este análisis es en gran medida análogo al precedente. Se impone comenzar con un análisis de las varianzas muestrales, lo cual se realiza con el **análisis de la varianza de una factor de Fisher** (*analysis of variance*, **ANOVA**), que pude considerarse una generalización de la prueba de la varianza expuesta en

el apartado precedente. En efecto, aquí la hipótesis nula es que las medias de cada grupo proceden de poblaciones con igual varianza y con medidas poblaciones todas iguales. El programa (SPSS®) proporciona una tabla (no incluida en cada apéndice estadístico correspondiente por simplificar y ya que este ANOVA no es sino un paso intermedio para el análisis de Tukey que exponemos después) en la cual aparecen en sus columnas la suma de los cuadrados, los grados de libertad, la media cuadrática, la F y la signifcación (Sig o *p*).

De acuerdo con Armitage (1971):

La suma "total" de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media de todos los valores de la variable analizada puede dividirse en dos partes: Uno, la suma de los cuadrados de las desviaciones de cada lectura alrededor de la media de su grupo correspondiente, y dos, la suma de los cuadrados de las desviaciones de cada media de grupo alrededor de la media general (contándose una vez para cada observación). Si existen grandes diferencias entre las medias de los grupos, es probable que la suma de los cuadrados entre grupos sea mayor que la suma de los cuadrados intra-grupos. Si todas las medias de los grupos son casi iguales y aún existe una considerable variación intra-grupos, es probable que suceda lo contrario. Los tamaños relativos de las sumas de los cuadrados entre grupos e intra-grupos, ofrecen la oportunidad de valorar la variación entre las medias de los grupos en comparación con la variación intra-grupos.

Consideremos ahora el probar la existencia de diferencias reales entre grupos. Como en el caso de la prueba de la t para variable dicotómica, de momento asumimos como hipótesis nula que la varianza es la misma para todos los grupos. Tres formas hay para estimar la varianza poblacional:

1ª A partir de la suma total de los cuadrados: el conjunto total de las n observaciones puede considerarse como una muestra aleatoria de tamaño n, y por consiguiente la división de la suma de los cuadrados total por el tamaño muestral menos 1, es un estimador insesgado de la varianza poblacional.

2ª A partir de la suma de los cuadrados intra-grupos: se pude deducir una estimación combinada basada exclusivamente en la variación intra-grupos (mediante una extensión del procedimiento empleado en la prueba de la t para dos muestras), de tal manera que obtendremos la media cuadrática intra-grupos como

el resultado de la suma de los cuadrados intra-grupos por n-(el número de grupos), el cual es un estimador de la varianza poblacional.

3ª A partir de la suma de los cuadrados entre grupos: se pude obtener una estimación insesgada mediante el cálculo de la media cuadrática entre grupos, que se obtiene de dividir la suma de los cuadrados entre grupos por el número de grupos menos 1.

Supongamos que la hipótesis nula (varianza igual en todos los grupos) no es cierta: la media cuadrática intra-grupos sigue siendo una estimación insesgada de la varianza poblacional, por estar basada exclusivamente en la variación intra-grupos; pero la media cuadrática entre grupos, al estar basada en la variación entre las medias de grupo tenderá a crecer. De otro modo, si la hipótesis nula es cierta las dos medias cuadráticas estiman la misma cantidad, y por tanto, no deberían ser muy diferentes. Si la hipótesis nula no es cierta, la media cuadrática entre grupos es mayor en promedio que la varianza poblacional y tenderá a ser mayor que la media cuadrática intra-grupos. El cociente entre las medias cuadráticas entre-grupos e intra-grupos, simbolizado por F, es una prueba apropiada para la hipótesis nula, y se distribuye como una F, y la suma de los cuadrados entre-grupos e intra-grupos se comportan como dos estimadores independientes de la varianza, con número de grupos-1 y n-(número de grupos), grados de libertad respectivamente. Las desviaciones de la hipótesis nula tenderán a proporcionar valores de F mayores a la unidad. Una prueba de significación de la hipótesis nula debería, por lo tanto, considerar significativos sólo aquellos valores suficientemente altos. Si el cociente F no es significativo, o incluso lo es ligeramente, tiene poco sentido examinar las diferencias entre pares medias. Si F es significativo, contamos con una evidencia razonable de que existen diferencias reales entre medias y que son lo suficientemente grandes para mostrarse por encima del azar.

Ya que el ANOVA no es sino un paso intermedio para el subsiguiente análisis de Tukey, las correspondientes tablas del ANOVA se han omitido en los apéndices estadísticos para abreviar.

El problema de analizar si hay diferencia de medias para cada una de las variables cuantitativas del estudio entre los diversos grupos (>2) de un rasgo o patología es un problema de comparaciones múltiples en el que cabe plantearse el uso directo de la prueba *t* o de las pruebas de *F* como apropiado para las diferencias lineales más generales que surgen de manera natural de la estructura de la investigación. Como bien afirman Armitage et Berry: si existen k grupos, existen 1/2 k (k-1) pares de medias que podrían ser comparados y no existe límite en cuanto al número de contrastes lineales que pueden plantearse (Armitage et Berry 1992). Todas estas comparaciones no son independientes, pero queda bastante claro que, incluso cuando la hipótesis nula es cierta, en cualquier grupo de datos es probable que alguno de estos contrastes resulte significativo. Una investigación suficientemente minuciosa revelará a menudo la existencia de contrastes significativos aparecidos puramente por causa del azar. Ello no debe importar si se restringe el escrutinio a aquellas comparaciones para las que fue diseñado el estudio. Si, en cambio, los datos se someten a lo que a veces se denomina procedimiento de "ir de pesca" –una busca de contrastes significativos en los que inicialmente no se había pensado-, existe un peligro real de que se considere significativo un número determinado de contrastes, aparecidos casi todos por causa del azar. Se han ideado algunos procedimientos para reducir la probabilidad de que ello ocurra. Se denominan **métodos de comparaciones múltiples** o **de inferencia simultánea** (Sokal et Rohlf 1969, Armitage et Berry 1992). De entre los varios procedimientos de comparaciones múltiples de medias nos parece adecuado el propuesto por Tukey, en 1951, que se conoce como **método de tolerancias** o **procedimiento w de Tukey** o **procedimiento de la diferencia significativa imparcial** o **test simultáneo del rango**.

En las correspondientes tablas de los apéndices estadísticos se pueden observar en sus columnas: las variables dependientes (cuantitativas), los grupos de las variables cualitativas, la diferencia de las medias, el error típico, la sig. (*p*) y el intervalo de confianza al 95%. Cuando existe diferencia de medias junto a tal diferencia aparece un asterisco que lo resalta. En caso de encontrar tal diferencia hay que acudir a la tabla de los "descriptivos" para ver que media es mayor que otra para cada par de grupos enfrentados con tales diferencias significativas.

II. D. 4. Análisis de las variables cuantitativas entre sí

II. D. 4 a. Análisis de correlaciones

Entre cada índice y la edad se calculó el coeficiente de correlación. La correlación es la prueba estadística que nos permite investigar si dos o más variables cuantitativas están ligadas de alguna forma, es decir, si la variación de una de ellas produce variaciones en la otra. Este es el paso previo para intentar establecer leyes que unan las dos variables.

El **coeficiente de correlación o coeficiente de correlación del producto-momento o r de Pearson** entre dos variables X e Y se define como:

$r = p / (\sigma_x \sigma_y)$,

donde p es la covarianza, que a su vez se define como:

$p = (\sum (x-m_x) (y-m_y)) /n$, siendo m_x y m_y la media de la variable X y de la variable Y; x e y los valores de estas variables desde i=1 a i=n , siendo n el número de casos y σ_x y σ_y son las desviaciones estándar de las variables.

Dicho en otros términos el coeficiente de correlación se obtiene estandarizando la covarianza para eliminar la influencia de las unidades de medida.

Si r = 0 no hay correlación entre las dos variables. Si r = -1 ó r = +1 hay una correlación perfecta negativa o positiva, entre las dos variables. Una correlación positiva indica que una variable crece al crecer la otra, mientras que una correlación negativa indica que una variable decrece al crecer la otra.

Ahora bien, las correlaciones extremas son inusuales y hemos de poder valorar cuándo un coeficiente de correlación es significativo y con qué seguridad. La prueba estadística correspondiente se denomina significación del coeficiente de correlación. Consiste en el cálculo a partir de la muestra del valor resultante de dividir r por la raíz cuadrada de: $(1-r^2)/ (n-2)$; este valor se compara con el de la t de Student con n-2 grados de libertad al nivel de significación deseado. Si el valor muestral supera al teórico diremos que el coeficiente de correlación es significativo. No obstante, existen unas tablas que proporcionan, para distintos

tamaños de muestra, los límites superados los cuales se pude tomar r como significativo así como los niveles de significación.

Dado que influye el tamaño muestral (n) y éste es distinto para cada una de los sub-grupos muestrales el límite superado el cual r es significativo varía para un mismo nivel de significación (tanto si es *p* 0,01 como *p* 0,05).

En los correspondientes apéndices estadísticos se muestran representados como 1 o 2 estrellas las correlaciones al 0,05 o al 0,01 de probabilidad de error, considerándose significativas ambas aunque cada una a su nivel de seguridad, no hacemos por tanto la diferencia terminológica del programa SPSS® entre significativa (0,01) y significante (0,05). Además se aportan para cada par de variables analizadas el valor de la r, el tamaño muestral (n) en que ambas variables se han medido, y la probabilidad de error caso de afirmar la correlación entre dichas variables.

Queremos resaltar que el que exista correlación significativa entre dos variables sólo indica una relación matemática y que la significación biológica depende de la interpretación que de dicha relación hagamos. Así, entre dos variables puede haber una alta correlación que no ofrezca, al menos de forma aparente, interés clínico o forense, y por el contrario una correlación significativa aunque de bajo valor de la r puede tener un alto interés clínico o forense. No estamos por tanto de acuerdo con aquellas interpretaciones según las cuales cuanto más alto el valor de la r mejor aunque no indique en el fondo nada y que correlaciones significativas bajas no valen aunque la relación que indican tenga alto interés biológico, clínico o forense. Lo que acabamos de afirmar cabe lógicamente mantenerlo también para el "sacralizado" coeficiente de determinación que no es sino r^2. Un coeficiente de determinación alto entre dos variables puede en realidad indicar que ambas miden lo mismo y carecer en realidad de valor. En definitiva, es la interpretación del análisis estadístico lo que marca la importancia de la correlación encontrada entre dos variables.

El interés en nuestro trabajo de este análisis es establecer ecuaciones predictivas de la edad, en un caso problema, a partir de cada uno de los índices

analizados, lo que era uno de los objetivos de la presente tesis. Ahora bien, en estudios de crecimiento y desarrollo se observa que a menudo las variables dibujan un diagrama de dispersión que las relacionan no de maera lineal, sino según un modelo exponencial, obtiéndose mejores aproximaciones mediante ajustes exponenciales. Este análisis de regresión curvilínea, se analiza mejor a travésde procedimientos de estimación curvilínea

II. D. 4 b. Análisis de regresión curvilínea

La estimación curvilínea sólo tiene sentido al comparar dos variables cuantitativas, una independiente (en nuesro caso los distintos valores dictados por los índices) y otra dependiente (en nuestro caso la edad). Siendo Y la variable dependiente, y X la variable independiente, se aplica el modelo exponencial de regresión con la fórmula:

$$Y = B_0 \, e^{B1 \, X}$$

El analizador *SPSS*® muestra el cuadro del coeficiente de correlación (o coeficiente de determinación) entre los valores de la variable dependiente y los pronosticados para cada modelo (*Rsq*), los grados de libertad (*d. f.*), el estadístico *F* y su significación (*sigf.*), y las estimaciones correspondientes a los parámetros de cada moelo (b_0, b_1, etc.). El valor *F* resultante sirve para contrastar la hipótesis nula de que la correlación entre los valores observados y los pronosticados por el modelo vale cero en la población.

II. D. 5. Corolario análisis estadístico:

A continuación se ilustran esquemáticamente los criterios seguidos para cada análisis

ENTRE VARIABLES CUALITATIVAS (*p* 0,05; 95% aciertos)

Tablas de contingencia 2x2 Análisis de diferencia de porcentajes	
No	**Sí**
Chi-cuadrado	Estadísticos exactos de **Fisher unilateral** o de una cola **y bilateral** o de dos colas
Corrección de Yates por continuidad	
Razón de verosimilitud	

Tablas de contingencia de >2 x 2 Análisis de diferencia de porcentajes
Razón de verosimilitud

ENTRE VARIABLES CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS

Cualitativa dicotómica frente a cuantitativa
Univariante
Análisis de diferencia de varianzas de Levene
Análisis de diferencia de medias T
Sig 0,05 (95% aciertos)

Cualitativa no dicotómica frente a cuantitativa
Análisis de diferencia de varianzas (ANOVA)
Método de las tolerancias o prueba post-hoc de Tukey o de la diferencia significativa menor honesta o de la significativa imparcial o test simultáneo del rango
Sig 0,05 (95% aciertos)

ENTRE VARIABLES CUANTITATIVAS

Análisis de correlaciones r de Pearson (*Sig* al menos 0,05 95% aciertos)
Ecuaciones exponenciales predictivas de la edad