

# TESIS DOCTORAL

programa de NEUROCIENCIA

Facultad de Ciencias Biológicas  
de la  
Universidad Complutense de Madrid



## Dimensión Fractal, Entropía, y Belleza en Árboles Vasculares de Mamíferos

*presentada por: Julio Gil Garcia*

*dirigida por: Dr. D. Rafael Lahoz-Beltrá*



*Los sentidos se deleitan en las cosas debidamente proporcionadas*  
(Santo Tomás de Aquino. 1223-1274)

*Quod non est in formula non est in mundo*  
(Ludwig von Bertalanffy. 1901-1972)





# 1. INTRODUCCIÓN y PLANTEAMIENTO del PROBLEMA

Una vez que en 1628 William Harvey demostró el funcionamiento del aparato circulatorio, en la circulación mayor, su estudio morfológico se ha concentrado en:

- Inventariar con detalle sus componentes.
- Conocer la causa de sus fallos, origen de las numerosas enfermedades cardiovasculares.
- Averiguar su morfofisiología y bioquímica, para su uso terapéutico en transplantes diversos.
- Determinar su ontogenia.
- Establecer la filogenia.

Después de casi cuatrocientos años, ninguno de los cinco puntos enunciados está completado.

Macroscópicamente, se observa una enorme variabilidad en los árboles vasculares de los mamíferos, aún dentro de la misma raza y en vasos de gran calibre: aorta, cavas, etc. Variaciones todas ellas tan compatibles con una fisiología normal del animal, que suelen ser hallazgos en autopsias o en necropsias (Young, 1957; Grassé, 1972).



William Harvey  
(1578 - 1657)

Pese a esta dificultad, mediante cientos de años de investigación, se han conseguido inventariar los patrones vasculares más frecuentes de las especies de mamíferos domésticos y del hombre. Quedando recogidos en las llamadas nóminas anatómicas, que son la referencia internacional de las partes anatómicas y su nomenclatura (Schaller, 1996; Feneis & Dauber, 2000; WAVA, 2003).

El premio nobel de 1956, Werner Forssman, en 1929 (Martínez & Toledo-Pereyra, 2000) inició la técnica del cateterismo vascular en animales vivos, autointroduciéndose un cable en el brazo, desde su vena cefálica hasta el atrio derecho de su corazón. Ello supuso un estímulo para conocer con precisión los detalles vasculares. Necesarios para el uso seguro de esta técnica tanto en exploraciones, como en cirugía de mínima invasión, sobre todo en el hombre.



Werner Forssman  
(1904 - 1979)

Como respuesta a esta necesidad, los capítulos dedicados a la angiología, de las nóminas anatómicas se han ido incrementando y actualizando.

La filogenia vascular, estudiada desde la morfología, plantea que hay patrones macroscópicos, con notables similitudes entre especies próximas. Y diferencias microscópicas, que seguramente son individuales (Nickel et al., 1986; Dyce et al.,1987; Noden & de Lahunta. 1990; Liem et al., 2001; Kardong, 2002).

Las diferencias individuales, se deberían a que el genoma, aún influenciando la estructura del árbol vascular en mamíferos (Glenny et al., 2007), no tiene extensión como para codificar todas las intrincadas conexiones entre arterias y venas, donde las particularidades individuales, contempladas como azar, juegan un papel importante en el establecimiento de la microanatomía del sistema circulatorio.

No obstante todos los sistemas circulatorios de las especies tienen una organización común (d'Ancona, 1966; Testut & Laterjet, 1976; Balinsky, 1983; Nickel et al., 1986; Dyce et al.,1987; Noden & de Lahunta. 1990), de estructura arbórea, porque su formación está muy condicionado por parámetros físicos y fisiológicos (MacDonald N. 1983; LaBarbera, 1990; Gódde & Kurz. 200; Gilbert, 2003).

La construcción de un sistema circulatorio, resulta de un equilibrio entre todas estas restricciones, que deben tenerse en cuenta cuando se modeliza el proceso mediante ordenador (Gódde & Kurz, 2001).

Los estudios morfológicos de los árboles vasculares, se han centrado en su forma, seguramente por su indudable interés clínico.

A través de ésta, y por su aspecto, se acepta que son similares. Argumento discutible, puesto que sólo se apoya en la convicción del observador. La comparación directa de estas morfologías, cuando proceden de individuos con diferencias de escala, aún dentro de la misma especie, plantea un problema enorme de adaptación de escalas. De hecho no hemos encontrado estudios de este tipo, previos.

Pero en un árbol vascular, además de la forma, están las relaciones.

Con ellas, podemos establecer diagramas tipo Beck, como los existentes en los mapas utilizados en los metros, donde se prioriza la claridad de las conexiones sobre las dimensiones reales de los trayectos y sus recorridos (Wikipedia1, 2007).



Plano tipo Beck (ideado en 1931, por Henri Beck, técnico del metro de Londres)

Comparar estos diagramas permite obviar las diferencias de tamaño, e incluso las derivadas de su disposición espacial, manteniendo, eso sí, las relaciones entre los vasos. Es entonces posible, plantear comparaciones inter e intra específicas. Siempre y cuando dispongamos de un inventario fiable de los árboles vasculares a comparar. Así como de una herramienta que permita construirlos, junto con la facilidad suficiente como para abordar su fácil reconstrucción, en un número suficiente de comparaciones.

Este tipo de comparaciones, por las características de las morfologías sobre las que se efectúan, no tienen porqué ser sólo estadísticas. También son posibles otras, basadas en índices, que contengan más información sobre el conjunto del árbol en función de su complejidad, disposición espacial, etc.

Precisamente éste es el objetivo del trabajo. Y al llevar a cabo su consecución, se objetivará un método para la comparación morfológica, de un árbol vascular, respecto a otro. Ello es el núcleo de la hipótesis a demostrar.

## 1.1. Anatomía

En los mamíferos, el aparato circulatorio está formado por órganos análogos integrados en:

- **El sistema circulatorio sanguíneo**
- **El sistema linfático**

**El sistema circulatorio sanguíneo** lo componen varios órganos homólogos:

- Sangre
- Corazón
- Vasos sanguíneos arteriales
- Vasos sanguíneos venosos
- Vías preferenciales y vasos sanguíneos capilares (Zweifach, 1979)

Sus *funciones principales* son:

- Mantenimiento del pH en el medio interno corporal.
- Barrera defensiva frente a infecciones, mediante anticuerpos y la fagocitosis por parte de varios tipos celulares que contiene.
- Transporta principios inmediatos gaseosos en forma de oxihemoglobina, desde el aparato respiratorio hasta las células.
- Transporta principios inmediatos disueltos y emulsionados, desde el aparato digestivo hasta las células.
- Transporta catabolitos gaseosos en forma de carboxihemoglobina, desde las células hasta los pulmones.
- Transporta catabolitos disueltos, desde las células hasta los riñones.
- Transporta hormonas desde las glándulas hasta las célula diana.
- Reparte el calor originado en diversos procesos fisiológicos, como: la contracción muscular, rozamiento articular, y metabolismo interno celular.

**El sistema linfático** lo componen varios órganos homólogos:

- Linfa
- Linfonodos
- Timo
- Bazo
- Tonsilas
- Vasos linfáticos

Sus *funciones principales* son:

- Retorno a la circulación sanguínea de ciertos componentes del líquido intersticial, proteínas y plasma principalmente, no absorbidos por los capilares.
- Absorción y transporte desde el intestino hacia la circulación sanguínea, de principios inmediatos lipídicos cuyas propiedades hidrofóbicas dificultan su incorporación a un medio acuoso como es la sangre.
- Barrera defensiva celular y humoral mediante la producción de linfocitos.
- Barrera defensiva física frente a infecciones y diseminación de tumores, mediante a través de la filtración de la linfa.

## 1.2. Ontogenia

La sangre y los vasos tienen origen mesoblástico.

Se forman simultáneamente, durante la gastrulación, en el hombre hacia el día 18 o 19 de gestación (Poirier, 1977; Noden & Lahunta, 1990), llamándose angiogénesis a la formación de vasos y hematopoyesis a la de la sangre.

La angiogénesis se inicia al formarse unos agregados sanguíneos en forma de islotes, llamados de Wolff y Pander (Jimenez, 1976; Zweifach, 1979) dentro del mesodermo esplácnico que recubre la vesícula vitelina y alantoides.

Los islotes se unen entre sí formando vesículas.

Las vesículas se fusionan a su vez formando canales, que serán los vasos vitelinos y alantoideos. En el hombre, los primeros desaparecen al final del segundo mes (Zweifach, 1979) dejando como vestigio los vasos mesentéricos craneales. También en el hombre, los segundos originan la circulación placentaria del feto, a partir del día 30 de gestación (Zweifach, 1979).

Casi al mismo tiempo, en el mesénquima lateral del embrión aparecen dos cordones angiogénicos. Laterales al mesodermo cardiogénico que formará el corazón. Dichos cordones se alargan formando los arcos aórticos y dos aortas dorsales, que en el hombre se distinguen hacia el día 24 de la gestación (Jimenez, 1976).

En el embrión, la red de tubos con función vascular, es inicialmente de tipo endotelial. Luego, algunos de ellos, se transforman en venas o arterias, complicando la estructura de su pared (Zweifach, 1979).

Durante el desarrollo embrionario, las dos aortas primitivas se fusionarán en el plano mediano, por detrás de los somitos cervicales, formando la aorta torácica. Antes de que esto ocurra las aortas originan ramas que se distribuyen por el embrión (Poirier, 1977; Noden & Lahunta, 1990).

El cayado de la aorta y las arterias destinadas a la cabeza proceden de los arcos aórticos después de una serie compleja de modificaciones vinculadas a la ontogénesis de los arcos branquiales (Poirier, 1977; Noden & Lahunta, 1990).

Este esquema angiogénico es breve no sólo por estar resumido, también porque se desconoce si el resto de arterias derivan igualmente de los cordones angiogénicos (Noden & Lahunta, 1990).

Tampoco conocemos el origen de las venas (Noden & Lahunta, 1990).

El origen básicamente mesodérmico del corazón, enriquecido con grupos celulares procedentes de las crestas neurales, es decir ectodérmicos, lo excuyen de la consideración embiológica actual de víscera.

La hematopoyesis comienza cuando las células centrales de los islotes, llamadas hemocitoblastos, se diferencian en las células hemáticas del embrión.

En etapas posteriores del desarrollo embrionario se desarrollan el hígado, bazo y mesonefros, que asumirán la función hematopoyética. Hasta que en el último tercio de la gestación, será la médula ósea quién se ocupará de esta tarea.

### 1.3. Vasculogénesis (Gilbert, 2003)

La formación de los vasos sanguíneos está íntimamente relacionada con la formación de las células sanguíneas.

De hecho se cree que ambos tienen un mismo precursor, el *hemangioblasto*.

Los vasos sanguíneos se construyen en dos etapas:

#### a) Vasculogénesis.

En esta fase los vasos se forman *de novo* desde el mesodermo de la placa lateral.

Se forman, islotes sanguíneos y redes capilares.

Hay descritos tres factores de crecimiento vinculados a este proceso:

- *Factor de crecimiento fibroblástico* (FGF2). Para la aparición de hemangioblastos a partir de las células mesodérmicas esplácnicas.

- *Factor de crecimiento endotelial* (VEGF). Que activa la diferenciación de los angioblastos y su multiplicación para formar tubos endoteliales.

- *Angioproteínas*, que median en las interacciones entre células endoteliales y los pericitos (células similares a las musculares lisas) para que las recubran.

#### b) Angiogénesis

Fase en donde se forman los vasos sanguíneos tanto por remodelado de los existentes como por neoformación.

Durante ella terminan de formarse las conexiones iniciadas en la fase anterior.

Factores que influyen son:

- *Factor de crecimiento derivado de las plaquetas* (PDGF). Necesario para completar el recubrimiento por los pericitos.

- *Colágeno XVIII*. Que estabiliza la estructura capilar.

- *Endostatina*. Con funciones similares al colágeno.



**Venas superficiales en la cabeza del perro**

(Done et al., 1997)

**1.4. Filogenia funcional**

De las tres propiedades clásicamente definitorias de materia viva: nutrición, relación y reproducción; jerárquicamente, por esencial, es la nutrición la más limitante.

Los seres vivos obtienen sus nutrientes mediante estrategias variadas, condicionadas a su estructura, sacando el mayor partido posible a las restricciones del medio explicables mediante leyes físico-químicas.

Cuando a temperatura constante, se ponen en contacto un soluto y un medio acuoso, el soluto difunde hacia el agua, obteniéndose un 99% de equilibrio después de:

- 4.56 segundos si el recorrido es de 100 m.
- 7.6 segundos si el recorrido es de 1 mm.
- 13 horas si el recorrido es de 1 cm.
- 53 días si el recorrido es de 10 cm.

Con estos datos (Castejon et al., 1979) se comprende que sólo en los animales muy pequeños el proceso de difusión puede ser suficiente para cubrir sus necesidades nutritivas.

Los mamíferos, y otros muchos grupos de animales, han solucionado esta limitación de su estructura pluricelular mediante un aparato circulatorio, capaz de conectar el medio externo, donde también se incluyen los aparatos digestivo y respiratorio, con el medio interno, representado por el líquido intersticial, que baña las células de los pluricelulares.

El aparato circulatorio de los mamíferos añade a las funciones nutritivas otras que se detallarán después.

**Líquidos biológicos de mamífero, en relación con el peso total del organismo** (Castejon et al., 1979)

Volumen total de agua en el cuerpo 70%	Líquido vascular 5%	Plasma	Líquidos extracelulares
	Líquido intersticial 20%	Líquido intersticial 20%	Líquido intersticial 20%
	Líquido intracelular 45%	Línea tisular y vascular	
	Materia sólida 30%		

Por otra parte los catabolitos producidos por el metabolismo de un paramecio, difundidos al exterior deterioran el ambiente haciéndolo inviable para éste, salvo que se diluyan. Ello hace que un paramecio precise cada día, unas 10000 veces su volumen, en medio acuoso libre de catabolitos.

Muchos pluricelulares como los mamíferos, han solventado de forma práctica estas exigencias intercalando un filtro, renal, en el aparato circulatorio. La función renal mantiene las propiedades adecuadas del medio interno celular, filtrando continuamente la sangre.

Los riñones de un hombre de 70 Kg. filtran unos 180 litros de sangre al día (Leonhardt, 1977), lo que representa que sus 5 litros de sangre pasan 36 veces en un día por dichos órganos.

Toda la dinámica funcional del líquido intersticial, es decir su formación y reabsorción, se genera en los capilares, de manera que no hay ninguna célula del organismo pluricelular que diste más de 0.13 mm de un capilar (Zweifach, 1979).

### 1.5. Breve descripción funcional

Comparativamente a lo que ocurre en otros vertebrados como reptiles, anfibios o peces, los mamíferos tienen una circulación calificada sintéticamente de: *cerrada doble y completa*.

Esta frase resume la descripción del recorrido que sigue la sangre desde que sale del corazón hasta que vuelve al mismo lugar.

La sangre, impulsada por el ventrículo izquierdo del corazón, sale de éste por la aorta. Se distribuye por todo el organismo mediante ramificaciones sucesivas, cuyos diámetros van en disminución progresiva, hasta ser de unas pocas micras, convirtiéndose en capilares.

Allí, en los capilares, la presión de la sangre es de unos 40 mm de Hg (Castejon et al., 1979), provocando la salida parte de varios de sus componentes, que forman un tipo de filtrado denominado *líquido intersticial*, con solutos y emulsiones de peso molecular inferior a 69000 (Castejon et al., 1979). Este proceso se mantiene en las proximidades arteriales del capilar, principalmente por la diferencia de presiones existente entre capilares y tejidos circundantes, generándose una presión de filtrado efectiva sobre la sangre entorno a los 16 mm de Hg (Kolb, 1971). A la filtración por diferencias de presión se unen otros procesos como la pinocitosis y la existencia de poros.

Del líquido intersticial se nutren las células, y a él vierten los catabolitos originados en su metabolismo interno.

Gran parte del líquido intersticial junto con los catabolitos, se reabsorben en la proximidad venosa de los capilares. Nuevamente la diferencia de presiones entre tejidos y capilares, genera una fuerza de reabsorción de unos 8 mm de Hg (Kolb, 1971), ahora desde los tejidos hacia la sangre.

La parte que no retorna directamente a la sangre, es drenada por el sistema linfático, llevándolo en forma de linfa hasta la sangre, mediante los grandes conductos linfáticos que se conectan con las venas cavas, en las proximidades del corazón.

Los capilares conectan con venas que se unen en vasos de calibre progresivamente mayor hasta formar las venas cavas que desembocan en el atrio derecho del corazón.

Todo el recorrido arteriovenoso descrito forma el llamado *circuito mayor*.

La sangre recogida en el atrio derecho del corazón, pasa al ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide y luego sale por la arteria pulmonar cuando dicho ventrículo se contrae.

Nuevamente hay una ramificación que termina en capilares, pero ahora concentrados todos en los pulmones, donde ocurre un intercambio de gases que transforman la carboxihemoglobina en oxihemoglobina.

Las venas situadas a partir de los capilares pulmonares, desembocan en el atrio izquierdo del corazón mediante las venas pulmonares. A través de la válvula bicúspide pasará la sangre al ventrículo izquierdo, para iniciar un nuevo ciclo.

Este segundo recorrido arteriovenoso se denomina *circuito menor*. Junto con el anterior justifica que en la definición dada al aparato circulatorio de los mamíferos, se haga referencia a que éste es doble.

Durante todo el recorrido, salvo por accidentes de tipo hemorrágico, en ningún momento sale sangre completa de los vasos (hemorragia). Situación por la que se añade el calificativo de cerrado a la descripción sintética del aparato circulatorio de los vertebrados, dada al comienzo de esta sección.

### 1.6. Hemodinámica

El volumen orgánico total de sangre en un mamífero, se estima entre 7.1 y 7.6% de su peso corporal (Kolb, 1971), distribuido como

- sangre circulante
- sangre retenida en hígado y bazo (Kolb, 1971).

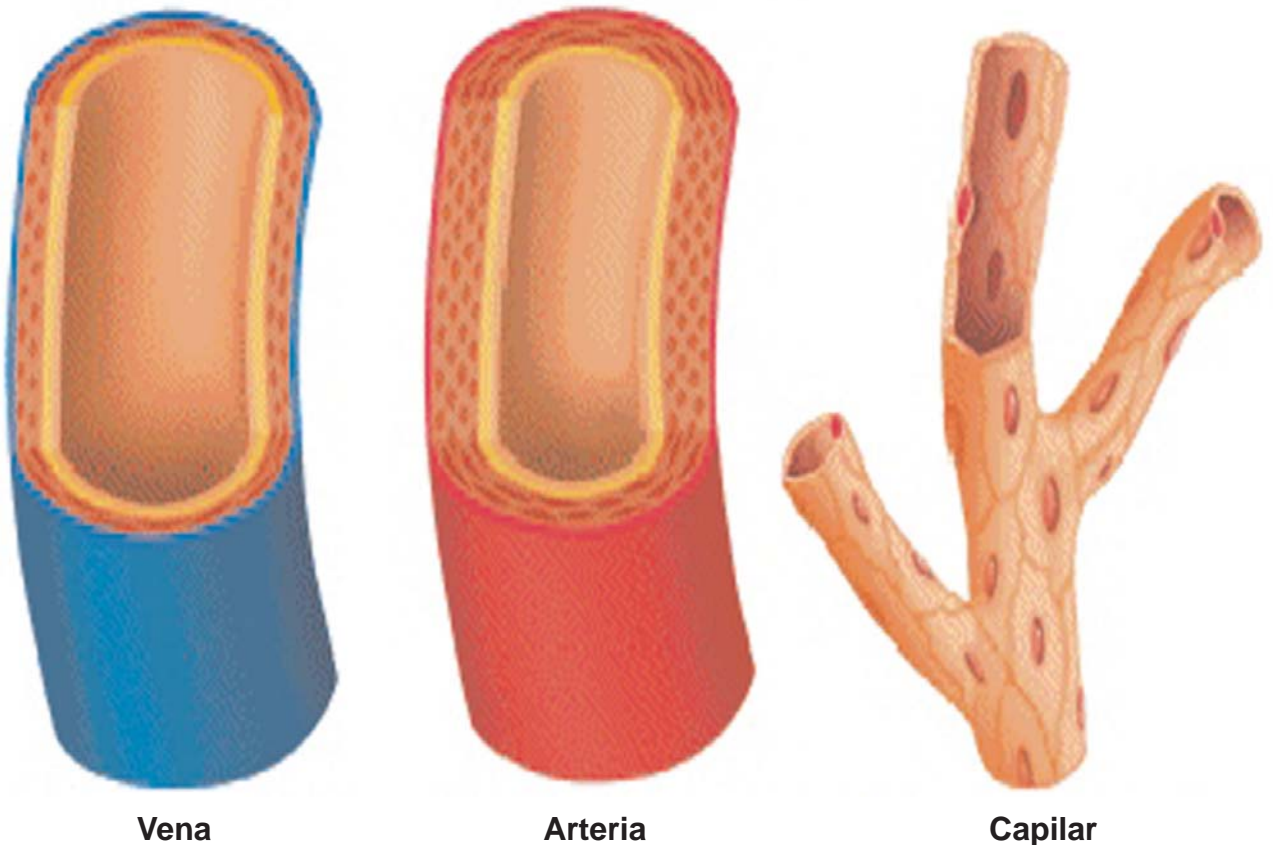
Valores que dependen de la edad, estado fisiológico, o entrenamiento.

La velocidad de circulación en los vasos disminuye desde la aorta hasta los capilares. En éstos últimos, su pequeño diámetro es causa de un notable enlentecimiento, de manera que un centímetro cúbico de sangre tarda entre cinco y siete horas en atravesar un capilar.

La enorme longitud capilar hace compatible esta velocidad con que el corazón sea capaz de bombear toda la sangre del organismo en pocos minutos (Kolb, 1971; Zweifach).

**Velocidades de la sangre en los vasos** (Castejon et al., 1979)

VASO	Velocidad en el perro cm/s (Promedio en un latido)	Velocidad en el hombre cm/s (Promedio en un latido)
Aorta	50	52.5
Carótida	12.4	40
Femoral	7.8	-
Capilares	0.05 - 0.08	0.05 - 0.08
Vena Cava	33	-



## 1.7. Componentes histológicos

Las arterias son tubos formados por tres hojas concéntricas (Leonhardt, 1977; Poirier, 1977; Kristic, 1989), denominadas de dentro hacia fuera :

- Íntima, construida mediante un endotelio con su lámina basal, y de modo inconstante con una capa conjuntiva.
- Media, construida por células musculares lisas y/o láminas elásticas.
- Adventicia, construida con tejido conjuntivo.

Dependiendo del grosor de estas hojas, fundamentalmente de la media, las arterias se clasifican en arterias:

- Elásticas o de calibre grueso.
- Musculares o de calibre mediano.
- Arterias pequeñas y arteriolas de calibres diversos.

Las arteriolas pueden terminar de forma independiente o unidas formando plexos anastomóticos.

Las venas son tubos formados por tres hojas concéntricas, similares a las de las arterias, siendo las diferencias con éstas fundamentalmente de tipo cuantitativo:

- La íntima, tiene menos células musculares lisas y más tejido conjuntivo donde predomina el colágeno sobre la elastina.
- La media y la adventicia se confunden, y tiene poco tejido elástico.

Dependiendo de la cantidad de tejido muscular liso en su pared, las venas se clasifican en:

- Venas de calibre grande, con abundante tejido muscular liso
- Venas de calibre mediano, con poco tejido muscular liso.
- Venillas con diámetros que van de los 200  $\mu\text{m}$  a los 50  $\mu\text{m}$ , y donde casi no hay fibras musculares lisas.

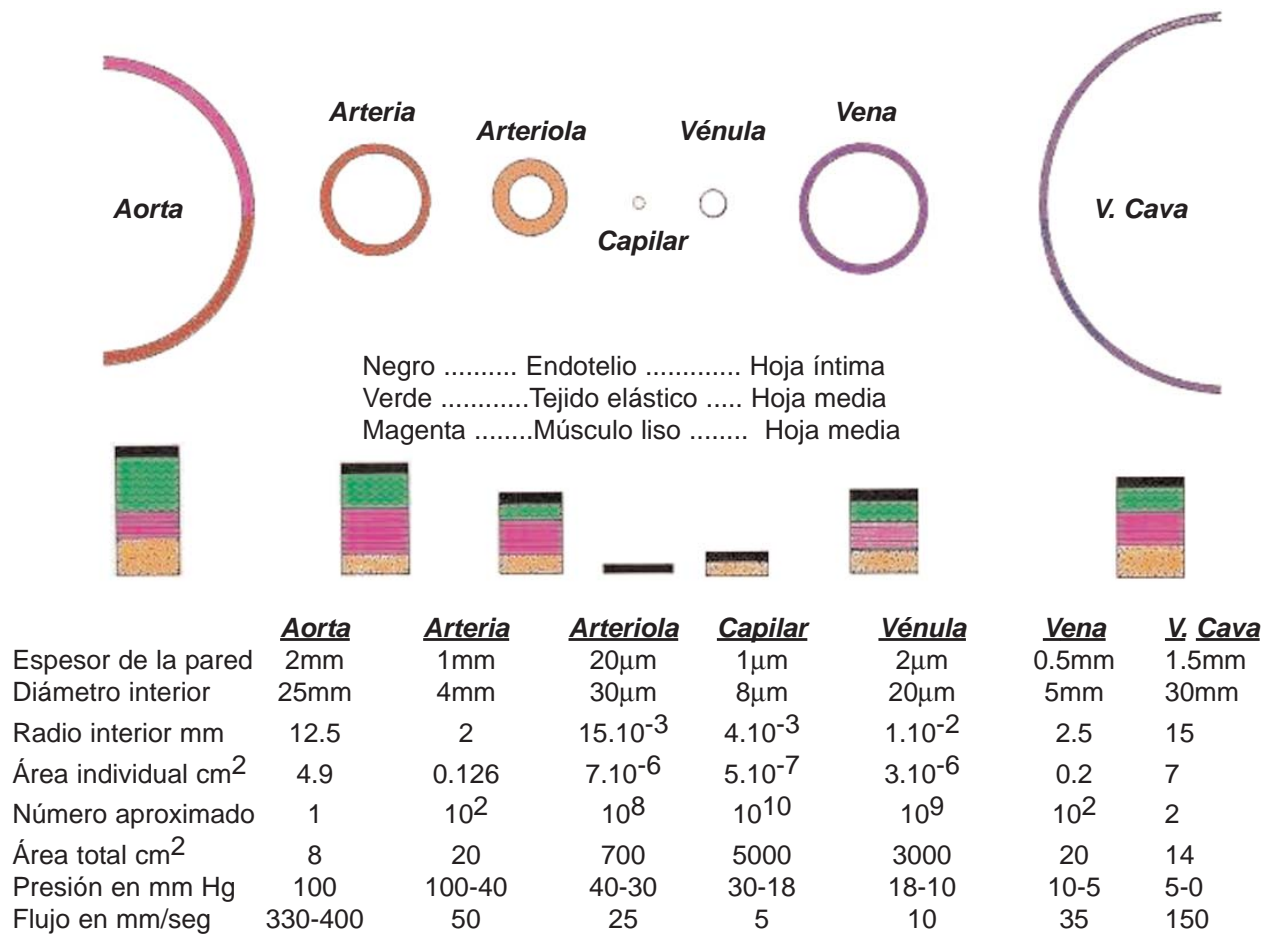
Los vasos capilares son sólo visibles mediante lupa de grandes aumentos o microscopio, dado que su diámetro no supera los 18  $\mu\text{m}$ . Su número es elevadísimo, estimándose unos 1400 Km de capilares por Kg de peso vivo (Zweifach, 1979). Su conjunto orgánico reunido, tendría una tamaño doble al del hígado.

Se pueden considerar dos tipos de vasos capilares:

- *Vías preferenciales*, que son la parte capilar unida directamente a las arteriolas. No filtran líquido intersticial pero controlan el flujo sanguíneo hacia los capilares filtradores. Tienen una pared endotelial simple y plana, sobre la que se disponen células de Rouget.
- *Capilares*, que unen las vías preferenciales con las vénulas. De cada vía preferencial salen entre uno y veinte capilares, dependiendo del tejido. Sus paredes están simplificadas a un endotelio plano y monocapa.

Las arterias de menor calibre se comunican con las venas más pequeñas de varias formas:

- Mediante *capilares*, el procedimiento más habitual, siendo los lugares donde tiene lugar el intercambio de nutrientes y catabolitos con los tejidos.
- *Comunicaciones directas* arteriovenosas, también conocidas como autopistas o anastomosis arteriovenosas. Se encuentran en gran número en la parte distal de los miembros y en la piel.
- *Redes admirables* o *retia mirabilia*, que pueden encontrarse en riñón, ojo e hipotálamo-hipófisis.
- *Sistemas porta*, como el existente en el hígado.



(Leonhardt, 1977; Cunningham, 1992. Recalculada y modificada para este trabajo)

En cada ramificación, la suma de los diámetros de los vasos hijos, es superior al diámetro del vaso original, lo cual disminuye la velocidad del flujo. La suma de las áreas de la sección transversal de los capilares del hombre 1000 veces mayor que la sección de la aorta (Castejon et al., 1979).

Además las ramas mayores dejan el tronco de origen con un ángulo más agudo que las ramas más pequeñas, así se reduce la resistencia del flujo (Dyce et al., 1987).

### 1.8. Restricciones físicas en la formación de los vasos sanguíneos

Las leyes del movimiento de los fluidos, indican que el transporte se facilita si los conductos tienen diámetro grande.

Pero es conocido que los radios de los vasos disminuyen paulatinamente, por lo que la resistencia al flujo se incrementa en relación con su radio elevado a la cuarta potencia negativa (según la ley de Poiseuille, un vaso cuyo radio sea la mitad de otro, tiene una resistencia al flujo 16 veces mayor).

Además para que tenga lugar la difusión de nutrientes desde los vasos a las membranas celulares, el flujo debe ser lento, lo cual requiere vasos de pequeño diámetro.

Los sistemas circulatorios muestran una interrelación, conocida como ley de Murray, por la cual, el cubo del radio del vaso padre, es aproximadamente igual, a la suma de los cubos de los radios de los vasos hijos, La ley de Murray también se aplica cuando hay que explicar la optimización de procesos metabólicos asociados a la vascularización (Dokoumetzidis & Macheras, 2003; Kamiya & Takahashi, 2007 Liu et al., 2007).

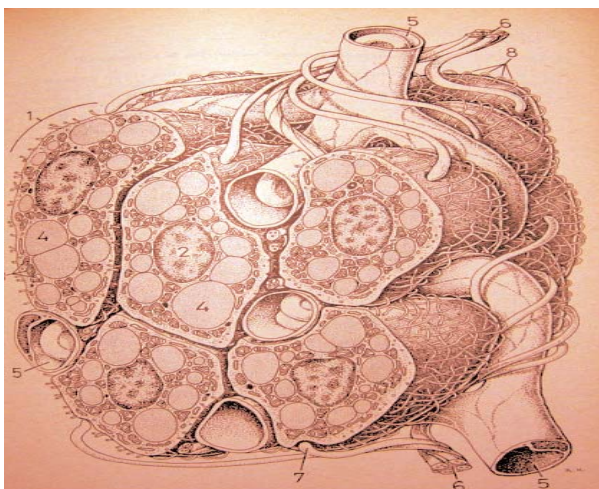
Los organismos vivos compatibilizan estas restricciones, formando sistemas circulatorios con una jerarquización en el tamaño de los vasos (LaBarbera, 1990). Esta jerarquía, aparece muy tempranamente en el desarrollo; ya está bien organizada en el embrión de pollo de 3 día). En los perros, la sangre en los grandes vasos, aorta y vena cava, fluye 100 veces más deprisa que en los capilares.

Con un sistema de grandes vasos, especializados en el transporte, y pequeños vasos, especializados en la difusión, donde la sangre se enlentece, ésta dispone del tiempo que necesita, para que nutrientes y oxígeno, puedan alcanzar a cada célula de un organismo.

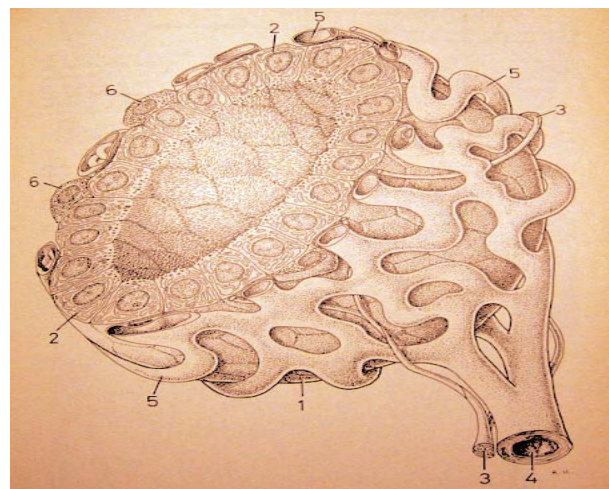
Pero esta no es todo. Si el fluido bajo presión constante se mueve directamente desde tubos de gran diámetro a otros pequeños, como ocurre en la punta de una manguera, se aumenta la velocidad del fluido.

La evolución soluciona este problema haciendo que la ramificación de pequeños vasos tenga, en conjunto, una suma de áreas, superior a la del vaso original (Castejon et al., 1979). La suma de las áreas de la sección transversal de los capilares del hombre es 1000 veces mayor que la sección de la aorta (Dyce et. al., 1987).

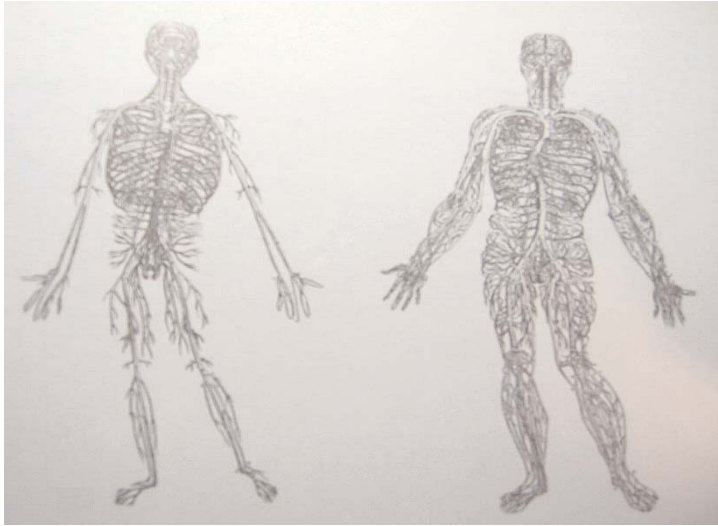
Además se reduce la resistencia del flujo, haciendo que las ramas mayores dejen el tronco de origen con un ángulo más agudo que las ramas más pequeñas (Dyce et. al., 1987).



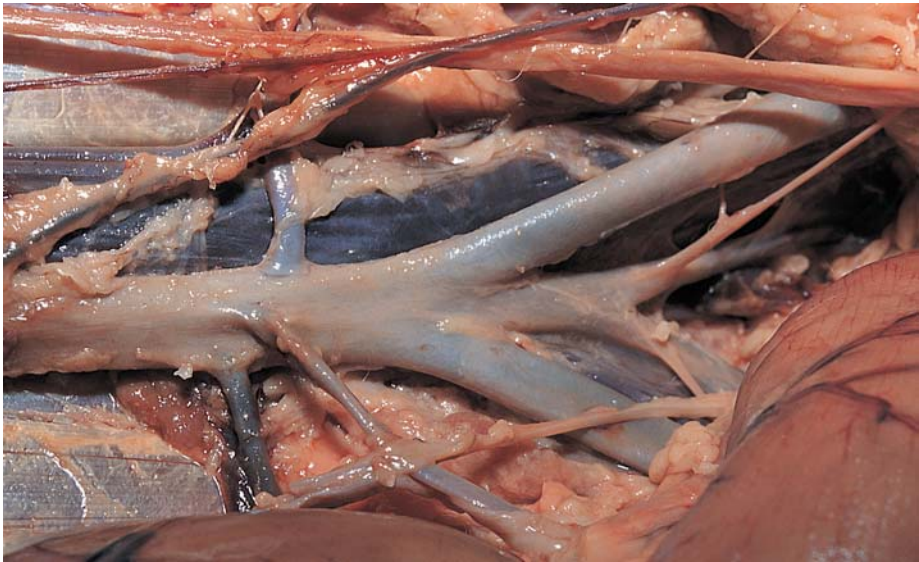
**Vasos en tejido adiposo**  
(Kristic R.V. 1989)



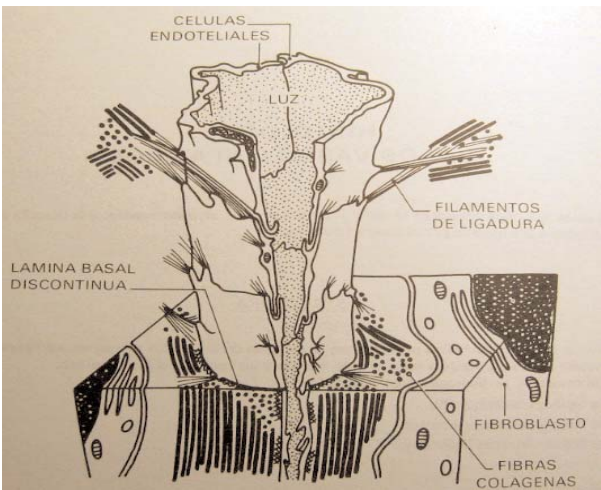
**Vasos en glándula endocrina**  
(Kristic R.V. 1989)



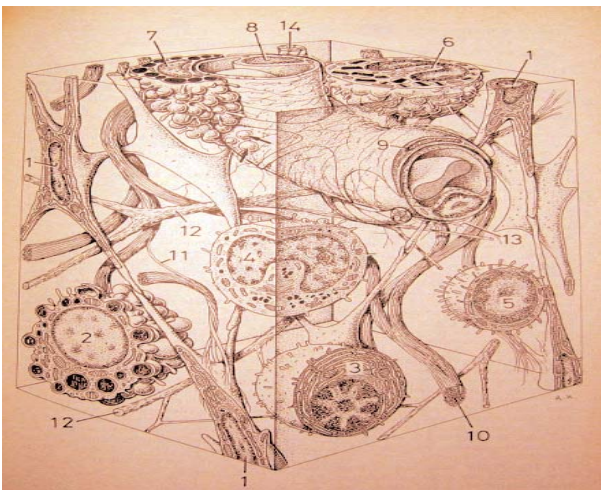
**Arterias y venas en la Fabrica de Vesalio**  
(1514 - 1564)



**Ramificación de las aa. iliacas en el perro**  
(Gil et al., 2005)

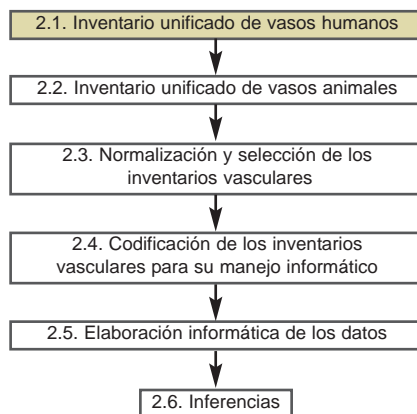


**Vaso linfatico**  
(Krstic R.V. 1989)



**Vasos en tejido conectivo laxo**  
(Krstic R.V. 1989)

## 2. MATERIAL y MÉTODOS



### 2.1. FUENTES para el INVENTARIO de los VASOS ARTERIALES y VENOSOS

Las voces de los vasos arteriales y venosos del hombre (*Homo sapiens*), proceden de la última versión de la *Nomina Anatomica* (en adelante NA), reunida e ilustrada en la cuarta edición del atlas de Feneis y Dauber (Feneis, 1989; Feneis & Dauber 2000). El listado de la Sociedad Anatómica Española aparece recogido en un anexo del CD de esta memoria.

Las nóminas anatómicas son una lista de vocablos, recopilados por anatomistas de todo el mundo, durante siglos de estudios macroscópicos. Unifican una terminología enormemente abundante, que ha conseguido aceptación mundial, por lo que su uso facilita la comunicación entre todos aquellos que necesitan precisión en los estudios de morfología.

La Nomina Anatomica de Basilea (BNA) fue el primer intento de ofrecer una base para el uso universal de los términos relacionados con el cuerpo humano (1895).

El trabajo sobre un nuevo sistema internacional de la terminología anatómica comenzó en 1887. El sistema fue aprobado en 1895 por el noveno congreso de la Sociedad de Anatomistas, en Basilea, Suiza. La BNA redujo el número de términos anatómicos de 50.000 a 5.528.

El BNA fue adoptado por los anatomistas de muchos países incluyendo España y los Estados Unidos, pero su aceptación todavía no era general. Los anatomistas franceses prefirieron continuar en su propia norma. Y los anatomistas británicos se alejaron de la BNA en 1933, adoptando la revisión de Birmingham (BR), llevada a cabo por la Sociedad Anatómica de Gran Bretaña e Irlanda.

La Sociedad de Anatomistas hizo una revisión en 1935, en Jena, denominada Nómina Anatómica de Jena (JNA).

En 1903, se realizó en Ginebra el primer congreso internacional de la federación internacional de asociaciones de Anatomistas (IFAA).

En su quinto congreso (Oxford, 1950) se organizó el comité anatómico internacional para la nomenclatura (IANC), con el objetivo de obtener una terminología anatómica estandarizada.

La revisión hecha por el IANC de la BNA, fue aprobada en 1955 en el sexto congreso de la IFAA realizado en París. Originalmente llamada Nomina Anatomica Parisiense (PNA), más adelante se conocía como, simplemente, la Nomina Anatomica (NA).

La primera edición de Nómima Anatomica fue publicada en 1956. Contuvo 5.640 términos, de los cuales 4.286 eran, sin cambios de la BNA. Sustituyendo tanto a la BNA como a sus diversas revisiones y variantes (BR, JNA), que seguían siendo terminología internacional estándar, pero no general, hasta 1955.

El IANC continuó trabajando durante los treinta años siguientes, durante los cuales se aprobaron varias revisiones de Nomina Anatomica: en el séptimo congreso (Nueva York, 1960), el octavo congreso (Wiesbaden, 1965), el noveno congreso (Leningrado, 1970), el décimo congreso (Tokio, 1975) y el undécimo congreso (Ciudad de México, 1980).

De manera que la segunda edición de Nomina Anatomica fue publicada en 1961; la tercera edición en 1966; la cuarta edición en 1977; y la quinta edición en 1983.

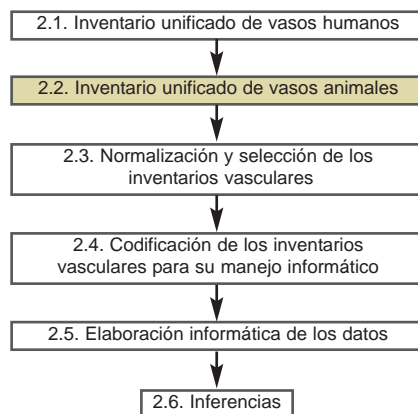
El IANC publicó una sexta edición de Nomina Anatomica, pero no llegó a ser aprobada por la IFAA, debido a conflictos editoriales. En su lugar, en el décimotercer congreso de la IFAA (Río de Janeiro, 1989), se creó un nuevo comité, el comité federal sobre la terminología anatómica (FCAT).

Su primer trabajo se concretó en la Terminología Anatómica (*Internacional*) (en adelante TA) publicada en 1998.

Desde su primera reunión, el FCAT hizo varios contactos con el IANC que tenía como objetivo la transición natural desde el anterior sistema, acercamiento establecido por la Asamblea General del IFAA. Pero tales iniciativas, no dieron lugar a una colaboración armoniosa.

La Terminología Anatómica es pues la creación común del FCAT (ahora FICAT) y de la IFAA. La primera edición, publicada en 1998, reemplaza todas las anteriores, siendo el estándar internacional para la terminología anatómica, que sigue actualizándose, para adaptarla a las nuevas necesidades científicas y clínicas (Hojo, 1984; Satubesand et al. 1995; Dukker & Walvoort, 2000; Shikano et al. 2004; Whitmore, 1999, 2006; Fabry et al. 2005, 2006).

Feneis, desde 1967 ha hecho versiones ilustradas de la NA/TA, que han conseguido una enorme difusión, por la facilidad en el manejo e identificación de los términos. Su última versión (Feneis & Dauber 2000), que corresponde a la cuarta edición, editada el año 2000, ha sido la utilizada como fuente de datos en este trabajo.



## 2.2. FUENTES para el INVENTARIO de los VASOS ARTERIALES y VENOSOS

Históricamente la *Nomina Anatomica* precede a la *Nomina Anatomica Veterinaria*.

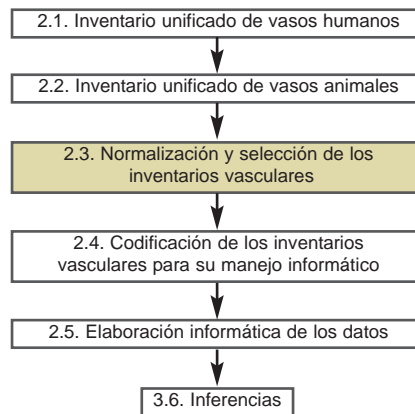
Las voces de los vasos arteriales y venosos de: perro (*Canis familiaris*), gato (*Felis catus*), caballo (*Equus caballus*), cerdo (*Sus scrofa domestica*), vaca (*Bos taurus*), oveja (*Ovis aries*) y cabra (*Capra hircus*), proceden de la Nomenclatura Anatómica Veterinaria Ilustrada (Schaller O.1996). Que son las mismas que las incluidas en la quinta y hasta ahora última edición de la *Nomina Anatomica Veterinaria* (en adelante NAV), preparada por el I.C.V.G.A.N. (International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature) en 2005. Su listado aparece recogido en un anexo del CD de esta memoria.

En la línea de la NA/TA, el Comité Internacional para la Nomenclatura Anatómica Veterinaria, nombrado por la Asociación Mundial de Anatomistas Veterinarios, en 1968 publicó la primera versión de la NAV.

Constituyó la primera lista reconocida internacionalmente de términos aplicados a la anatomía de los animales domésticos clásicos: perro (*Canis familiaris*), gato (*Felis catus*), caballo (*Equus caballus*), cerdo (*Sus scrofa domestica*), vaca (*Bos taurus*), oveja (*Ovis aries*) y cabra (*Capra hircus*).

Hoy contiene algo menos de 7000 términos latinos, casi 1000 más que la NA.

El excelente, y práctico, trabajo que hizo Feneis en la NA/TA, Oskar Schaller lo ha realizado sobre la NAV, ilustrándola con unos 1300 dibujos. La primera versión española de la NAV ilustrada (NAVI) de Schaller (Schaller, 1996). (de la que el autor de este trabajo fue uno de los traductores) ha servido como fuente para los datos de este trabajo.



### 2.3.1. ORGANIZACIÓN en la NAVI de la INFORMACIÓN VASCULAR

Arterias y venas se encuentran en el capítulo de Angiología. Agupando primero todas las arterias, páginas 242 a 337; y luego las venas, páginas 338 a 401.

Los vasos de las ocho especies inventariadas en la NAV sólo están separados cuando hay diferencias tan notables que es imposible describirlos desde un patrón común, mediante breves comentarios.

Ciertos vasos metaméricos (intercostales, lumbares,.....) y de las extremidades (digitales) aparecen refundidos en una sólo voz.

No se suele indicar si los vasos son pares o impares.

La jerarquización en los distintos niveles del árbol vascular (hasta 14), arterial o venoso, se expresa sintácticamente mediante el uso de seis tipos de letras. Dado que se incluyen vasos que se ubican más allá del sexto nivel de ramificación (desde la aorta y a. pulmonar o desde la v. cava común y v. pulmonar, hasta 14 niveles), resulta un sistema útil sólo dentro de cada página de la NAV, pero insuficiente para toda la angiología arterial o venosa.

### 2.3.2. REORGANIZACIÓN de la INFORMACIÓN VASCULAR de la NAVI

Con la finalidad de conseguir una diferenciación automática de los esquemas vasculares específicos, en cada voz se ha introducido la información discriminante precisa. Esta tarea se ha realizado: unas veces manualmente y otras con programas escritos al efecto.

Los vasos metaméricos y de las extremidades que estaban refundidos, se han mantenido así por varias razones:

- a) para facilitar las comparaciones interespecíficas
- b) porque hay diferencias intraespecíficas no contempladas
- c) considerar refundidos estos grupos de vasos, por sus características repetitivas del modelo básico, no afectan a los objetivos de este trabajo.

Para la correcta representación de los esquemas vasculares de todo el organismo, y su interpretación, en cada vaso se ha introducido información particularizada sobre:

- a) si es par o impar
- b) si hay diferencia por sexo
- c) su orientación espacial, respecto a los planos anatómicos
- d) vínculos ascendentes y descendentes en el árbol vascular.
- e) detallando y desglosando la compleja organización regional de algunos vasos.

### 2.3.3. ORGANIZACIÓN en la NA-TA de la INFORMACIÓN VASCULAR (Feneis & Dauber, 2000)

Las arterias se encuentran en el capítulo de Arterias, páginas 190 a 232.

Las venas se encuentran en el capítulo de Venas, páginas 332 a 253.

No hay jerarquización en los distintos niveles del árbol vascular, arterial o venoso.

No se suele indicar si los vasos son pares o impares.

Ciertos vasos metaméricos (intercostales, lumbares,.....) y de las extremidades (digitales) aparecen refundidos en una sólo voz.

Se han individualizado el conjunto formado por: V. subscapularis, V. circumflexa scapulae, V. thoracodorsalis, V. circumflexa posterior humeralis, V. circumflexa anterior humeralis.

Y también: Vv. labiales posteriores, Vv. scrotales posteriores, V. bulbi vestibuli, V. bulbi penis, Vv. dorsales superficiales clitoridis, Vv. dorsales superficiales penis, Vv. scrotales anteriores, Vv. labiales anteriores.

Se han mantenido los vasos y denominaciones añadidos por Feneis a los admitidos en la T.A.:

- Ramus basalis medialis [[cardiacus]]
- Ductus arteriosus [[Botalli]]
- Ramus anastomoticus [[cum a. lacrimalis]]
- A. supraorbitalis [[a. frontalis lat.]]
- A. supratrochlearis [[a. frontalis med.]]
- Anterior choroidal artery [[AChA]]
- A. centralis longa (a. recurrens) [[Heubner]]
- Circulus arteriosus cerebri [[Willisii]]
- A. thoracica interna [[a. mammaria interna]]
- Ramus collateralis [[ramus supracostalis]]
- Right gastro-omental [[gastroepiploic]] artery.
- Marginal colic artery [[of Drummond]]
- branch of the inferior epigastric artery [[corona mortis]].
- Ramus cumflexus fibularis [[ramus fibularis]]
- [[Venae pulmonales dextrae]]
- Vv. cardiacae minimae [[Thebesii]]
- Vv. supratrochleares [[v. frontalis]]
- Occipital vein. [[V. occipitalis]]
- V. anastomotica superior [[Trolard]]
- V. anastomotica inferior [[Labbe]]
- V. magna cerebri [[Galenii]]
- Internal cerebral veins [[right and left]]. Vv. internae cerebri
- V. iliaca interna [[v. hypogastrica]]
- Plexus venosus rectalis [[plexus haemorrhoidalis]]

En la traducción española de la voz *V. mediana basilica* incluida en la TA, se ha añadido la denominación de *prohibida*, conforme a la discusión que hace el Dr. Barcia en su obra (Barcia Goyanes, 1978).

La edición empleada como fuente de datos Feneis y Dauber (Feneis & Dauber, 2000) tiene un error de impresión en la página 228, donde no aparecen doce arterias del pie, que sí aparecen en los dibujos. Se obtuvieron de Feneis (Feneis, 1989), una vez comprobado que los dibujos eran coincidentes.

### 2.3.4. REORGANIZACIÓN de la INFORMACIÓN VASCULAR de la NA-TA.

La TA, visualiza una cierta jerarquía entre vasos mediante la escritura de sus nombres con distintos tipos de letra, pero no es generalizable. Sólo puede aplicarse a ciertos vasos principales y sus ramas inmediatas. Al carecer de un criterio fijo que asocie cada nivel de ramificación con un tipo de letra determinado, se imposibilita conectar visualmente y de forma directa, las ramificaciones de una página con las de la siguiente. Ello ha obligado a elaborar, vaso a vaso, una jerarquización general para todos los incluidos en la T.A..

En la T.A. el orden en que se nombran los vasos y sus ramas, no suele coincidir con el orden de su aparición, si los visualizamos craneo-caudalmente.

La creación de un sólo árbol vascular obliga a cuidar el no multiplicar la aparición de aquellos vasos que en la T.A. aparecen en varios lugares, como arranque que árboles parciales.

Las ramificaciones de la vena porta dentro del hígado (Vena portae hepatis, Ramus dexter, Ramus anterior, Ramus posterior, Ramus sinister, Pars transversa, Rami caudati, Pars umbilicus, V. umbilicalis sinistra, Lig. teres hepatis, Rr. mediales) no se han incluido, al no ser ramas destinadas a formar la vena porta.

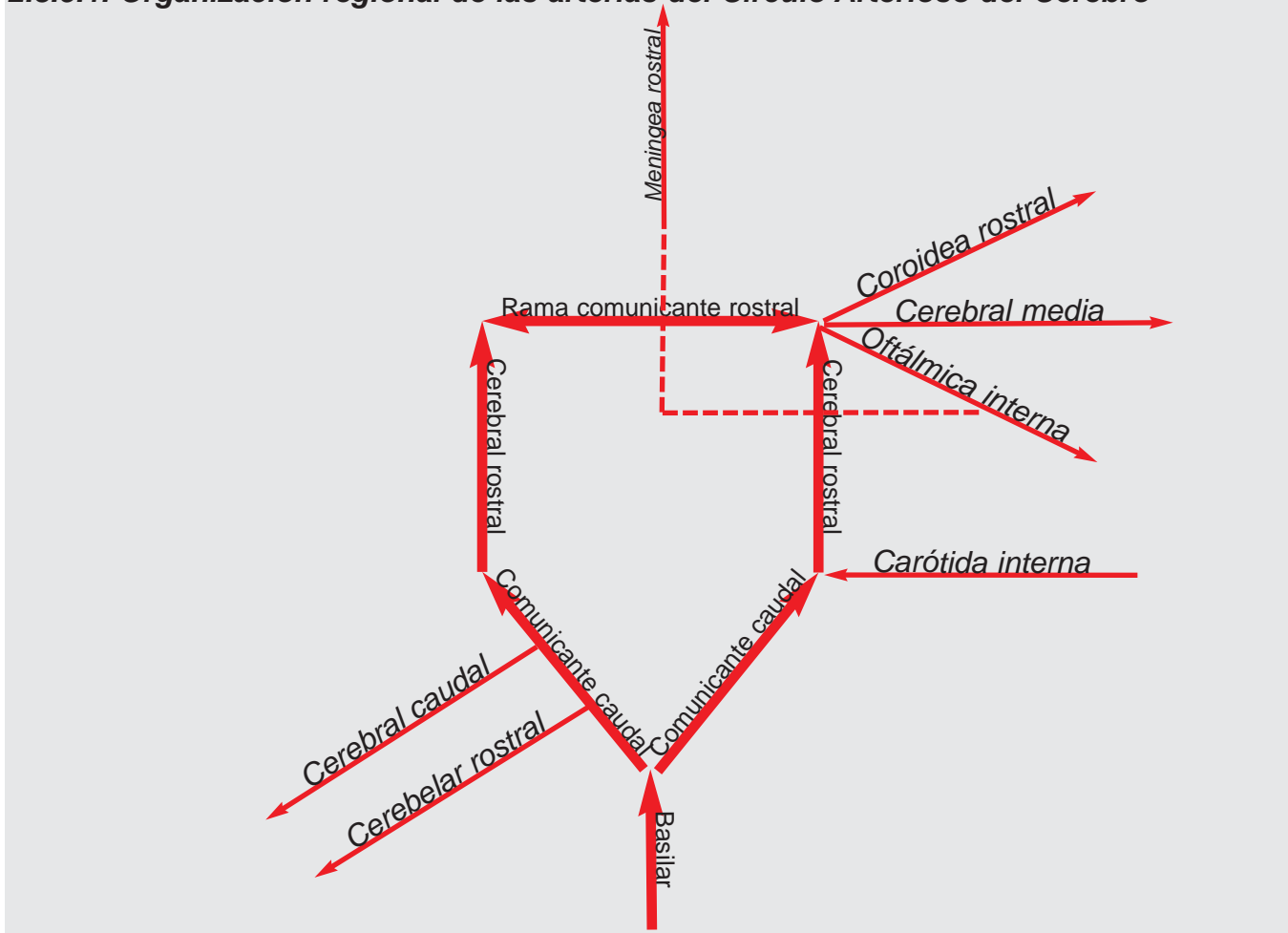
Ha sido preciso refundir aquellos vasos que tienen dos entradas en la T.A. (Feneis & Dauber 2000) (como ocurre con la a. cerebral anterior, que aparece en la voz número 1 de la página 204 y en la voz número 14 de la página 208; o la a. cerebral posterior que aparece en la voz número 23 de la página 206 y en la voz número 24 de la página 208; o la a. cerebral media que aparece en la voz número 18 de la página 204 y en la voz número 17 de la página 208).

Eliminar ciertas divisiones en vasos, destinados a designar con una sola voz, vasos que luego se describen individualmente. Como ocurre, por ejemplo, con las aa. posterolaterales centrales del tálamo; arterias que luego se detallan, una a una.

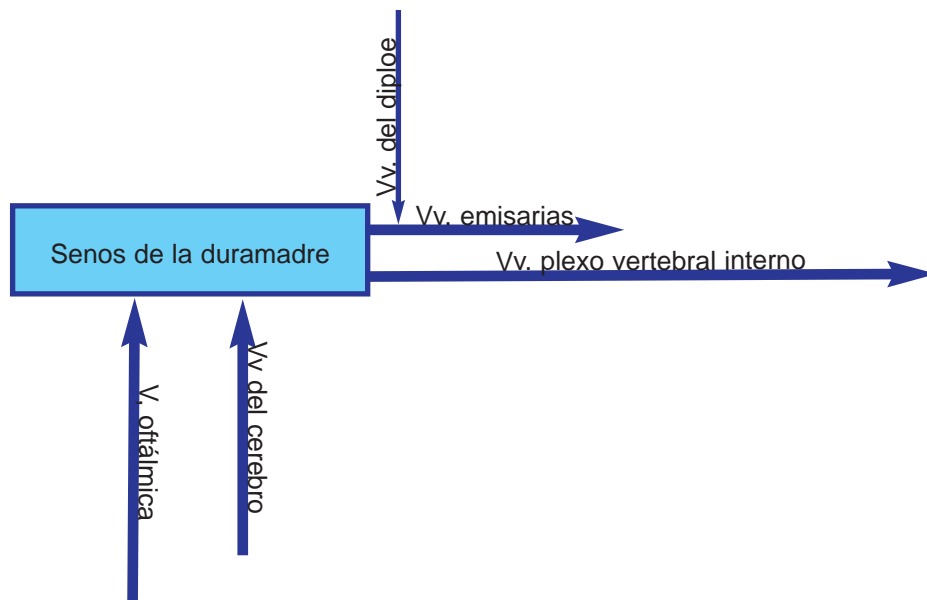
### 2.3.5. ORGANIZACIONES REGIONALES de VASOS

Los vínculos especialmente complejos entre ciertos vasos, partiendo de lo establecido en la NAV, se han detallado y desglosado por especies, tal y como seguidamente se muestra (Baum & Zietzschmann, 1936; Badoux et al., 1982; Nickel et al., 1986; Dyce et al., 1987; Shively, 1993; Schaller, 1996; Gil et al. 2005).

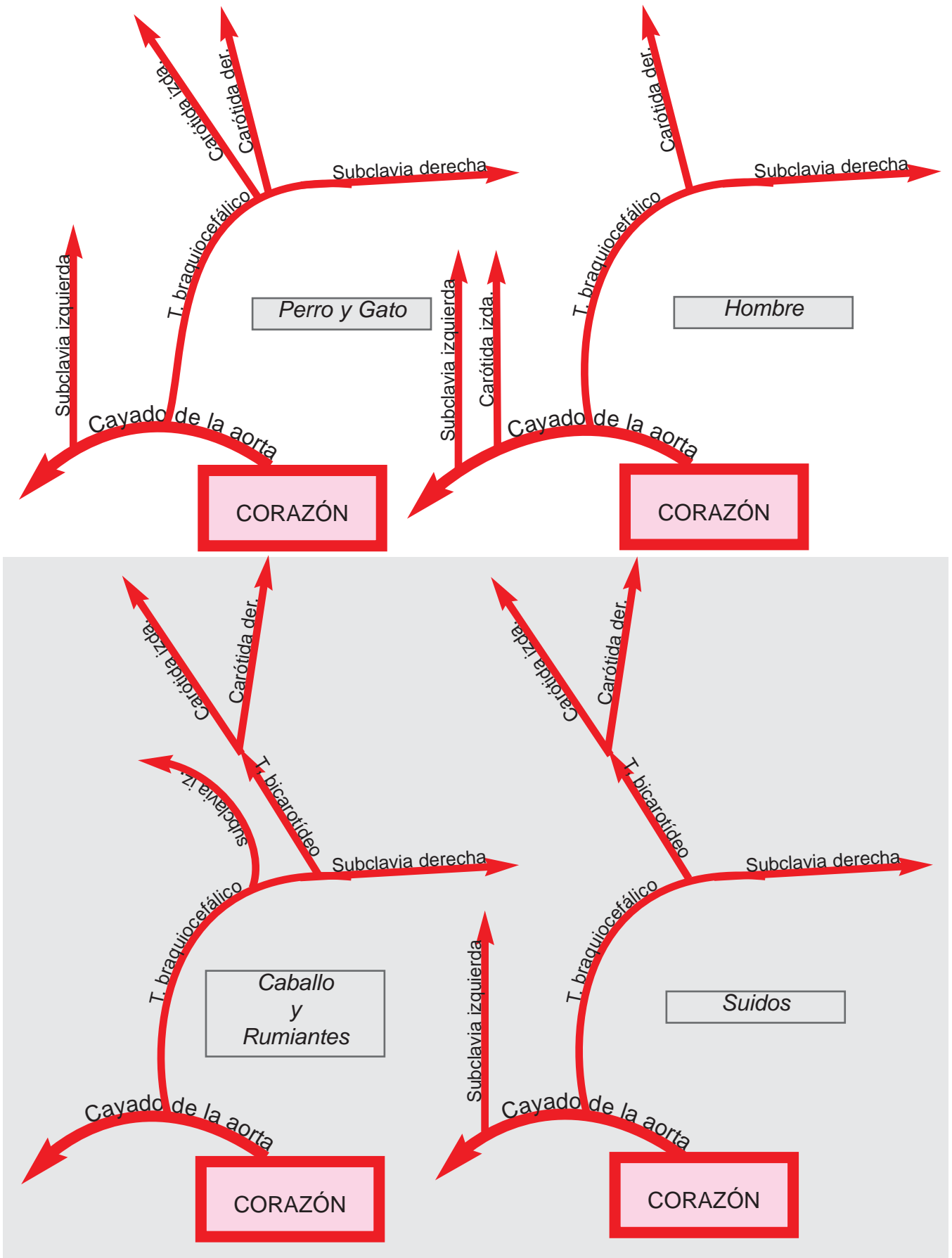
#### 2.3.5.1. Organización regional de las arterias del Círculo Arterioso del Cerebro

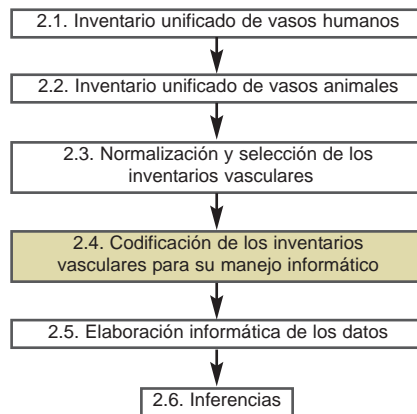


#### 2.3.5.2. Organización regional de las venas en los senos del cráneo



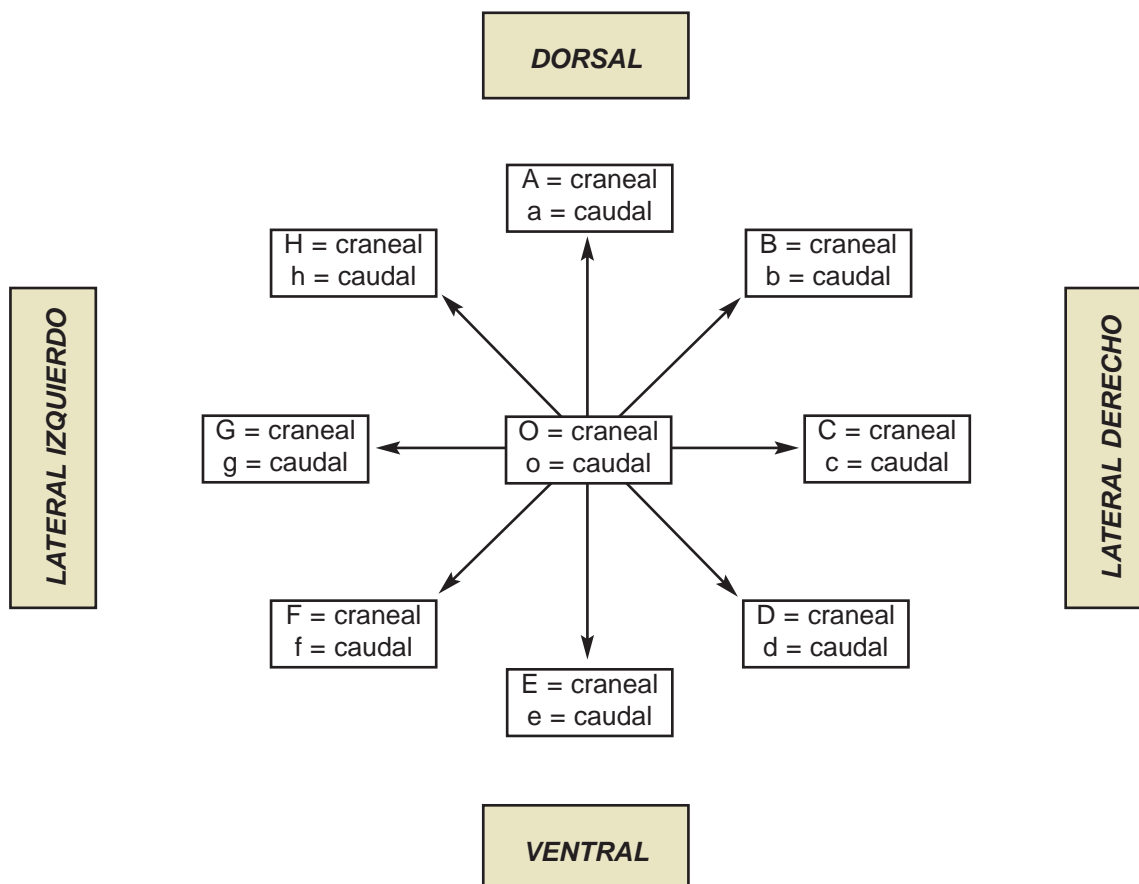
2.3.5.3. Organización regional de las arterias subclavias y tronco braquiocefálico



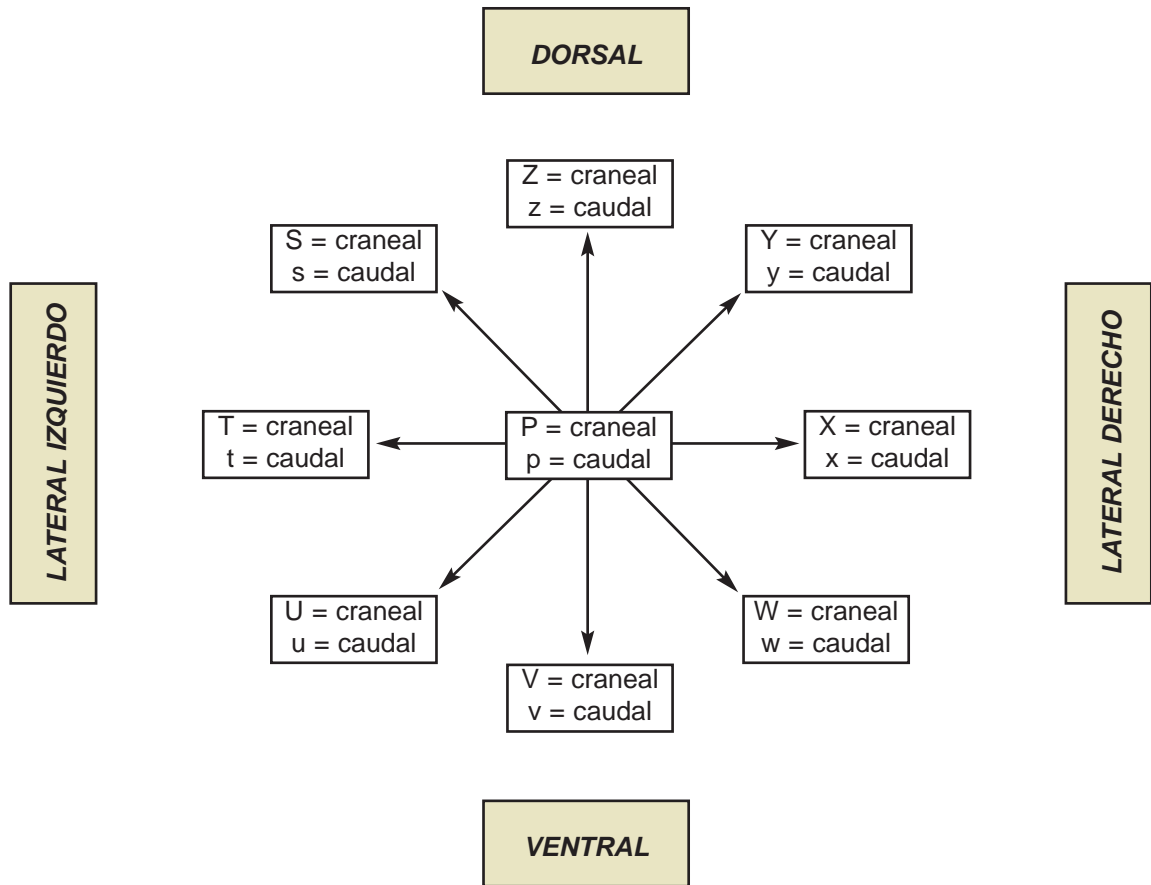


**2.4. CODIFICACIÓN ESPACIAL de las RAMIFICACIONES**

Aunque se emplea una representación tipo Beck , que comporta una abstracción de la realidad, se asocia a cada vaso la información precisa acerca de su orientación espacial real, mediante una sólo letra, al emplear las tablas siguientes:

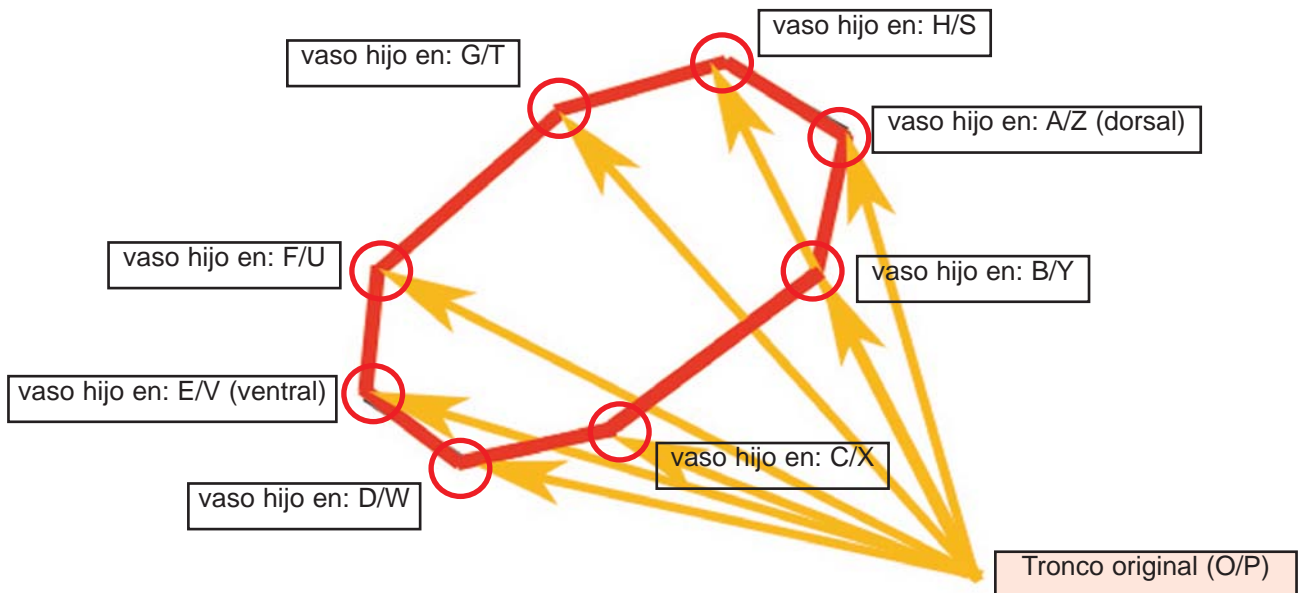


Codificación empleada para las ramas que emergen separándose de un tronco previo, que siempre se localizará en el centro.



Codificación empleada para las ramas que son continuación de un tronco previo, que siempre se localizará en el centro. Se emplea en vasos como la aorta donde su largo recorrido, se divide convencionalmente en partes, que facilitan su identificación (aorta ascendente, cayado de la aorta, aorta torácica, aorta abdominal).

El siguiente diagrama es la representación en perspectiva 3D, de las ramas craneales, de los dos anteriores (las ramas caudales serían especulares a las mostradas).



**2.5.1. PRESTACIONES del PROGRAMA NAVI\_NA.exe**



Se trata de una herramienta desarrollada para este trabajo, mediante Borland Turbo C++ 2006. Lo cual es también un resultado del trabajo, que por sus objetivos y funcionalidad, se describe ahora en Material y Métodos. (Una versión limitada del mismo, se incluye en CD que acompaña a esta memoria).

Su manejo es intuitivo, pulsando botones, cuyo nombre autoexplica su función, y su numeración, la secuencia en que deben utilizarse.

Seguidamente se mostrará la distribución de tareas de las prestaciones del programa, tal y como se han distribuido en cuatro pantallas, gestionadas por sendas pestañas.

**2.5.1.1. Inventario General de NAVI y NA**, es la primera pestaña, desde la que es posible revisar el contenido vascular, incluido, tanto en la NAVI, como en la NAH.

La mitad superior de la pantalla, está destinada a la NAVI, y la inferior a la NAH.

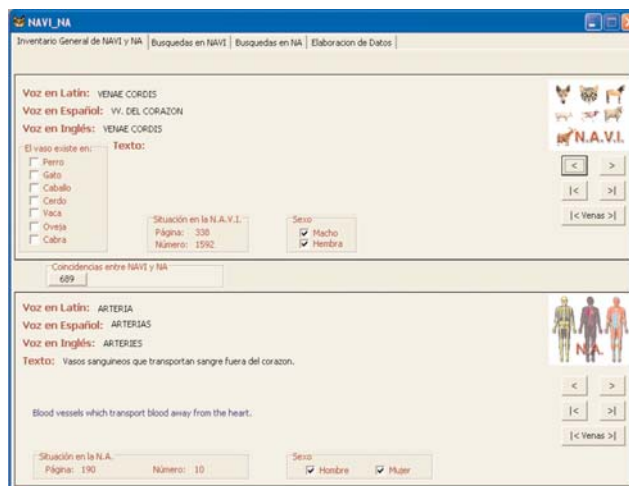
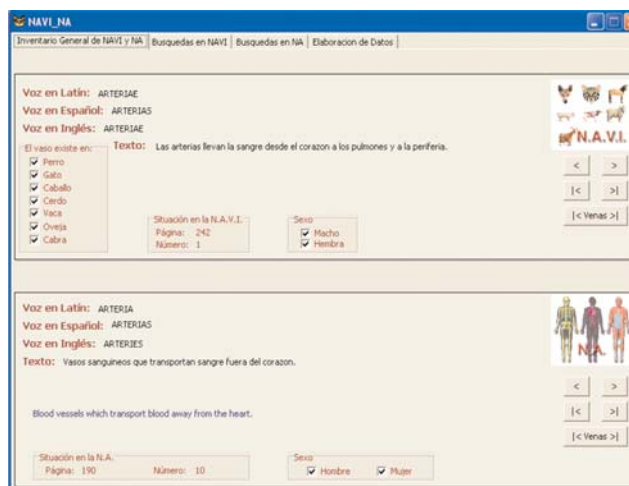
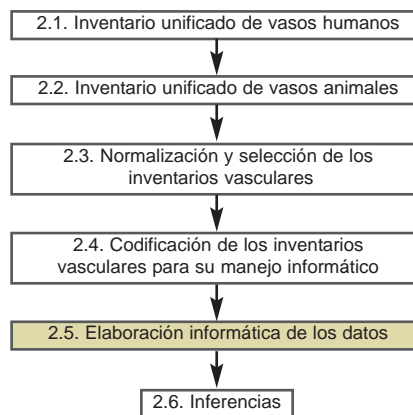
En el centro hay una zona, donde se activan, automáticamente, botones destinados a remarcar las coincidencias entre la NAVI y la NAH.

Cuando durante el repaso de voces de la NAVI, se activa uno de esos botones, y lo pulsamos, aparece la voz correspondiente de la NAH, en la parte inferior de la pantalla.

Cuando durante el repaso de voces de la NAH, se activa uno de esos botones, y lo pulsamos, aparece la voz correspondiente de la NAVI, en la parte superior de la pantalla.

Parte del texto incluido en la NAVI o en la NAH, referente a cada vaso, se muestra mediante elementos visuales, que facilitan su lectura.

El texto definitorio de cada vaso procedente de la NAVI, aparece en español. Y el de los de la NAH, en español e inglés.



**2.5.1.2. Búsquedas en NAVI**, es la segunda pestaña, desde la que es posible construir el árbol vascular de cualquier vaso, incluido en la NAVI.

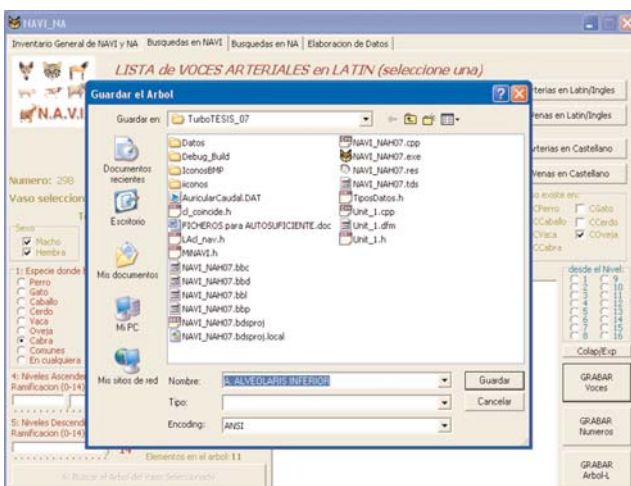
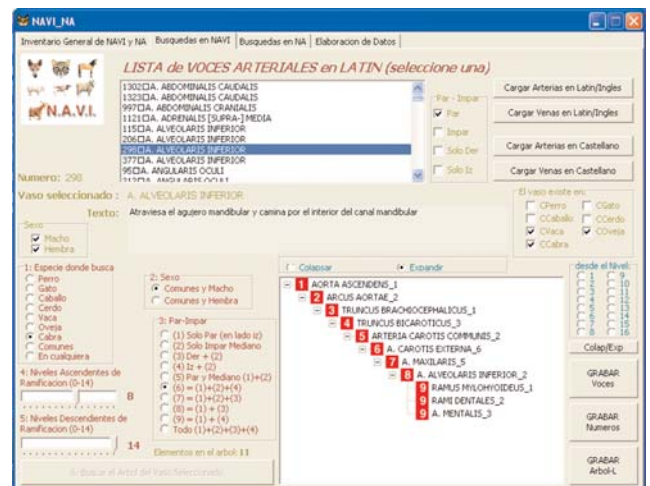
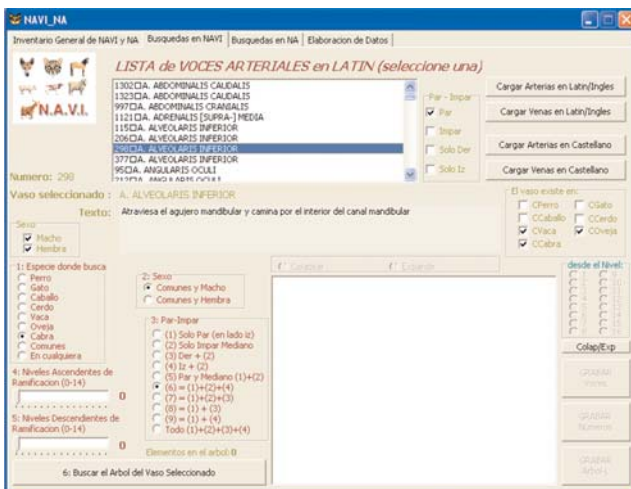
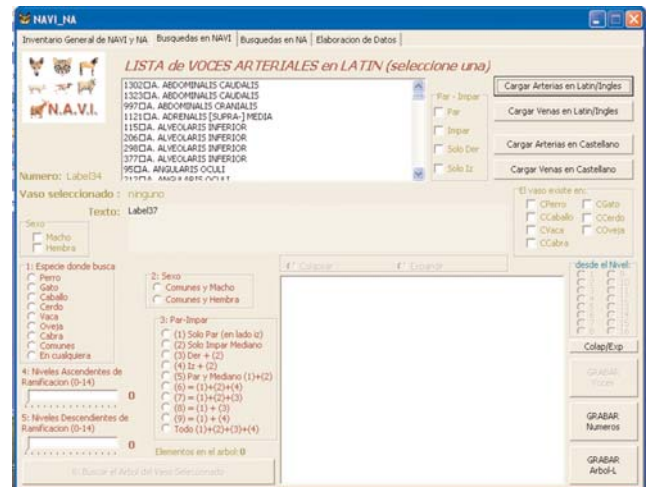
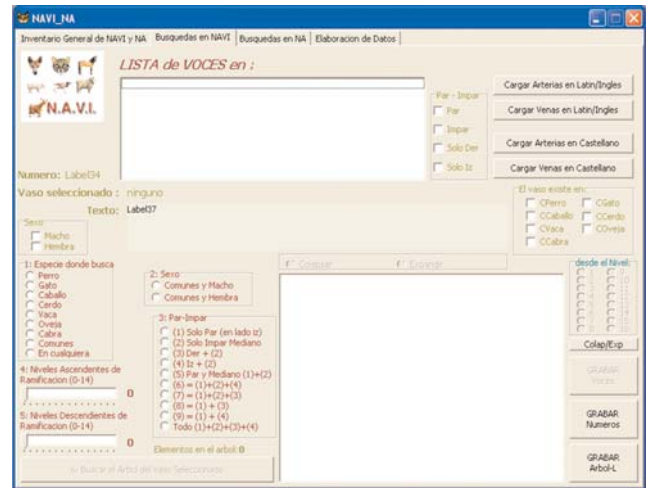
Lo primero es elegir el vaso, para lo cual disponemos de cuatro botones, que nos desglosan arterias y venas, tanto en español, como en latin-inglés.

El vaso se selecciona, pulsando sobre el en la pantalla. Apareciendo inmediatamente, la información de dicho vaso.

La obtención del árbol vascular, se consigue, pulsando el botón al efecto, previa elección de la: especie, sexo, lateralidad, niveles de ancestros y de descendientes.

Si el árbol es muy complejo, es posible reducir la visualización de cualquier rama, pulsando sobre el nodo paterno, o mediante los botones que hay la parte derecha de la pantalla.

El resultado puede almacenarse en un fichero .DAT, mediante el botón adecuado.



**2.5.1.3. Búsquedas en NA**, es la tercera pestaña, desde la que es posible construir el árbol vascular de cualquier vaso, incluido en la NAVI.

Es similar a la precedente, pero adaptada a las particularidades, de la NA.

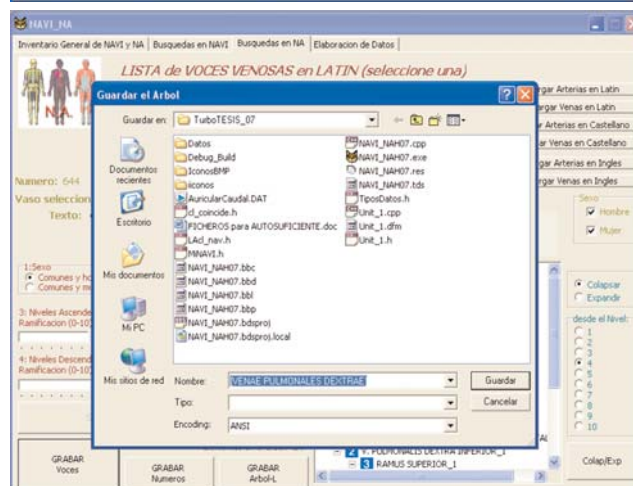
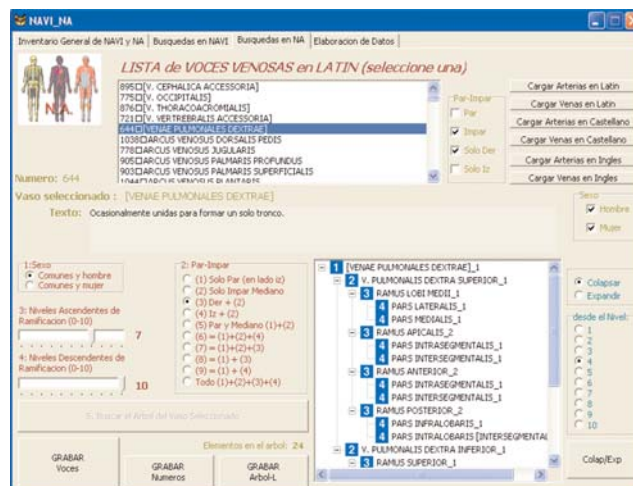
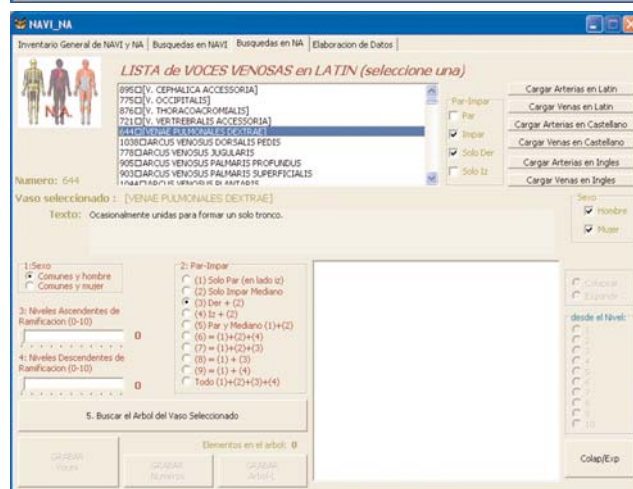
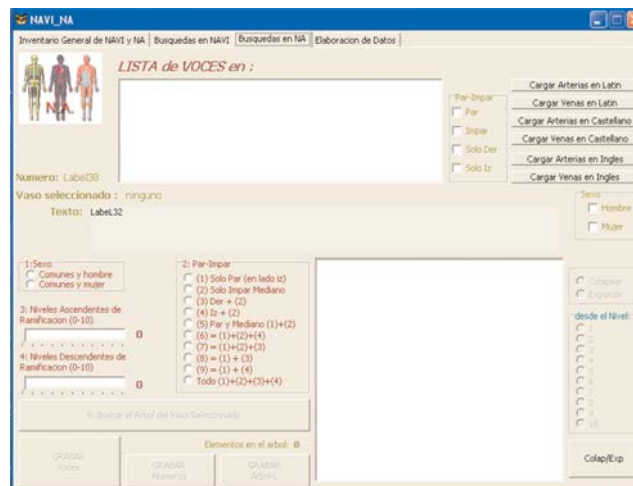
Como antes, lo primero es elegir el vaso, para lo cual disponemos de cuatro botones, que nos desglosan arterias y vetas, tanto en español, como en latín, como en inglés.

El vaso se selecciona, pulsando sobre el en la pantalla. Apareciendo inmediatamente, la información de dicho vaso.

La obtención del árbol vascular, se consigue, pulsando el botón al efecto, previa elección de la: especie, sexo, lateralidad, niveles de ancestros y de descendientes.

Si el árbol es muy complejo, es posible reducir la visualización de cualquier rama, pulsando sobre el nodo paterno, o mediante los botones que hay la parte derecha de la pantalla.

El resultado puede almacenarse en un fichero .DAT, mediante el botón adecuado.





### 2.5.2. PRESTACIONES del PROGRAMA Fractal3D.exe

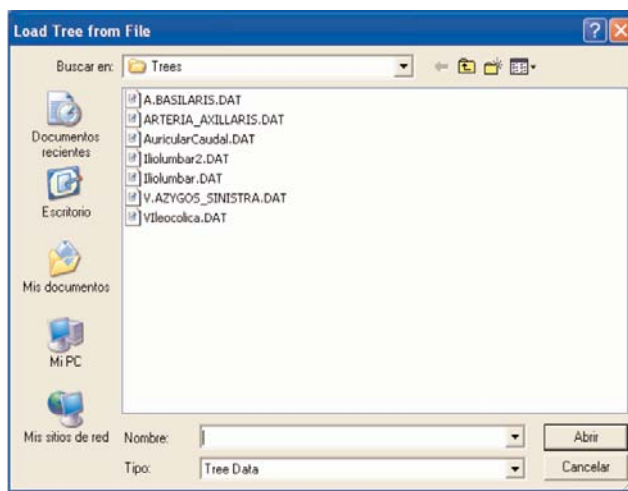
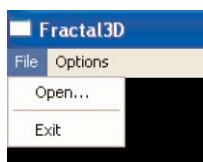
Se trata de otra herramienta desarrollada para este trabajo, mediante Microsoft Visual C++ 2006 y OpenGL. Es también un resultado del trabajo, que por sus objetivos y funcionalidad, se describe ahora en Material y Métodos. (Una versión limitada del mismo, se incluye en CD que acompaña a esta memoria).



Su manejo se ha procurado intuitivo, mediante botones y opciones de menú, cuyo nombre autoexplica su función. Seguidamente se enumeran las prestaciones del programa.

Después de arrancar el programa, se cargan uno, o varios, ficheros .DAT. Cada uno contiene un árbol, y habrá sido generado por el programa NAVI\_NAH.exe.

Esta operación se realizará mediante el comando **Open..** del menú **File**.



A partir de los datos del fichero .DAT, el programa, construye un árbol vascular 3D, que mantiene las relaciones entre los nodos.

Durante el tiempo de carga, y de forma simultánea, se hacen treinta reconstrucciones de cada árbol vascular. Varían en la algulación de sus ramas.



Esta operación introduce el factor de variabilidad existente en los árboles reales, respecto al patrón de la NAVI o de la NA.

Para cada una de las treinta reconstrucciones vasculares, se calcula su *dimensión fractal*, mediante la técnica de **recuento de cajas** o **box-counting** (Guzmán et al. 1993; Whal, 1994).

Esta técnica, parte de un cubo que engloba a todo el árbol vascular 3D. Luego, y de forma iterada, el cubo se divide en otros cuyo lado es la mitad del de la etapa precedente. Proceso que continúa, hasta que el lado del cubo es de 1 pixel.

En cada etapa, se contabilizan cuantos cubos contienen algún elemento del árbol vascular 3D. Valores sobre los que se aplica un cociente logarítmico, que determina una relación entre las homotecias encontradas en el árbol vascular 3D. Dicha relación se conoce como **dimensión fractal**, o **entropía de Kolmogorov** (Guzmán et al. 1993; Whal, 1994; Liebovitch, 1998).

La siguiente expresión, formaliza el proceso seguido:

$$\frac{d_n - d_{n-1}}{\log\left(\frac{1}{2^n}\right) - \log\left(\frac{1}{2^{n-1}}\right)}$$

$n$  = ordinal de la generación en la división de cubos, en que se hace el cálculo.  
 $n-1$  = ordinal de la generación en la división de cubos, precedente al que se está haciendo el cálculo.

$d_n$  =  $\log_{10}$  del número de cubos que contienen alguna parte del árbol.

$d_{n-1}$  =  $\log_{10}$  del número de cubos que contienen alguna parte del árbol, en la generación precedente.

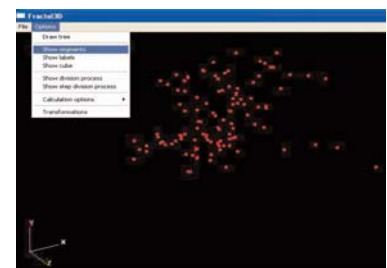
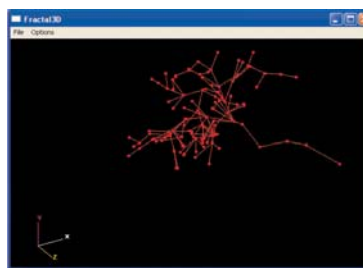
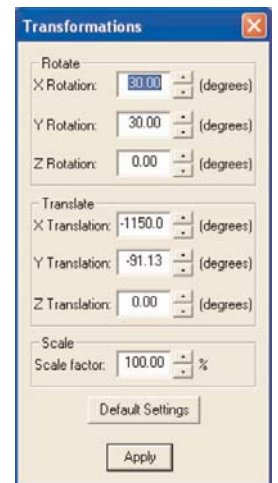
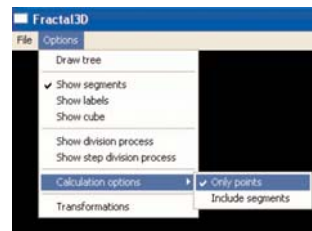
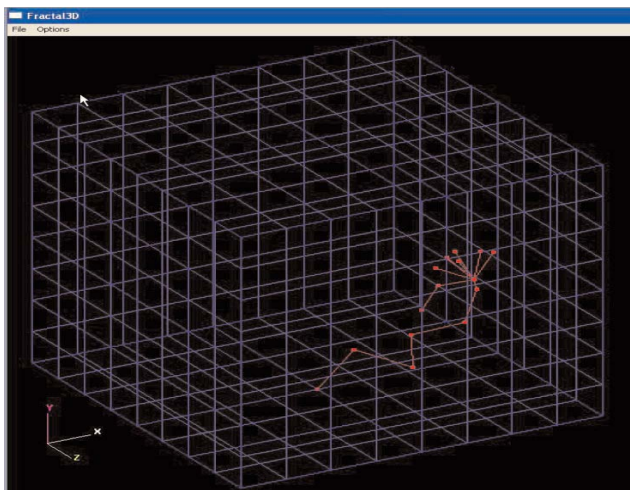
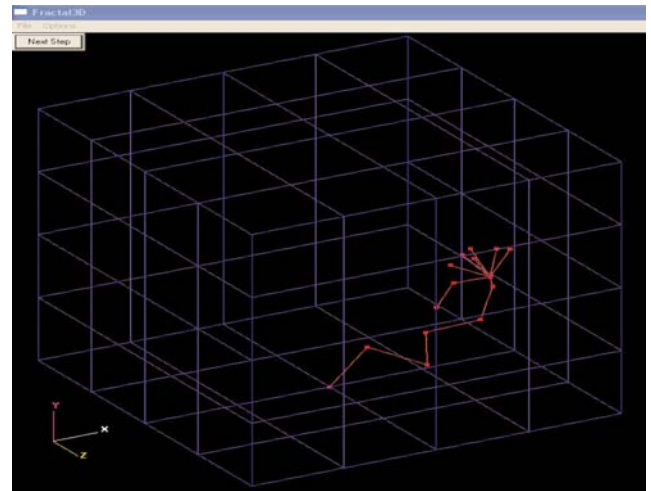
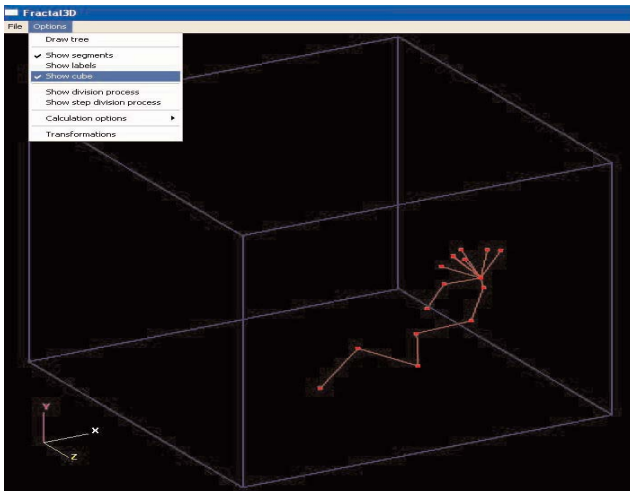
El valor de la *dimensión fractal* de cada árbol vascular 3D, se obtiene como promedio de los valores precedentes, asociados a cada etapa en la mengua iterada del cubo.

Para cada fichero .DAT, se genera otro .OUT, con el desglose detallado de todos los cálculos realizados, por generaciones de cubos, y agrupados para cada una de las treinta reconstrucciones.

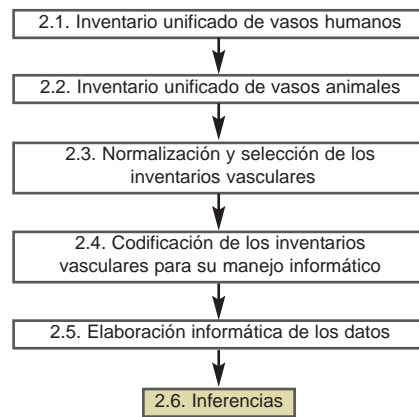
El programa visualiza cualquiera de los árboles vasculares 3D, construidos o generados, así como el proceso de división del cubo perimetral original.

También dispone de controles para modificar la visualización y su contenido.

3568.41	1	3.55248	0	0
1784.21	4	3.25145	0.60206	-2
892.103	11	2.95042	1.04139	-1.45943
446.052	32	2.64939	1.50515	-1.54057
223.026	137	2.34836	2.13672	-2.09803
111.513	529	2.04733	2.72346	-1.94909
55.7565	1158	1.7463	3.06371	-1.1303
27.8782	1417	1.44527	3.15137	-0.291205
13.9391	1476	1.14424	3.16909	-0.0588531
6.96956	1488	0.843205	3.1726	-0.0116815
3.48478	1492	0.542175	3.17377	-0.00387314
1.74239	1492	0.241145	3.17377	-2.13809e-007
594.59	769.75	1.89681	2.24276	-0.958457
3627.8	1	3.55964	0	0
1813.9	2	3.25861	0.30103	-1
906.95	6	2.95758	0.778151	-1.58496
453.475	21	2.65655	1.32222	-1.80735
226.738	84	2.35552	1.92428	-2
113.369	339	2.05449	2.5302	-2.01282
56.6844	949	1.75346	2.97727	-1.48512
28.3422	1354	1.45243	3.13162	-0.512747
14.1711	1474	1.1514	3.1685	-0.122509
7.08555	1490	0.850373	3.17319	-0.0155755
3.54277	1491	0.549343	3.17348	-0.000967815
1.77139	1493	0.248313	3.17406	-0.00193389
604.486	725.33	1.90398	2.13783	-0.958545...



Aunque para este trabajo los cálculos fractales se han realizado sobre nubes de puntos (los nodos de arborización), el programa permite cálculos sobre árboles completos.



### 2.6. INFERENCIAS

El **análisis estadístico** de los datos, se efectuó con el paquete SPSS v15 (Mendenhall et al.1981; Steel & Torrie, 1985;. Armitage & Berry, 1988; García Pérez, 1992; Hair et al., 1999; Ferrán Aranz, 2001).

Con rutinas escritas en Visual C++, y Turbo C++, se organizaron los datos, cuando fue preciso, para hacerlos manejables.

La **dimensión fractal**, se calculó mediante Fractal3D.exe, según ha quedado expuesto en 2.5.2..

La dimensión fractal, o entropía de Kolmogorov, es como se denomina a una relación obtenida para facilidad de cálculos como el cociente logarítmico entre el número de homotecias internas encontradas en un objeto por transformación, y la inversa de la razón de esa homotecia. Es también llamada Box Counting Dimension.

La dimensión fractal de un objeto, puede interpretarse: bien como una medida de la entropía; bien como medida de lo complejo que es un objeto.

La geometría fractal, argumentada entorno a la dimensión fractal, permite hacer simulaciones de árboles: vasculares, ríos, o vegetales (Weibel, 2005; Gil et al., 2006-1, 2006-2; Kamiya & Takahashi, 2007; Glenny et al., 2007).

También sirve como modelo en el estudio de la vascularización de tumores (Tsafnat et al., 2005.), o de la retina (Masters, 2004; Stosic & Stosic, 2006), de la dinámica vascular (Marxen & Henkelman, 2003).

Modelos empleados también, como elementos taxonómicos para establecer diferencias individuales entre los distintos árboles vasculares; como el del miembro torácico humano (Zahedi & Ali, 2004).

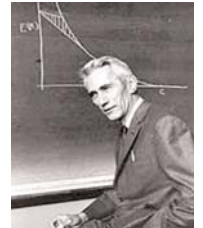
La **entropía**, fue calculada mediante NAVI\_NAH.exe (ver apartado: 2.5.1.4.), con la fórmula:

$$H = \sum_{i=1}^n - p_i \log_2(p_i)$$

Donde la letra **p**, simboliza la probabilidad asociada a cada caracter (para este trabajo, será, cada nodo del árbol, en función de su nivel de arborización y ramas que contiene), y medida a partir de la frecuencias relativas.

Esta fórmula, procede de la Teoría de la Información, cuya primera formulación matemática fue realizada en 1928 por Hartley (López et al. 1995). Idea que consideradas como el germen de la teoría actual (Shannon, 1948), desarrollada en 1949 por Shannon y Weaver (López et al. 1995).

La entropía, medida según esta fórmula, caracteriza la información almacenada en un árbol vascular.



**Claude E. Shannon**  
(1916 - 2001)

La posibilidad de medir la **belleza** como atributo de los objetos, fue establecida en 1928, por el matemático norteamericano George David Birkhoff (Birkhoff , 1931, 1934), mediante la ecuación:

$$\text{Belleza o Valor Estético} = \frac{\text{Cantidad de Orden}}{\text{Complejidad del Objeto}}$$



**George David Birkhoff**  
(1884 - 1944)

Puesto que la dimensión fractal puede interpretarse: bien como una medida de la entropía; o como medida de lo complejo que e un objeto, a partir de como éste llena el espacio donde se inscribe, caben varias maneras de aplizar la expresión a los árboles vasculares. Calculada mediante NAVI\_NAH.exe (ver apartado: 2.5.1.4.), elegimos las siguientes:

	<i>Cantidad de Oden</i>	<i>Complejidad del Objeto</i>
<i>Belleza1</i>	Entropía (2.6.3)	Dimensión Fractal (2.6.2)
<i>Belleza2</i>	Entropía (2.6.3)	Denominador
<i>Belleza3</i>	Dimensión Fractal (2.6.2)	Denominador

↓

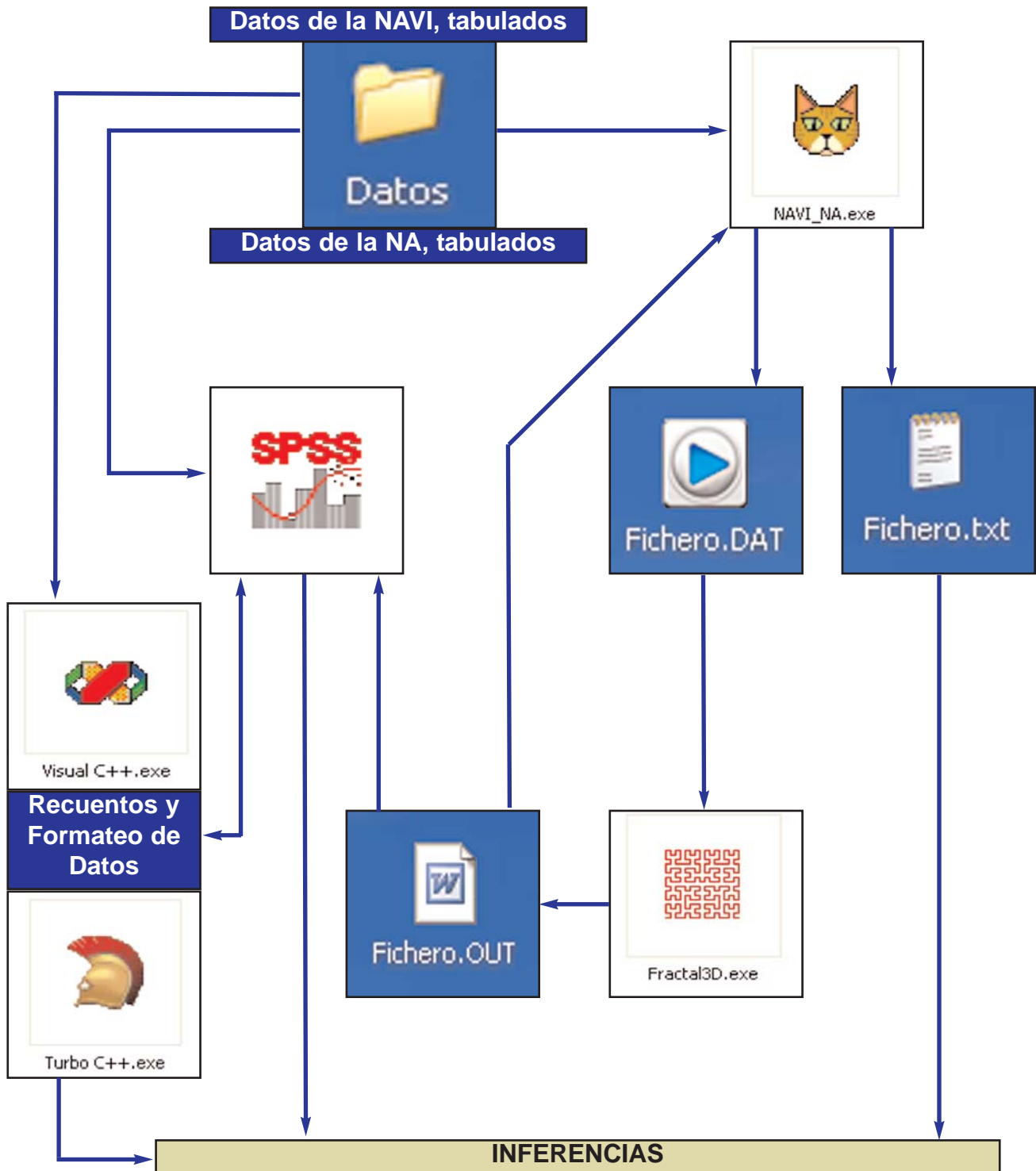
Denominador =

$$\sum_{i=1}^n n^{\circ} \text{ de elementos de un determinado tipo } i \times \text{cuantificación del tipo } i =$$

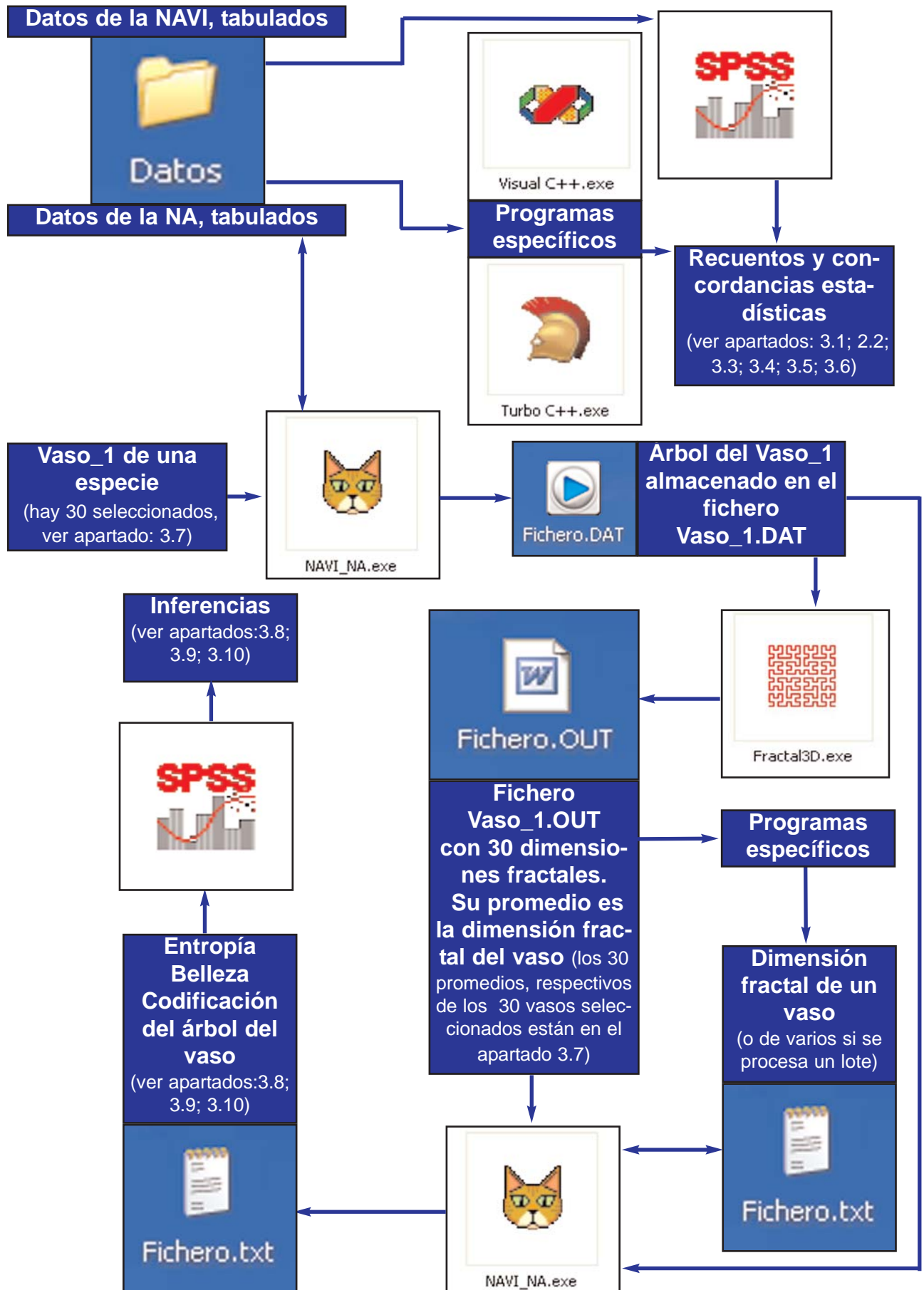
$$\sum_{i=1}^n n^{\circ} \text{ de nodos de un determinado nivel } i \times \text{nivel } i$$

2.6.1. PRE-PROCESADO de los DATOS

El análisis estadístico de los datos, requiere su: obtención, ordenado y pre-procesado; mostrándose en los siguiente diagrama los pasos realizados En el siguiente diagrama, se muestran los vínculos del método seguido:



2.6.2. SECUENCIACIÓN para un CASO



# 3. RESULTADOS

Disponer de la información vascular informatizada, tanto de la NAVI, como de la NA, facilita, recuentos y comparaciones estadísticas generales, como las que seguidamente se exponen:

## 3.1. INVENTARIO VASCULAR de las NÓMINAS

Los datos vasculares brutos de la NA, que se han manejado en este trabajo, incluyen 1054 voces, de las que 635 son arterias y 419 venas. En un anexo del CD de esta memoria, se recoge la lista de las todas estas voces.

Los de la NAVI, comprenden 2624 voces, de las que 1576 son arterias y 1048 venas. En el Anexo 1, está la lista de todas estas voces.

## 3.2. INVENTARIO DESGLOSADO de la INFORMACIÓN VASCULAR de la NA.

El recuento desglosado y porcentual de arterias y venas, procedentes de la NA, ha sido:

	(1) Arterias (% 1)	(2) Venas (% 2)	(3) Arterias y Venas (1 + 2)
<b>Hombre</b>	635 (60.25 %)	419 (39.75 %)	1054 (100 %)

### 3.3. INVENTARIO DESGLOSADO de la INFORMACIÓN VASCULAR de la NAVI.

Asignando a cada especie sus vasos, así como los que son comunes, obtenemos los valores recopilados en la siguiente tabla:

<b>Procedencia</b>	<b>(1) Arterias (1576)  (% 1-4)</b>	<b>(2) Venas (1048)  (% 2-5)</b>	<b>(3) Arterias y Venas (2624) (1 + 2) (% 3-6)</b>	<b>(4) Arterias Propias de la Especie + Comunes (1<sub>c</sub> + d1/d7) (% 4-6)</b>	<b>(5) Venas pro- prias de la Especie + Comunes (2<sub>c</sub> + d1/d7) (% 5-6)</b>	<b>(6) Arterias y Venas pro- prias de la Especie + Comunes (4 + 5)</b>
<b>Comunes (c)</b>	100 (3.81%)	144 (7.55%)	244 (5.38%)			
<b>Perro (d1)</b>	355 (13.52%)	257 (13.47%)	612 (13.5%)	455 (14.10%)	401 (14.47%)	856 (14.27%)
<b>Gato (d2)</b>	346 (13.18%)	260 (13.63%)	606 (13.37%)	446 (13.82%)	404 (14.57%)	850 (14.17%)
<b>Caballo (d3)</b>	323 (12.3%)	234 (12.26%)	557 (12.28%)	423 (13.11%)	378 (13.64%)	801 (13.35%)
<b>Cerdo (d4)</b>	352 13.4%)	244 (12.79%)	596 (13.14%)	452 (14.01%)	388 (14%)	840 (14%)
<b>Vaca (d5)</b>	392 (14.93%)	259 (13.57%)	651 (14.36%)	492 (15.25%)	403 (14.54%)	895 (14.92%)
<b>Oveja (d6)</b>	379 (14.43%)	253 (13.26%)	632 (13.94%)	479 (14.85%)	397 (14.32%)	876 (14.6%)
<b>Cabra (d7)</b>	379 (14.43%)	257 (13.47%)	636 (14.03%)	479 (14.85%)	401 (14.47%)	880 (14.67%)
<b>Total de la columna</b>	<b>2626 (100%)</b>	<b>1908 (100%)</b>	<b>4534 (100%)</b>	<b>3226 (100%)</b>	<b>2772 (100%)</b>	<b>5998 (100%)</b>

Estos valores, servirán como punto de partida para calcular las ramificaciones existentes en cada especie.

Los valores contabilizados en la fila Total de la columna, no coinciden con los totales de la primera fila, debido a que hay vasos contabilizados varias veces, al ser comunes a varias especies.

### 3.4. CONCORDANCIAS entre la NAVI, y la NA.

La simple lectura directa de ambas nóminas, muestra que no siempre hay coincidencias terminológicas, entre los vasos de cualquier región.

A partir de las denominaciones latinas de los vasos, y un programa escrito al efecto, se han buscado dichas coincidencias, que son a la vez terminológicas y de significado anatómico. Las encontradas, sustentadas sólo en las voces, se eliminaron manualmente.

El programa ha concentrado las búsquedas, usando ciertas raíces que son comunes a determinadas palabras. En particular, tenemos que:

RAÍZ UTILIZADA para >>	PALABRAS en la NAVI	PALABRAS en la NA
<i>anterior</i>	anteriores	anterior anteriores anterioris
<i>posterior</i>	posteriores	posterior posteriores posterioris
<i>inferior</i>	inferior inferiores	inferior inferioris
<i>profunda</i>	profunda profundae	profunda
<i>superficial</i>	superficialis superficiales superficiali	superficialis superficiales
<i>cranial</i>	cranialis craniales	cranialis
<i>caudal</i>	caudalis caudales caudale	

La NA es menos restrictiva que la NAVI, cuando describe la orientación de una parte, respecto a los tres planos de referencia (mediano, dorsal, y transversal), que se cruzan en el centro geométrico del cuerpo.

Ello ha motivado que la búsqueda de coincidencias, también se realizase empleando como sinónimos:

craneal << >> anterior
caudal << >> posterior
inferior << >> caudal

En un anexo del CD de esta memoria, está la lista de las coincidencias encontradas, con o sin incluir los sinónimos precedentes. No se incluyen las voces, que por ser las mismas en varios contextos, son poco precisas (Ramus ascendens, Ramus descendens, Ramus perforans, Ramus superficialis, Ramus profundus,.....).

### 3.5. INVENTARIO ESPECÍFICO de las CONCORDANCIAS entre la INFORMACIÓN VASCULAR de la N.A.V.I. y la N.A.

Se han contabilizado cuantas arterias y venas, distribuidos por especies, son comunes a la NAVI y la NA.

En la siguiente, **Primera Tabla**, está la cuantificación de las coincidencias basadas en las raíces comunes.

<b>Procedencia</b>	(1) Arterias (1576)  (% 1-4)	(2) Venas (1048)  (% 2-5)	(3) Arterias y Venas (2624) (1 + 2) (% 3-6)	(4) Arterias Propias de la Especie + Comunes (1 <sub>c</sub> + d1/d7) (% 4-6) (a <sub>c</sub> + d1/d7)	(5) Venas pro- pias de la Especie + Comunes (2 <sub>c</sub> + d1/d7) (% 5-6)	(6) Arterias y Venas pro- pias de la Especie + Comunes (4 + 5)
<b>Comunes (c)</b>	48 (4.67%)	52 (10.86%)	100 (6.64%)			
<b>Perro (d1)</b>	154 (14.99%)	65 (13.57%)	219 (14.54%)	202 (15.36%)	117 (14.79%)	319 (15.15%)
<b>Gato (d2)</b>	153 (14.9%)	63 (13.15%)	216 (14.34%)	201 (15.28%)	115 (14.54%)	316 (15%)
<b>Caballo (d3)</b>	123 (11.98%)	58 (12.11%)	181 (12.02%)	171 (13%)	110 (13.9%)	281 (13.34%)
<b>Cerdo (d4)</b>	133 (12.95%)	68 (14.2%)	201 (13.35%)	181 (13.76%)	120 (15.17%)	301 (14.29%)
<b>Vaca (d5)</b>	136 (13.24%)	58 (12.11%)	194 (12.88%)	184 (13.99%)	110 (13.91%)	294 (13.96%)
<b>Oveja (d6)</b>	140 (13.63%)	57 (11.9%)	197 (13.08%)	188 (14.3%)	109 (13.78%)	297 (14.1%)
<b>Cabra (d7)</b>	140 (13.63%)	58 (12.11%)	198 (13.15%)	188 (14.3%)	110 (13.91%)	298 (14.15%)
<b>Total de la columna</b>	<b>1027 (100%)</b>	<b>479 (100%)</b>	<b>1506 (100%)</b>	<b>3226 (100%)</b>	<b>791 (100%)</b>	<b>2106 (100%)</b>

**3.5.1. INVENTARIO ESPECÍFICO de las CONCORDANCIAS entre la INFORMACIÓN VASCULAR de la N.A.V.I. y la N.A.**

En esta **Segunda Tabla**, está la cuantificación de las coincidencias basadas sólo en los sinónimos indicados en el anterior apartado: 3.4.

<b>Procedencia</b>	<b>(1) Arterias (1576)  (% 1-4)</b>	<b>(2) Venas (1048)  (% 2-5)</b>	<b>(3) Arterias y Venas (2624) (1 + 2) (% 3-6)</b>	<b>(4) Arterias Propias de la Especie + Comunes (1<sub>c</sub> + d1/d7) (% 4-6) (a<sub>c</sub> + d1/d7)</b>	<b>(5) Venas pro- prias de la Especie + Comunes (2<sub>c</sub> + d1/d7) (% 5-6)</b>	<b>(6) Arterias y Venas pro- prias de la Especie + Comunes (4 + 5)</b>
<b>Comunes (c)</b>	2 (1.87%)	0 (0%)	2 (1.65%)			
<b>Perro (d1)</b>	19 (17.76%)	1 (7.14%)	20 (16.53%)	21 (17.65%)	1 (7.14%)	22 (16.54%)
<b>Gato (d2)</b>	7 (6.54%)	2 (14.28%)	9 (7.44%)	9 (7.56%)	2 (14.28%)	11 (8.27%)
<b>Caballo (d3)</b>	8 (7.48%)	2 (14.28%)	10 (8.26%)	10 (8.4%)	2 (14.28%)	12 (9.02%)
<b>Cerdo (d4)</b>	11 (10.28%)	3 (21.43%)	14 (11.57%)	13 (10.92%)	3 (21.43%)	16 (12.03%)
<b>Vaca (d5)</b>	20 (18.69%)	2 (14.28%)	22 (18.18%)	22 (18.49%)	2 (14.28%)	24 (18.04%)
<b>Oveja (d6)</b>	20 (18.69%)	2 (14.28%)	22 (18.18%)	22 (18.49%)	2 (14.28%)	24 (18.04%)
<b>Cabra (d7)</b>	20 (18.69%)	2 (14.28%)	22 (18.18%)	22 (18.49%)	2 (14.28%)	24 (18.04%)
<b>Total de la columna</b>	<b>107 (100%)</b>	<b>14 (100%)</b>	<b>121 (100%)</b>	<b>119 (100%)</b>	<b>14 (100%)</b>	<b>133 (100%)</b>

**3.5.2. INVENTARIO ESPECÍFICO de las CONCORDANCIAS entre la INFORMACIÓN VASCULAR de la N.A.V.I. y la N.A.**

En esta **Tercera Tabla**, está la cuantificación de las coincidencias basadas tanto en las raíces comunes, a las que se han sumado los sinónimos indicados en el anterior apartado: 3.4..

<b>Procedencia</b>	<b>(1) Arterias (1576)  (% 1-4)</b>	<b>(2) Venas (1048)  (% 2-5)</b>	<b>(3) Arterias y Venas (2624) (1 + 2) (% 3-6)</b>	<b>(4) Arterias Propias de la Especie + Comunes (1<sub>c</sub> + d1/d7) (% 4-6) (a<sub>c</sub> + d1/d7)</b>	<b>(5) Venas pro- prias de la Especie + Comunes (2<sub>c</sub> + d1/d7) (% 5-6)</b>	<b>(6) Arterias y Venas pro- prias de la Especie + Comunes (4 + 5)</b>
<b>Comunes (c)</b>	50 (4.44%)	52 (10.57%)	102 (6.31%)			
<b>Perro (d1)</b>	164 (14.58%)	65 (13.21%)	229 (14.16%)	214 (15.02%)	117 (14.55%)	331 (14.85%)
<b>Gato (d2)</b>	160 (14.22%)	65 (13.21%)	225 (13.91%)	210 (14.74%)	117 (14.55%)	327 (14.67%)
<b>Caballo (d3)</b>	131 (11.64%)	60 (12.19%)	191 (11.81%)	181 (12.7%)	112 (13.93%)	293 (13.15%)
<b>Cerdo (d4)</b>	144 (12.8%)	71 (14.43%)	215 (13.3%)	194 (13.61%)	123 (15.3%)	317 (14.22%)
<b>Vaca (d5)</b>	156 (13.87%)	60 (12.19%)	216 (13.36%)	206 (14.46%)	112 (13.93%)	318 (14.27%)
<b>Oveja (d6)</b>	160 (14.22%)	59 (11.99%)	219 (13.54%)	210 (14.74%)	111 (13.8%)	321 (14.4%)
<b>Cabra (d7)</b>	160 (14.22%)	60 (12.19%)	220 (13.6%)	210 (14.74%)	112 (13.93%)	322 (14.45%)
<b>Total de la columna</b>	<b>1125 (100%)</b>	<b>492 (100%)</b>	<b>1617 (100%)</b>	<b>1425 (100%)</b>	<b>804 (100%)</b>	<b>2229 (100%)</b>

### 3.6. SIMILITUDES ESTADÍSTICAS entre los ÁRBOLES VASCULARES ESTUDIADOS

Los resultados de aplicar la prueba Q de Cochran, se han reunido en varias tablas, dependiendo del tipo de comparación, estableciéndose para facilitar su lectura, el siguiente código de colores:

<b><i>Código de colores para las tablas donde se recogen los resultados de las comparaciones efectuadas mediante la Q de Cochran</i></b>
<b>Coincidencia total</b>
<b>Elevada coincidencia</b>
<b>Coincidencia</b>
<b>Casi sin coincidencia</b>
<b>Sin coincidencia</b>

#### 3.6.1. Comparación entre los datos de la NAVI sobre el conjunto de Arterias y Venas

	<b>Gato</b>	<b>Caballo</b>	<b>Cerdo</b>	<b>Vaca</b>	<b>Oveja</b>	<b>Cabra</b>
<b>Perro</b>	0.704	0.103	0.617	0.267	0.567	0.617
<b>Gato</b>		0.144	0.753	0.199	0.454	0.753
<b>Caballo</b>			0.243	0.004	0.02	0.243
<b>Cerdo</b>				0.114	0.296	1
<b>Vaca</b>					0.02	0.114
<b>Oveja</b>						0.296

## 3.6.2. Comparación entre los datos de la NAVI sobre el conjunto de Arterias

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra
Perro	0.442	0.216	0.909	0.172	0.371	0.909
Gato		0.37	0.818	0.087	0.216	0.818
Caballo			0.26	0.009	0.033	0.26
Cerdo				0.137	0.311	1
Vaca					0.058	0.137
Oveja						0.311

## 3.6.3. Comparación entre los datos de la NAVI sobre el conjunto de Venas

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra
Perro	0'778	0.287	0.475	0.929	0.858	0.475
Gato		0.23	0.381	0.964	0.754	0.381
Caballo			0.639	0.185	0.308	0.639
Cerdo				0.496	0.68	1
Vaca					0.18	0.496
Oveja						0.68

**3.6.4. Comparación entre los datos de NAVI y NA, sobre el conjunto de Arterias y Venas incluidos los sinónimos**

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
Perro	0.74	0.103	0.617	0.267	0.567	0.617	0
Gato		0.144	0.753	0.199	0.454	0.753	0
Caballo			0.243	0.004	0.02	0.243	0
Cerdo				0.114	0.296	1	0
Vaca					0.02	0.114	0
Oveja						0.296	0
Cabra							0

**3.6.5. Comparación entre los datos de los datos de NAVI y NA del conjunto de Arterias incluidos los sinónimos**

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
Perro	0.442	0.216	0.909	0.172	0.371	0.909	0
Gato		0.37	0.818	0.087	0.216	0.818	0
Caballo			0.26	0.009	0.033	0.26	0
Cerdo				0.137	0.311	1	0
Vaca					0.058	0.137	0
Oveja						0.311	0
Cabra							0

**3.6.6. Comparación entre los datos de NAVI y NA del conjunto de Venas incluidos los sinónimos**

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
Perro	0.778	0.287	0.475	0.929	0.858	0.475	0
Gato		0.23	0.381	0.964	0.754	0.381	0
Caballo			0.639	0.185	0.308	0.639	0
Cerdo				0.496	0.68	1	0
Vaca					0.18	0.496	0
Oveja						0.68	0
Cabra							0

**3.6.7. Comparación entre los datos de NAVI y NA del conjunto de Arterias y Venas sin incluir los sinónimos**

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
Perro	0.704	0.103	0.617	0.267	0.567	0.617	0
Gato		0.144	0.753	0.199	0.454	0.753	0
Caballo			0.243	0.004	0.02	0.243	0
Cerdo				0.114	0.296	1	0
Vaca					0.02	0.114	0
Oveja						0.296	0
Cabra							0

**3.6.8. Comparación entre los datos de NAVI y NA del conjunto de Arterias sin incluir los sinónimos**

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
Perro	0.442	0.216	0.909	0.172	0.371	0.909	0
Gato		0.37	0.818	0.087	0.216	0.818	0
Caballo			0.26	0.009	0.033	0.26	0
Cerdo				0.137	0.311	1	0
Vaca					0.058	0.137	0
Oveja						0.311	0
Cabra							0

**3.6.9. Comparación entre los datos de NAVI y NA del conjunto de Venas sin incluir los sinónimos**

	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
Perro	0.778	0.287	0.475	0.929	0.858	0.475	0
Gato		0.23	0.381	0.964	0.754	0.381	0
Caballo			0.639	0.185	0.308	0.639	0
Cerdo				0.496	0.68	1	0
Vaca					0.18	0.496	0
Oveja						0.68	0
Cabra							0

### 3.7. DIMENSIÓN FRACTAL entre los ÁRBOLES VASCULARES ESTUDIADOS

Se han empleado los programas NAVI\_NA.exe (ver apartado 2.5.1), y Fractal3D.exe (ver apartado 2.5.2), conforme a la secuenciación de tareas prevista (ver apartado 2.6.5), sobre la siguiente selección de vasos:

1: Arterias Macho (5)	Todas las Arterias del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
2: Arterias Macho (6)	Todas las Arterias del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
3: Arterias Hembra (5)	Todas las Arterias de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
4: Arterias Hembra (6)	Todas las Arterias de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
5: Tronco pulmonar (5)	Tronco pulmonar (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
6: Tronco pulmonar (6)	Tronco pulmonar (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
7: Aorta Macho (5)	Aorta Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
8: Aorta Hembra (5)	Aorta de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
9: Aorta Macho (6)	Aorta del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
10: Aorta Hembra (6)	Aorta de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
11: Carótida izquierda (5)	Carótida izquierda (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
12: Carótida izquierda (6)	Carótida izquierda (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
13: A. Axilar izquierda (5)	A. Axilar izquierda (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
14: A. Axilar izquierda (6)	A. Axilar izquierda (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
15: A. Iliaca interna Macho (5)	A. Iliaca interna del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	A. Iliaca interna de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
17: A. Iliaca interna Macho (6)	A. Iliaca interna del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	A. Iliaca interna de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
19: A. Iliaca externa Macho (5)	A. Iliaca externa del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	A. Iliaca externa de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
21: A. Iliaca externa Macho (6)	A. Iliaca externa del Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	A. Iliaca externa de la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).

23: Venas Macho (5)	Todas las Venas en el Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
24: Venas Hembra (5)	Todas las Venas en la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
25: Venas Macho (6)	Venas en el Macho (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
26: Venas Hembra (6)	Venas en la Hembra (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
27: Cava craneal (5)	Cava craneal (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
28: Cava craneal (6)	Cava craneal (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).
29: Cava caudal (5)	Cava caudal (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas).
30: Cava caudal (6)	Cava caudal (las ramas pares del lado izquierdo + impares medianas + impares del lado izquierdo).

El número que, entre paréntesis, aparece al final de la denominación abreviada de cada vaso (columna de la izquierda), corresponde a la paridad de las ramas empleadas.

Se sigue la misma codificación, empleada en el programa NAVI\_NA.exe (ver apartado 2.5.1).

3: Par-Impar

- (1) Solo Par (en lado iz)
- (2) Solo Impar Mediano
- (3) Der + (2)
- (4) Iz + (2)
- (5) Par y Mediano (1)+(2)
- (6) = (1)+(2)+(4)
- (7) = (1)+(2)+(3)
- (8) = (1) + (3)
- (9) = (1) + (4)
- Todo (1)+(2)+(3)+(4)

Las dimensiones fractales calculadas, en las siguientes páginas, se mostrarán reunidas, en grupos de vasos comparables.

## RESULTADOS

Los números recogidos en la tablas, representan las dimensiones fractales de cada árbol. Mientras que los valores entre paréntesis, indican el número de ramas, que tiene el árbol, cuya raíz, es el vaso que se nombra, en la columna de la izquierda.

	Perro	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
1: Arterias Macho (5)	0.744 (290)	0.744 (290)	0.741 (283)	0.738 (277)	0.754 (323)	0.748 (300)	0.75 (303)	0.716 (230)
2: Arterias Macho (6)	0.78 (381)	0.781 (384)	0.78 (381)	0.785 (397)	0.8 (446)	0.792 (420)	0.794 (423)	0.797 (436)
3: Arterias Hembra (5)	0.745 (288)	0.745 (288)	0.739 (279)	0.738 (277)	0.76 (326)	0.748 (304)	0.751 (306)	0.718 (233)
4: Arterias Hembra (6)	0.779 (379)	0.78 (382)	0.783 (382)	0.785 (397)	0.8 (449)	0.794 (424)	0.794 (426)	0.798 (439)

	Perro	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
5: Tronco pulmonar (5)	0.074 (1)	0.061 (1)	0.066 (1)	0.061 (1)	0.07 (1)	0.057 (1)	0.056 (1)	0.056 (1)
6: Tronco pulmonar (6)	0.272 (6)	0.273 (6)	0.231 (4)	0.27 (6)	0.273 (6)	0.276 (6)	0.276 (6)	0.414 (17)

	Perro	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
7: Aorta Macho (5)	0.743 (288)	0.743 (288)	0.74 (281)	0.737 (275)	0.757 (298)	0.747 (298)	0.749 (301)	0.715 (232)
8: Aorta Hembra (5)	0.742 (286)	0.742 (286)	0.74 (277)	0.737 (275)	0.758 (302)	0.752 (302)	0.75 (304)	0.716 (235)
9: Aorta Macho (6)	0.777 (374)	0.778 (377)	0.778 (376)	0.783 (390)	0.798 (413)	0.79 (413)	0.791 (416)	0.791 (422)
10: Aorta Hembra (6)	0.776 (372)	0.777 (375)	0.776 (372)	0.783 (390)	0.799 (417)	0.79 (417)	0.79 (419)	0.794 (425)

	Perro	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
11: Carótida izquierda (5)	0.635 (106)	0.627 (105)	0.602 (92)	0.609 (93)	0.622 (98)	0.616 (98)	0.61 (97)	0.607 (94)
12: Carótida izquierda (6)	0.627 (106)	0.639 (105)	0.61 (92)	0.609 (93)	0.627 (98)	0.612 (98)	0.617 (97)	0.608 (94)

	Perro	Gato	Caballo	Cerdo	Vaca	Oveja	Cabra	Hombre
13: A. Axilar izquierda (5)	0.532 (55)	0.546 (58)	0.534 (56)	0.543 (60)	0.565 (71)	0.566 (71)	0.564 (71)	0.543 (51)
14: A. Axilar izquierda (6)	0.543 (55)	0.546 (58)	0.54 (56)	0.54 (60)	0.566 (71)	0.564 (71)	0.56 (71)	0.55 (51)

**RESULTADOS**

	<b>Perro</b>	<b>Gato</b>	<b>Caballo</b>	<b>Cerdo</b>	<b>Vaca</b>	<b>Oveja</b>	<b>Cabra</b>	<b>Hombre</b>
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0.458 (24)	0.462 (25)	0.486 (34)	0.45 (23)	0.448 (21)	0.441 (21)	0.44 (21)	0.499 (34)
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0.46 (24)	0.462 (25)	0.488 (32)	0.467 (26)	0.484 (26)	0.474 (26)	0.471 (26)	0.513 (38)
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0.454 (24)	0.46 (25)	0.492 (34)	0.45 (23)	0.45 (21)	0.442 (21)	0.44 (21)	0.505 (34)
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0.451 (24)	0.467 (25)	0.495 (32)	0.467 (26)	0.476 (26)	0.473 (26)	0.471 (26)	0.507 (38)

	<b>Perro</b>	<b>Gato</b>	<b>Caballo</b>	<b>Cerdo</b>	<b>Vaca</b>	<b>Oveja</b>	<b>Cabra</b>	<b>Hombre</b>
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0.564 (66)	0.559 (63)	0.56 (68)	0.561 (67)	0.594 (91)	0.587 (86)	0.588 (87)	0.562 (69)
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0.561 (64)	0.556 (61)	0.556 (66)	0.558 (64)	0.601 (89)	0.587 (85)	0.589 (85)	0.557 (68)
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0.562 (66)	0.565 (63)	0.562 (68)	0.554 (67)	0.594 (91)	0.591 (86)	0.588 (87)	0.556 (69)
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0.566 (64)	0.562 (61)	0.552 (66)	0.552 (64)	0.593 (89)	0.585 (85)	0.587 (85)	0.562 (68)

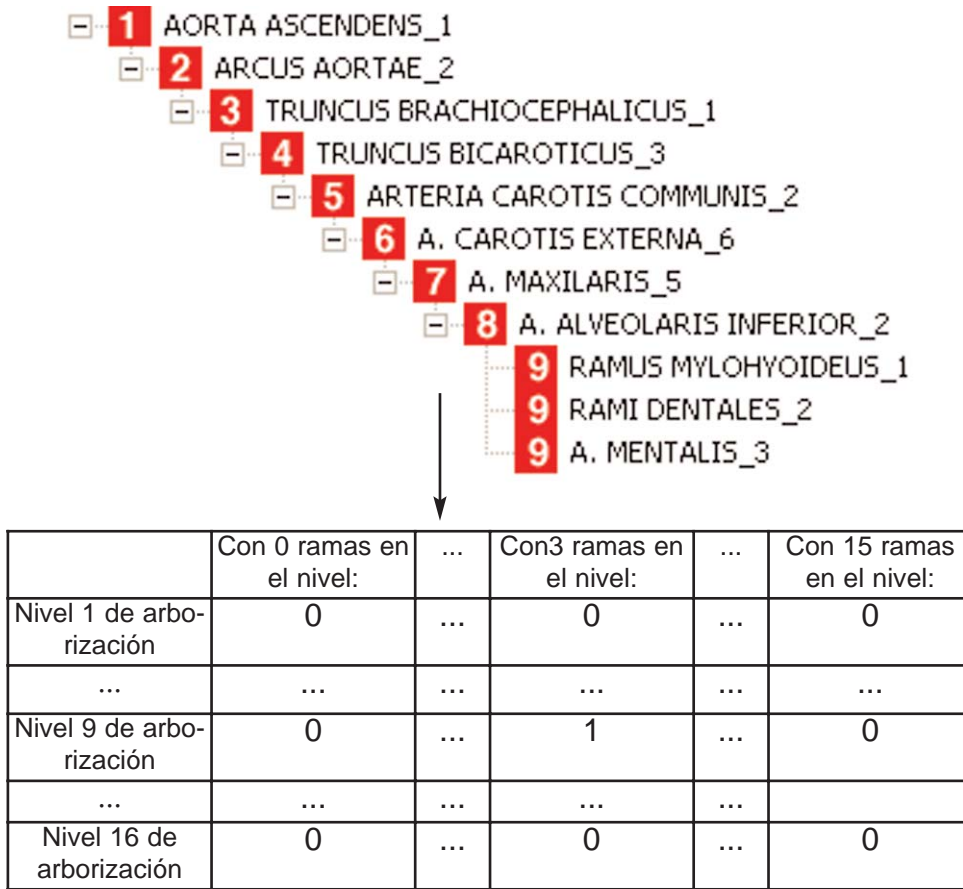
	<b>Perro</b>	<b>Gato</b>	<b>Caballo</b>	<b>Cerdo</b>	<b>Vaca</b>	<b>Oveja</b>	<b>Cabra</b>	<b>Hombre</b>
23: Venas Macho (5)	0.723 (247)	0.726 (253)	0.706 (217)	0.705 (215)	0.72 (241)	0.718 (239)	0.695 (200)	0.713 (229)
24: Venas Hembra (5)	0.723 (247)	0.726 (253)	0.705 (216)	0.704 (214)	0.748 (299)	0.72 (241)	0.696 (202)	0.715 (233)
25: Venas Macho (6)	0.752 (308)	0.756 (317)	0.735 (272)	0.733 (267)	0.746 (296)	0.745 (293)	0.727 (255)	0.751 (306)
26: Venas Hembra (6)	0.751 (307)	0.755 (316)	0.734 (270)	0.733 (267)	0.748 (299)	0.746 (294)	0.727 (256)	0.752 (310)

	<b>Perro</b>	<b>Gato</b>	<b>Caballo</b>	<b>Cerdo</b>	<b>Vaca</b>	<b>Oveja</b>	<b>Cabra</b>	<b>Hombre</b>
27: Cava craneal (5)	0.654 (141)	0.658 (146)	0.641 (130)	0.639 (130)	0.663 (156)	0.663 (156)	0.634 (119)	0.65 (137)
28: Cava craneal (6)	0.653 (142)	0.662 (152)	0.641 (130)	0.639 (130)	0.663 (156)	0.663 (156)	0.632 (119)	0.682 (181)

	<b>Perro</b>	<b>Gato</b>	<b>Caballo</b>	<b>Cerdo</b>	<b>Vaca</b>	<b>Oveja</b>	<b>Cabra</b>	<b>Hombre</b>
29: Cava caudal (5)	0.603 (97)	0.608 (98)	0.582 (78)	0.574 (77)	0.582 (77)	0.575 (75)	0.573 (73)	0.593 (90)
30: Cava caudal (6)	0.607 (99)	0.611 (100)	0.579 (80)	0.581 (79)	0.589 (79)	0.584 (77)	0.578 (476)	0.591 (90)

### 3.8. CONTRASTE entre la CUANTIFICACIÓN de los ÁRBOLES CODIFICADOS

Cada uno de los árboles vasculares indicados en 3.7., y construido mediante NAVI\_NA.exe (ver apartado 2.5.1); se ha codificado con el mismo programa, a una matriz de dimensiones 17x17.



Para la codificación, se contabilizan cuantas ramas hay en cada nivel.

Estas matrices, definen los árboles vasculares, comparándose para los grupos de vasos seleccionados, y analizados por especies. Mediante el test de Friedman, y el coeficiente de concordancia de Kendall. Para ello fue preciso disponer las filas de la matriz, una tras otra, transformado cada matriz 17x17, en un vector 1x289. En todos los casos el valor  $p$  obtenido, fue mayor que 0.05, no descartándose, en consecuencia, la hipótesis nula.

Los resultados de dichas pruebas, se encuentran en el CD que acompaña a esta memoria, en el documento ArbolesVECTOR.pdf.

### 3.9. CONTRASTE entre las DIMENSIONES FRACTALES

Cada una de las dimensiones fractales del apartado anterior (3.7), es el promedio de treinta arborizaciones distintas, generadas por Fractal3D.exe (ver apartado 2.5.2). Sobre cada uno de los grupos de 30 valores, con los que se obtuvieron los promedios del apartado anterior (3.7), se ha realizado el cálculo del coeficiente  $\tau_{u,b}$  de Kendall y la  $r_o$  de Spearman, buscando correlaciones, por grupos y por especies.

Los resultados obtenidos, muestran la ausencia de correlación entre grupos. Los resultados de las pruebas estadísticas se recogen en el CD que acompaña a la memoria, en el documento AnexoCorrelFrac.PDF.

Asimismo, sobre cada uno de los grupos de 30 valores, ha sido aplicado el test de Kruskal-Wallis, obteniéndose en todos los casos un valor  $p$  menor que 0.05, rechazándose la hipótesis nula, concluyéndose en consecuencia que los valores correspondientes a las dimensiones fractales no proceden de la misma población. Los resultados de las pruebas se encuentran recogidos en el CD que acompaña a la memoria, en el documento AnexoKruskalFrac.PDF.

### 3.10. RELACIONES de ENTROPÍA y BELLEZA en los ÁRBOLES VASCULARES

Las relaciones de entropía y belleza han sido calculadas mediante NAVI\_NA.exe (ver apartado 2.5.1.4), reuniéndose los valores obtenidos en las siguientes tablas, indicándose los vasos seleccionados según el criterio descrito en el apartado 3.7. En particular, el *Tronco Pulmonar* (5) ha sido eliminado, dado que al tener un sólo constituyente, no aportaba información relevante.

#### 3.10.1. Perro

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,744	3,456	4,645	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,78	3,645	4,673	0,003	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,745	3,464	4,649	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,779	3,645	4,679	0,003	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,272	1,055	3,878	0,096	0,025
7: Aorta Macho (5)	0,743	3,431	4,618	0,004	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,742	3,439	4,635	0,004	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,777	3,589	4,619	0,004	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,776	3,589	4,625	0,004	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,635	2,777	4,374	0,011	0,002
12: Carótida izquierda (6)	0,627	2,777	4,43	0,011	0,002
13: A. Axilar izquierda (5)	0,532	2,633	4,949	0,017	0,003
14: A. Axilar izquierda (6)	0,543	2,633	4,849	0,017	0,003
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,458	1,86	4,062	0,037	0,009
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,46	1,86	4,044	0,037	0,009
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,454	1,86	4,098	0,037	0,009
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,451	1,86	4,125	0,037	0,009
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,564	2,555	4,531	0,016	0,004
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,561	2,619	4,669	0,016	0,003
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,562	2,555	4,547	0,016	0,004
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,566	2,619	4,628	0,016	0,003

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,723	3,416	4,725	0,005	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,723	3,416	4,725	0,005	0,001
25: Venas Macho (6)	0,752	3,292	4,378	0,004	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,751	3,292	4,384	0,004	0,001
27: Cava craneal (5)	0,654	3,202	4,896	0,007	0,001
28: Cava craneal (6)	0,653	3,202	4,904	0,007	0,001
29: Cava caudal (5)	0,603	2,683	4,449	0,012	0,003
30: Cava caudal (6)	0,607	2,683	4,42	0,012	0,003

3.10.2. Gato

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,744	3,429	4,609	0,004	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,781	3,62	4,635	0,003	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,745	3,437	4,613	0,004	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,78	3,62	4,641	0,003	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,273	1,055	3,864	0,096	0,025
7: Aorta Macho (5)	0,743	3,403	4,58	0,004	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,742	3,411	4,597	0,004	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,778	3,561	4,577	0,004	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,777	3,561	4,583	0,004	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,627	2,715	4,33	0,011	0,003
12: Carótida izquierda (6)	0,639	2,715	4,249	0,011	0,003
13: A. Axilar izquierda (5)	0,546	2,544	4,659	0,018	0,004
14: A. Axilar izquierda (6)	0,546	2,544	4,659	0,018	0,004
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,462	2,011	4,354	0,039	0,009
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,462	2,011	4,354	0,039	0,009
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,46	2,011	4,373	0,039	0,009
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,467	2,011	4,307	0,039	0,009
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,559	2,547	4,557	0,018	0,004
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,556	2,613	4,7	0,017	0,004
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,565	2,547	4,508	0,018	0,004
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,562	2,613	4,65	0,017	0,004

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,726	3,444	4,744	0,005	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,726	3,444	4,744	0,005	0,001
25: Venas Macho (6)	0,756	3,336	4,413	0,004	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,755	3,336	4,419	0,004	0,001
27: Cava craneal (5)	0,658	3,164	4,808	0,007	0,001
28: Cava craneal (6)	0,662	3,164	4,779	0,007	0,001
29: Cava caudal (5)	0,608	2,817	4,634	0,011	0,002
30: Cava caudal (6)	0,611	2,817	4,611	0,011	0,002

3.10.3. Caballo

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,741	3,441	4,644	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,78	3,621	4,642	0,003	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,739	3,424	4,633	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,783	3,62	4,623	0,003	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,231	0,637	2,755	0,127	0,046
7: Aorta Macho (5)	0,74	3,415	4,615	0,004	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,74	3,397	4,591	0,004	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,778	3,584	4,607	0,003	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,776	3,584	4,619	0,003	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,602	2,577	4,281	0,013	0,003
12: Carótida izquierda (6)	0,61	2,577	4,225	0,013	0,003
13: A. Axilar izquierda (5)	0,534	2,5	4,681	0,018	0,004
14: A. Axilar izquierda (6)	0,54	2,5	4,629	0,018	0,004
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,486	2,195	4,517	0,03	0,007
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,488	1,553	3,182	0,03	0,01
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,492	2,195	4,462	0,03	0,007
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,495	1,553	3,137	0,03	0,01
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,56	2,576	4,6	0,013	0,003
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,556	2,575	4,631	0,014	0,003
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,562	2,576	4,584	0,013	0,003
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,552	2,575	4,664	0,014	0,003

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,706	3,272	4,635	0,006	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,705	3,272	4,641	0,006	0,001
25: Venas Macho (6)	0,735	3,237	4,403	0,004	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,734	3,237	4,409	0,004	0,001
27: Cava craneal (5)	0,641	2,983	4,654	0,008	0,002
28: Cava craneal (6)	0,641	2,983	4,654	0,008	0,002
29: Cava caudal (5)	0,582	2,736	4,701	0,014	0,003
30: Cava caudal (6)	0,579	2,725	4,707	0,013	0,003

3.10.4. Cerdo

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,738	3,518	4,767	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,785	3,727	4,748	0,003	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,738	3,518	4,767	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,785	3,727	4,748	0,003	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,27	1,055	3,907	0,096	0,025
7: Aorta Macho (5)	0,737	3,493	4,74	0,004	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,737	3,493	4,74	0,004	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,783	3,694	4,718	0,003	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,783	3,694	4,718	0,003	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,609	2,883	4,734	0,011	0,002
12: Carótida izquierda (6)	0,609	2,883	4,734	0,011	0,002
13: A. Axilar izquierda (5)	0,543	2,648	4,876	0,017	0,003
14: A. Axilar izquierda (6)	0,54	2,648	4,903	0,017	0,003
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,45	1,886	4,191	0,047	0,011
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,467	1,921	4,113	0,044	0,011
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,45	1,886	4,191	0,047	0,011
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,467	1,921	4,113	0,044	0,011
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,561	2,484	4,427	0,016	0,004
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,558	2,619	4,694	0,016	0,003
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,554	2,484	4,483	0,016	0,004
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,552	2,619	4,745	0,016	0,003

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,705	3,371	4,782	0,005	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,704	3,371	4,789	0,005	0,001
25: Venas Macho (6)	0,733	3,425	4,673	0,005	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,733	3,425	4,673	0,005	0,001
27: Cava craneal (5)	0,639	3,006	4,704	0,008	0,002
28: Cava craneal (6)	0,639	3,006	4,704	0,008	0,002
29: Cava caudal (5)	0,574	2,73	4,755	0,013	0,003
30: Cava caudal (6)	0,581	2,72	4,681	0,013	0,003

3.10.5. Vaca

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,754	3,722	4,936	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,8	3,865	4,831	0,002	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,76	3,683	4,846	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,8	3,831	4,789	0,002	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,273	1,055	3,864	0,096	0,025
7: Aorta Macho (5)	0,757	3,702	4,89	0,003	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,758	3,662	4,832	0,003	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,798	3,835	4,806	0,003	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,799	3,801	4,757	0,003	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,622	2,818	4,531	0,011	0,002
12: Carótida izquierda (6)	0,627	2,818	4,494	0,011	0,002
13: A. Axilar izquierda (5)	0,565	2,829	5,008	0,014	0,003
14: A. Axilar izquierda (6)	0,566	2,829	4,999	0,014	0,003
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,448	1,732	3,865	0,051	0,013
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,484	1,767	3,652	0,045	0,012
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,45	1,732	3,848	0,051	0,013
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,476	1,767	3,713	0,045	0,012
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,594	2,97	5	0,009	0,002
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,601	2,969	4,94	0,009	0,002
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,594	2,97	5	0,009	0,002
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,593	2,969	5,007	0,009	0,002

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,72	3,43	4,764	0,004	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,748	3,483	4,656	0,004	0,001
25: Venas Macho (6)	0,746	3,486	4,673	0,004	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,748	3,483	4,656	0,004	0,001
27: Cava craneal (5)	0,663	3,161	4,767	0,006	0,001
28: Cava craneal (6)	0,663	3,161	4,767	0,006	0,001
29: Cava caudal (5)	0,582	2,581	4,434	0,013	0,003
30: Cava caudal (6)	0,589	2,578	4,377	0,013	0,003

3.10.6. Oveja

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,748	3,636	4,861	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,792	3,789	4,784	0,003	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,748	3,621	4,841	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,794	3,775	4,755	0,003	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,276	1,055	3,822	0,096	0,025
7: Aorta Macho (5)	0,747	3,614	4,838	0,003	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,752	3,599	4,785	0,003	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,79	3,756	4,754	0,003	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,79	3,742	4,737	0,003	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,616	2,741	4,45	0,012	0,003
12: Carótida izquierda (6)	0,612	2,741	4,479	0,012	0,003
13: A. Axilar izquierda (5)	0,566	2,796	4,94	0,014	0,003
14: A. Axilar izquierda (6)	0,564	2,796	4,957	0,014	0,003
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,441	1,602	3,633	0,05	0,014
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,474	1,65	3,481	0,043	0,012
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,442	1,602	3,625	0,05	0,014
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,473	1,65	3,488	0,043	0,012
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,587	2,848	4,852	0,009	0,002
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,587	2,903	4,946	0,009	0,002
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,591	2,848	4,819	0,009	0,002
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,585	2,903	4,962	0,009	0,002

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,718	3,406	4,744	0,005	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,72	3,407	4,731	0,005	0,001
25: Venas Macho (6)	0,745	3,493	4,689	0,004	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,746	3,462	4,641	0,005	0,001
27: Cava craneal (5)	0,663	3,129	4,72	0,007	0,001
28: Cava craneal (6)	0,663	3,129	4,72	0,007	0,001
29: Cava caudal (5)	0,575	2,587	4,5	0,013	0,003
30: Cava caudal (6)	0,584	2,584	4,424	0,013	0,003

3.10.7. Cabra

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,75	3,65	4,867	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,794	3,8	4,785	0,003	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,751	3,65	4,86	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,794	3,8	4,785	0,003	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,276	1,055	3,822	0,096	0,025
7: Aorta Macho (5)	0,749	3,629	4,845	0,003	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,75	3,629	4,839	0,003	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,791	3,768	4,764	0,003	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,79	3,768	4,77	0,003	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,61	2,728	4,473	0,012	0,003
12: Carótida izquierda (6)	0,617	2,728	4,422	0,012	0,003
13: A. Axilar izquierda (5)	0,564	2,796	4,957	0,014	0,003
14: A. Axilar izquierda (6)	0,56	2,796	4,993	0,014	0,003
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,44	1,602	3,641	0,05	0,014
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,471	1,65	3,503	0,043	0,012
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,44	1,602	3,641	0,05	0,014
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,471	1,65	3,503	0,043	0,012
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,588	2,848	4,844	0,009	0,002
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,589	2,95	5,008	0,009	0,002
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,588	2,848	4,844	0,009	0,002
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,587	2,95	5,025	0,009	0,002

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,695	3,347	4,816	0,005	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,696	3,348	4,811	0,005	0,001
25: Venas Macho (6)	0,727	3,431	4,719	0,005	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,727	3,44	4,731	0,005	0,001
27: Cava craneal (5)	0,634	3,005	4,74	0,007	0,002
28: Cava craneal (6)	0,632	3,005	4,755	0,007	0,002
29: Cava caudal (5)	0,573	2,647	4,62	0,013	0,003
30: Cava caudal (6)	0,578	2,697	4,667	0,013	0,003

3.10.8. Hombre

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
1: Arterias Macho (5)	0,716	3,464	4,837	0,003	0,001
2: Arterias Macho (6)	0,797	3,789	4,754	0,002	0,001
3: Arterias Hembra (5)	0,718	3,491	4,862	0,003	0,001
4: Arterias Hembra (6)	0,798	3,788	4,747	0,002	0,001
6: Tronco pulmonar (6)	0,414	1,163	2,808	0,026	0,009
7: Aorta Macho (5)	0,715	3,464	4,844	0,004	0,001
8: Aorta Hembra (5)	0,716	3,491	4,875	0,004	0,001
9: Aorta Macho (6)	0,791	3,732	4,718	0,003	0,001
10: Aorta Hembra (6)	0,794	3,731	4,699	0,003	0,001
11: Carótida izquierda (5)	0,607	2,501	4,121	0,013	0,003
12: Carótida izquierda (6)	0,608	2,501	4,114	0,013	0,003
13: A. Axilar izquierda (5)	0,543	2,215	4,079	0,018	0,004
14: A. Axilar izquierda (6)	0,55	2,215	4,027	0,018	0,004
15: A. Iliaca interna Macho (5)	0,499	2,087	4,182	0,024	0,006
16: A. Iliaca interna Hembra (5)	0,513	2,082	4,059	0,024	0,006
17: A. Iliaca interna Macho (6)	0,505	2,087	4,132	0,024	0,006
18: A. Iliaca interna Hembra (6)	0,507	2,082	4,107	0,024	0,006
19: A. Iliaca externa Macho (5)	0,562	2,404	4,278	0,013	0,003
20: A. Iliaca externa Hembra (5)	0,557	2,399	4,306	0,013	0,003
21: A. Iliaca externa Macho (6)	0,556	2,404	4,324	0,013	0,003
22: A. Iliaca externa Hembra (6)	0,562	2,399	4,268	0,013	0,003

	DFractal	Entropia	Belleza1	Belleza2	Belleza3
23: Venas Macho (5)	0,713	3,277	4,597	0,004	0,001
24: Venas Hembra (5)	0,715	3,276	4,582	0,004	0,001
25: Venas Macho (6)	0,751	3,393	4,518	0,004	0,001
26: Venas Hembra (6)	0,752	3,392	4,511	0,004	0,001
27: Cava craneal (5)	0,65	2,802	4,311	0,007	0,002
28: Cava craneal (6)	0,682	2,916	4,275	0,006	0,001
29: Cava caudal (5)	0,593	2,826	4,765	0,01	0,002
30: Cava caudal (6)	0,591	2,826	4,782	0,01	0,002

### 3.11. CONTRASTE entre las RELACIONES de ENTROPÍA y BELLEZA en los ÁRBOLES VASCULARES

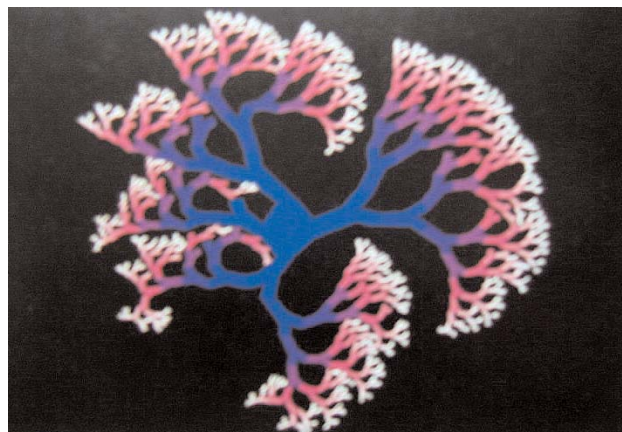
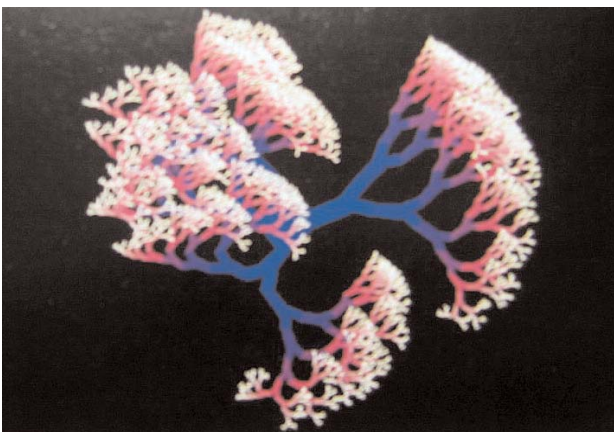
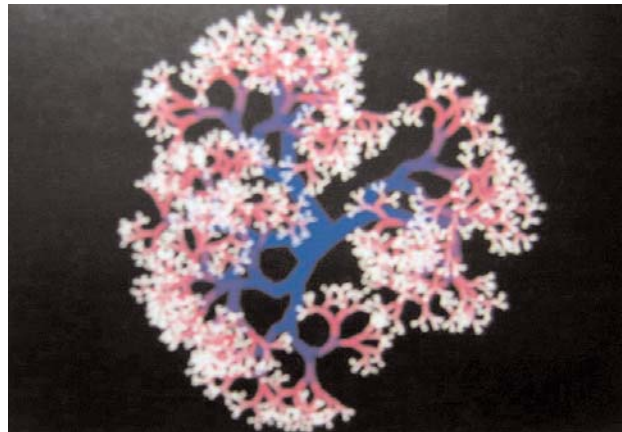
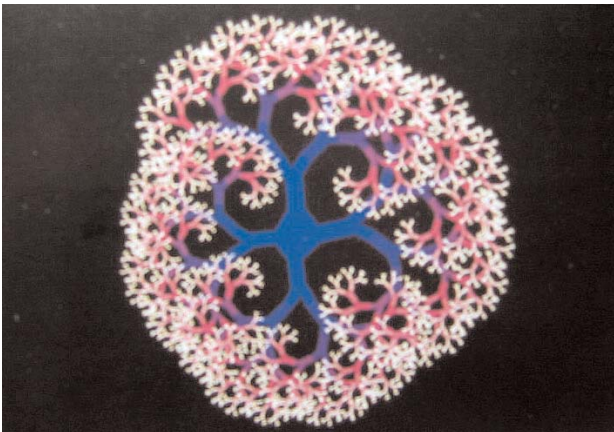
Cada uno de los índices calculados en el apartado anterior (3.10):

- Dimensión Fractal,
- Entropía,
- Belleza 1,
- Belleza 2,
- Belleza 3,

calculados para los grupos de vasos seleccionados, se han analizado por especies, mediante el test de Friedman y el coeficiente de concordancia de Kendall. Los resultados de dichas pruebas están en el CD que acompaña a la memoria, en el documento AnexosIndices.pdf.

Del conjunto de casos analizados, no hay diferencias significativas entre especies, para:

- el índice de Belleza 3, en el conjunto de arterias y venas ( $p = 0.42$ ).
- el índice de Belleza 3, en el conjunto de arterias ( $p = 0.583$ ).
- el índice de Belleza 1, en el conjunto de venas ( $p = 0.085$ ).
- el índice de Entropía, en el conjunto de venas ( $p = 0.15$ ).



**Construcción de fractales arboriformes**  
(Kaandorp, 1944)



**Transfusión de sangre entre animales, grabado de 1734**  
(Sanz Egaña, 1941)

## 4. DISCUSIÓN

Los modelos son una herramienta para estudiar aspectos complejos de la realidad (Lahoz-Beltrá, 2004). Y los hay de muchos tipos, clasificables por la metodología o el fin:

- Modelos matemáticos de la anatomía vascular (Pennati et al. 2003; Schreiner et al., 2003; Den Buijs et al., 2006); o de redes vasculares con modelos no lineales (Lanza et al., 2006; Van Der Plaats et al., 2004; Thonnes et al., 2002; Kun-Chang et al., 2004).
- Modelos para analizar la importancia de factores biomecánicos en la configuración final de las redes (Karch et al., 2003; Maxen & Henkelman, 2003; Clough et al., 2006) y su reconstrucción realista (Barber et al., 2003).
- Modelos 2D y 3D de las arterias coronarias u otros vasos (Thonnes et al., 2002; Kalliokoski et al., 2003; Valafar & Valafar, 2003; Hahn, 2004; Burrowes et al., 2005; Kaimovitz et al., 2005; Mittal et al., 2005; Cassot, 2006; Gordon et al., 2007; Marxen et al., 2007; Tizon et al., 2007), que permiten establecer, en región coronaria, relaciones entre diámetro y longitud de los vasos (Sabee & Jerry, 2007).
- Modelos para abordar el estudio y simulación de estructuras arboriformes (Lopez et al., 1994, 2001; Lopez et al., 1995; Parker et al., 1997; Sismilich & Van Pelt, 2004; Haynes et al., 2006).

Para la consecución del objetivo de este trabajo, se han desarrollado dos. Destinados al estudio de la complejidad macroscópica de los árboles vasculares, y su comparación, en los mamíferos domésticos y en el hombre.

El modelo, concretado en el programa **Fractal3D.exe** (ver apartado 2.5.2), ha permitido obtener la dimensión fractal de la reconstrucción 3D de las relaciones nodales en cualquier árbol vascular, contenido en la NAVI o en la NA.

Empleando las relaciones nodales, se posibilitan las comparaciones de los árboles vasculares, independientemente de los tamaños originales de los mismos. La representación de las relaciones nodales mediante diagramas tipo Beck (Wikipedia1, 2007), ha sido suficientemente adecuada.

El modelo, concretado en el programa **NAVI\_NA.exe**, ha servido para construcción de las relaciones existentes en los árboles vasculares; así como para su codificación en forma matricial. Y también para calcular varios índices, donde se integran, la complejidad de un árbol vascular, con su dimensión fractal. Todo ello, con matices: específicos, de sexo, y de simetría.

La información para construir los árboles, procede de, las voces de los vasos arteriales y venosos del hombre contenidas en la NA-TA ilustrada (Feneis, 1989; Feneis & Dauber 2000); así como de la NAVI (Schaller, 1996). Las características de estas fuentes (ver apartados: 2.1 y 2.2), nos hacen plantearnos una pregunta esencial para validar los resultados obtenidos: *¿cualquier similitud encontrada entre ellos son consecuencias inevitables, del mismo proceso a partir del cual se han construido?*

Puesto que cada vaso que integra un patrón vascular, se identifica, y subsiguientemente nombra, en función de su origen, de su destino, o de ambos. Estos patrones, reunidos en las Nominas Anatómicas, se han construido, como promedio a los hallazgos en muchos cuerpos.

Consecuentemente, las coincidencias encontradas al comparar los patrones no son un artefacto del procedimiento, sino el reflejo de similitudes morfológicas realmente existentes.

Ha sido preciso reorganizar la información original de las nóminas, para su manejo informático y la comparación de sus contenidos (ver apartados 2.3.2, y 2.3.4). Así como la concreción de ciertas organizaciones regionales de vasos (ver apartado 2.3.5), y su codificación espacial (ver apartado 2.4). Todo, llevado a cabo, sin distorsión de los contenidos originales.

Mantener las ramas vasculares digitales, por grupos, tal y como hacen las nóminas, sin desglosar las propias de cada dedo, ha facilitado las comparaciones de los vasos situados en estas partes del cuerpo.

Para extraer información relevante de la enorme cantidad de datos generados por los programas de los modelos, ha obligado a emplear métodos estadísticos.

Los inventarios específicos vasculares llevados a cabo en los apartados 3.1 - 3.3, proporcionan la cuantificación de una información inicialmente descriptiva. En ella se objetiva, que el porcentaje de componentes vasculares comunes a las especies animales, no llega a un tercio, del total existente en cada especie.

Otro resultado nos indica que hay más vasos descritos en el hombre que en los animales domésticos. Pese a lo que el conjunto de datos en NAVI y NA, podrían hacer pensar.

Las concordancias entre nóminas (ver apartado 3.5), con o sin sinónimos, desglosando los aspectos específicos, denotan una muy baja coincidencia terminológica. Por lo que cualquier otra que pueda encontrarse, como las se citen después, lo será de tipo relacional o estructural.

En sintonía con lo escrito en el párrafo anterior, los resultados de la búsqueda de coincidencias estadísticas entre los árboles vasculares, considerados en conjunto, y desglosados por especies (ver apartado 3.6), no han permitido hallar algún patrón de concordancia, en función de factores como: la especie, el grupo vasos considerado, u otras características del animal que pudiesen ser condicionantes (artiodáctilo-perisodáctilo-plantígrado; rumiante-herbívoro-carnívoro-omnívoro, etc). Ello ratifica que cualquier otro tipo de concordancia que luego pueda citarse, deberá ser de tipo estructural, es decir, fundamentada en la morfología del árbol vascular, no en su denominación, o en su cuantía meramente enumerativa.

Para comparación de árboles vasculares, y la obtención de índices relacionados con su complejidad, en función de su disposición espacial, se realizó sobre treinta grupos, indicados en el apartado 3.7. Los veintidós primeros son arterias y los ocho siguientes venas.

Se eligieron menos grupos de venas, dado que la mayoría son satélites de las arterias, por lo que, en un estudio como éste, suelen quedar englobadas por el estudio hecho en las arterias. Los grupos de venas elegidos, lo son de aquellas no satélites a las arterias.

Tanto en arterias como en venas, se han escogido aquellos vasos que permiten organizar árboles más generales:

- al abarcar el circuito menor completo (tronco pulmonar) [Que se eliminó al no aportar datos relevantes, según se indicó en el apartado 3.10];
- o el circuito mayor completo (aorta) [Este gran vaso, está definido en las nóminas a trozos: ascendente, cayado, torácica, abdominal. Al mantenerlo así en el trabajo, cada trozo está considerado como un nodo de ramificación, lo cual no afecta a las comparaciones hechas, ya que es igual en todas las especies];
- o todo un miembro, torácico o pelviano (axilar, iliacas);
- el cuello-cabeza (carótida común).

Si uno de los grupos, podía presentar diferencias por sexo o asimetría corporal, en función de esa característica, se duplicaba. Lo que permitiría conseguir datos separados.

En cada reconstrucción de un árbol vascular, de los vasos simétricos, sólo se representan y usan los de un lado. El izquierdo, para mantener la tradicional orientación de la disección animal, que se realiza en decúbito lateral derecho. No obstante el programa **NAVI\_NA.exe**, tiene la opción de seleccionar los vasos simétricos del lado derecho.

En todos los casos hubo, además, un desglose por especies.

De esta forma se planteó una recogida de datos que por segregados, eran susceptibles de comparaciones, en base a criterios de: especie, sexo, y simetría.

El análisis estadístico, de los árboles vasculares comparados, cuando se codifican en forma matricial (ver apartado 3.8), lleva a concluir que son homólogos en todas las especies. Como se ha escrito en el cuarto párrafo de la página anterior, este tipo de coincidencias, no se deben a que, eventualmente, puedan serlo por la terminología, sino por la propia estructura relacional de los árboles construidos.

El análisis estadístico de las *dimensiones fractales* (ver apartados 3.7 y 3.9), muestra que éstas son distintas por especies. Luego la *dimensión fractal* puede servir como discriminante específico, máxime cuando el dato del párrafo anterior, nos mostraba que los árboles comparados, y de los que se ha obtenido su *dimensión fractal*, son homólogos por su estructura relacional.

También nos indica, que la *dimensión fractal*, sintetiza información del árbol vascular, que va más allá de su estructura relacional, incluyendo la disposición espacial de los nodos, donde tienen lugar las ramificaciones.

El índice de *Belleza2*, es otra de las relaciones estudiadas para los árboles vasculares (ver apartado 3.7 y 3.9), que también muestra capacidad general de discriminación específica, en la identificación de un árbol vascular. Es el índice donde se divide la *entropía* por una cuantificación ponderada de los nodos de un árbol vascular (ver apartado 2.6.4) .

La *entropía* sola, vinculada a la *dimensión fractal*, o esta última respecto a la anterior cuantificación ponderada, sólo son capaces de discriminaciones específicas parciales (ver apartado 3.11).

Aplicando a estos resultados los métodos inductivos *de la diferencia* de Guillermo de Occam (Losee, 1980) y *del acuerdo* de Juan Duns Escoto (Losee, 1980), podemos inferir que la dimensión fractal en nuestro caso no aporta ni una medida de complejidad ni una medida de orden. Posiblemente aporte una medida de la forma en que el árbol de nodos ocupa el espacio donde se inscribe.

Dado como se han seleccionado los árboles vasculares por especie, sexo, y simetría las capacidades de discriminación comentadas antes, para las especies, lo son también al sexo y simetría.

Los modelos desarrollados han demostrado ser herramientas útiles para ampliar el estudio morfológico, general y también local, de los árboles vasculares, permitiendo su comparación y reconstrucción. Pero son herramientas mejorables, en la medida que incorporen matices que actualmente han sido simplificados, como: considerar un sólo origen a los vasos que tienen varios; o la situación particular de las ramas anastomóticas.

## 5. CONCLUSIONES

- 1:** Las voces de los vasos incluidos en las nóminas anatómicas, humana y veterinaria, no concuerdan mayoritariamente. En las comparaciones, ello obliga a realizar adaptaciones.
- 2:** La comparación de árboles vasculares, es posible realizarla de forma general, cuando éstos se reducen a un mapa tipo Beck. Donde se priorizan los nexos entre los nodos de ramificación, respecto a la representación realista del árbol.
- 3:** La modelización de los inventarios vasculares, mediante programas de ordenador, crea herramientas para la visualización, descripción, manejo y estudio de los árboles vasculares.
- 4:** Los recuentos, porcentajes, y agrupaciones con significación estadística, de los inventarios vasculares, no proporcionan valores capaces de discriminación específica general. Aunque otros estudios, indican, que localmente pueden serlo en ciertas comparaciones.
- 5:** La *dimensión fractal* es una medida de la forma en que el árbol de nodos ocupa el espacio donde se inscribe. Por consiguiente, emplearla como medida de la *entropía* o de la complejidad del objeto, no aporta información para hacer discriminaciones generales.
- 6:** En la comparación de árboles vasculares simplificados a sus nodos de arborización, hay dos valores, cada uno de los cuales, puede servir como discriminante de la especie, sexo o simetría. Uno es la *dimensión fractal*, el otro es el *índice del belleza*, definido como cociente entre la *entropía* y una medida ponderada de los nodos del árbol vascular.

# 6. BIBLIOGRAFÍA

**NOTA:** Las imágenes sin referencia bibliográfica, se han obtenido de diversas páginas de internet, mediante preguntas generales sobre el tema de la tesis, al buscador *www.google.es*.

Armitage P., Berry G. 1988. Estadística para la Investigación Biomédica. Ed. DOYMA. 1988.

Badoux D.M., Getty R., Sisson S., Grossman J.D. 1982. Anatomía de los animales domésticos, 5ª ed., Barcelona, Ed.: Salvat, S.A.

Balinsky, B.I. 1983. Introducción a la Embriología. Ed. Omega. Barcelona.

Barber P.R., Vojnovic B., Ameer-Beg S.M., Hodgkiss R.J., Tozer G.M., Wilson J. 2003. Semi-automated software for the three-dimensional delineation of complex vascular networks. *Journal of Microscopy-Oxford*. Jul. 211. Part 1, 54-62.

Barcia Goyanes J.J. 1978. Onomatología Anatómica Nova. ed. Universidad de Valencia.

Baum H., Zietzschmann O. 1936. Handbuch der Anatomie des Hundes, 2nd Ed. Berlin, Paul Parey.

Birkhoff G.D. 1931. A Mathematical Approach to Aesthetics. Scientia.

Birkhoff G.D. 1934. Mathematics: Quantity and Order. Science Today.

Burrowes K.S., Hunter P.J., Tawhai M.H. 2005. Anatomically based finite element models of the human pulmonary arterial and venous trees including supernumerary vessels. *J. Appl. Physiol.* 99 (2): 731-738.

Cassot F., Lauwers F., Fouard C., Prohaska S., Lauwers-Cances V. 2006. A novel three-dimensional computer-assisted method for a quantitative study of microvascular networks of the human cerebral cortex. *Microcirculation*. Jan-Feb. Vol 13. 1073-9688.

Castejon F., Fraile A., Ponz F., Balasch J., Bolufer J., Castejón J., Goñalons E., Herrera E., Illera M., Jordana R., Larralde M., López J., Mataix A., Navarro A., Núñez A., Planas J.M., Ponz F., Recio M.J., Sainz J., Torralba A., Varela G. 1979. Fundamentos de Fisiología Animal. Ed. Eunsa Pamplona España.

Clough A.V., Audi S.H., Molthen R.C., Krenz G.S. 2006. Lung circulation modeling: Status and prospect. *Proceedings of the IEEE*. Apr. 94, 753-768.

Cunningham J.G. 1992. Fisiología Veterinaria. pp 180 - 277. ed Interamericana & MacGraw-Hill. Mexico.

d'Ancona, H. 1966. Zoología General. vol I. ed. Labor S.A., Barcelona.

Den Buijs J.O., Bajzer Z, Ritman E.L. 2006. Branching morphology of the rat hepatic portal vein tree: A Micro-CT study. *Annals of Biomedical Engineering*. Sep. Vol 34. 0090-6964.  
 Dokoumetzidis A., Macheras P. 2003. A model for transport and dispersion in the circulatory system based on the vascular fractal tree. *Annals of Biomedical Engineering*. Mar. 31, 3. 284-293.

Drukker J., Walvoort H.C. 2000. [Terminologia anatomica: a new reference work for anatomy] [Article in Dutch] *Ned Tijdschr Geneeskd*. May 6;144(19):890-3.

Dyce K. M., Sack W. O. and Wensing C. J. G.1987. *Textbook of Veterinary Anatomy*, Philadelphia, W. B. Saunders Company.

Done S.H., Goody P.C., Evans S.A., Stickland N.C. 1997. *Anatomía Veterinaria*. Harcourt-Brace. Madrid.

Fabry P., Baud R., Burgun A., Lovis C. 2006. Amplification of Terminologia anatomica by French language terms using Latin terms matching algorithm: a prototype for other languages.. *Int J Med Inform*. Jul;75(7):542-52..

Fabry P., Baud R., Lovis C. 2005. Towards a multilingual version of terminologia anatomica. *Stud Health Technol Inform*. 116:665-70.

Feneis H. 1989. *Nomenclatura Anatómica Ilustrada*. Segunda edición. ed. Masson - Salvat. Barcelona.

Feneis H., Dauber W. 2000. *Pocket Atlas of Human Anatomy Based on the International Nomenclature*. Fourth edition. ed Thieme. Stuttgart - New York.

Ferrán Aranaz M. 2001. *SPSS Análisis estadístico*. Osborne McGraw-Hill. Madrid.

García Pérez A. 1992. *Estadística Aplicada*. ed. UNED. Madrid.

Gil J., Gimeno M., Laborda J., Nuviala J. 2005. *Anatomía del perro, Protocolos de disección* 2ª edición, Barcelona, Ed.:Masson, S.A.

Gil, J., Gimeno M., Laborda J., Nuviala J., Belanche I. 2006. Tangential algorithm for calculation of the fractal dimension of kidney tubuli sections. *Int. J. Morphol*. 24(1): 31-34.

Gil, J., Gimeno M., Laborda J., Nuviala J. 2006. , Fractal Dimension of dog kidney proximal convoluted tubuli sections by mean box-counting algorithm. *Int. J. Morphol*. 24(4): 549-554.

Gilbert S.F. 2003. *Developmental Biology* Seventh edition. Ed. Sinauer. pp 441, 501-509.

Glenny R., Bernard S., Neradilek B., Polissar N. 2007. Quantifying the genetic influence on mammalian vascular tree structure. *Proc Natl Acad Sci U S A*. Apr. vol 104. 6858-63.

- Gödde R., Kurz H. 2001. Structural and biophysical simulation of angiogenesis and vascular remodeling. *Dev. Dynam.* 220: 387-401.
- Gordon Z., Eytan O., Jaffa A.J., Elad D. 2007. Fetal blood flow in branching models of the chorionic arterial vasculature. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1101(1): 250-265.
- Grassé PP. 1972. *Traité de Zoologie*. Tome XVI, Fascicule IV. Mammifères. Ed. Masson.
- Guzmán M., Martín M.A., Morán M., Reyes M. 1993. *Estructuras Fractales y sus Aplicaciones*. Labor S.A. Barcelona.
- Hahn H.K., Georg M., Peitgen H.O. 2004. Fractal aspects of three-dimensional vascular constructive optimization. ed Losa, GA, Merlini, D, Nonnenmacher, TF, Weibel, ER. 4th International Symposium on Fractals in Biology and Medicine. Mar. 10-13.
- Hair J.F., Anderson R.E., Tatham W.C. 1999. *Black Análisis multivariante*, 5ª ed. Prentice Hall Iberia, Madrid.
- Haynes T., Knisley D., Seier E., Zou Y. 2006. A quantitative analysis of secondary RNA structure using domination based parameters on trees. *BMC Bioinformatics.* 7:108.
- Hojo T. 1984. [Japanese anatomical terminology (nomina anatomica japonica) from the educational view point (1) [sune and nezumi] [Article in Japanese] *J UOEH.* Dec 1;6(4):433-6.
- Jimenez Gonzalez L. 1976. *Embriología humana*. ed. Espax. Barcelona. pp 166 - 167.
- Kaandorp J.A 1944. *Fractal Modelling: Grow and Form in Biology*. Springer-Verlag. Berlin.
- Kaimovitz B., Lanir Y., Kassab G.S. 2005. Large-scale 3-D geometric reconstruction of the porcine coronary arterial vasculature based on detailed anatomical data. *0090-6964*, Nov. 33 11, 1517-1535.
- Kalliokoski K.K., Kuusela T.A., Laaksonen M.S, Knuuti J., Nuutila P. 2003. Muscle fractal vascular branching pattern and microvascular perfusion heterogeneity in endurance-trained and untrained men. *Journal of Physiology-London.* Jan. Vol 546. 0022-3751.
- Kamiya A., Takahashi T. 2007. Quantitative assessments of morphological and functional properties of biological trees based on their fractal nature. *J Appl Physiol.* Mar 8.
- Karch R., Neumann F., Podesser B.K., Neumann M., Szawlowsky P., Schreiner W. 2003. Fractal properties of perfusion heterogeneity in optimized arterial trees: A model study. *J Gen. Physiol.*, 122 (3): 307-322.
- Kardong, K.V. 2002. *Vertebrates, Comparative Anatomy, Function, Evolution*. third editon. McGraw-Hill. Boston.

- Kristic R.V. 1989. Los tejidos del hombre y de los mamíferos. ed. Interamericana & McGraw-Hill. Madrid.
- Kolb, E. 1971. Fisiología Veterinaria. ed. Acribia Zaragoza España.
- Kun-Chang Y., Higgins W., Ritman E.L. 2004. 3D model-based vascular tree analysis using differential geometry. IEEE. pp: 177-180.
- LaBarbera M. 1990. Principles of design of fluid transport systems in zoology. *Science* 249 992-1000.
- Lahoz-Beltrá R. 2004. Bioinformática. ed. Diaz de Santos. Madrid.
- Lanza V., Ambrosi D., Preziosi L. 2006. Exogenous control of vascular network formation in vitro: A mathematical model. *Networks and heterogeneous media*. 1556-1801. Dec. 1,4, 621-637.
- Leonhardt H. 1977. Histología, citología y microanatomía humanas. ed. Salvat. Barcelona.
- Liebovitch L.S. 1998. *Fractals and Chaos*. Oxford University Press. New York, Oxford.
- Liem K., Bemis W., Walker W., Grande L. 2001. *Functional Anatomy of Vertebrates*. Harcourt College Publishers. Philadelphia.
- Liu Y., Kassab G.S., Liu Y., Kassab G.S. 2007. Vascular metabolic dissipation in Murray's law *American Journal of Physiology-heart and circulatory physiology*. Mar. 292 3.
- López A., Parada A., Franco Simonetti F. 1995. *Introducción a la psicología de la comunicación*. Ed. Universidad Católica de Chile. Santiago.
- López F., Acosta F.J., Serrano J.M. 1994. Guerilla vs phalanx strategies of resource capture: growth and structural plasticity in the trunk trail system of the harvester and *Messor barbatus*. *Journal of Animal Ecology*. 63, 127-138.
- López F., Fungairiño S., de las Heras P., Serrano J., Acostas F. 2001. Age changes in the vegetative vs. reproductive allocation by module demographic strategies in a perennial plant. *Plant Ecology* 157: 13-21.
- Losee J. 1980. *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Ed. Alianza Universidad. Madrid.
- MacDonald N. 1983. *Trees and Networks in Biological Models*. Ed. John Wiley & Sons. New York.
- Martín A., Luna del Castillo J. 1989. "Bioestadística para las Ciencias de la Salud". Ed. Norma.
- Marxen M., Henkelman R.M. 2003. Branching tree model with fractal vascular resistance explains fractal perfusion heterogeneity. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. May. Vol. 284. 0363-6135.

Maxen M., Sled J.G., Yu L.X., Paget C., Henkelman R.M. 2006. Comparing microsphere deposition and flow modeling in 3D vascular trees. *Am. J. Physiol Heart Circ. Physiol.* 291 (5): H2136-H2141.

Masters B.R. 2004. Fractal analysis of the vascular tree in the human retina. *Annual Review of Biomedical Engineering.* 1523-9829, 6, 427-452.

Martínez MG., Toledo-Pereyra LH. 2000. Werner Theodor Otto Forssmann: Cirujano, Cateterista y Premio Nobel. *Cir Gen;* 22 (3): 257-263

Mendenhall W., Scheaffer RL., Wackery DD. 1981. *Estadística Matemática con aplicaciones* Ed. Chapman & Hall. 1981.

Mittal N., Zhou Y., Ung S., Linares C., Molloy S., Kassab G.S. 2005. A computer reconstruction of the entire coronary arterial tree based on detailed morphometric data. *Annals of Biomedical Engineering.* Nov. 33, 8, 1015-1026.

Nickel R., Schummer A., Seiferle E. 1986. *The Anatomy of the Domestic Animals,* Vol. 1. Verlag Paul Parey.

Noden M.D., de Lahunta. A. 1990. *Embriología de los Animales Domésticos.* Acribia. Zaragoza (España).

Parker J.C., Cave C.B., Ardell J.L., Hamm C.R., Williams S.G. 1997. Vascular tree structure affects lung blood flow heterogeneity simulated in three dimensions. *J. Appl Physiol* 78: 838-846.

Pennati G., Corno C., Costantino M.L., Bellotti M. 2003. Umbilical flow distribution to the liver and the ductus venosus in human fetuses during gestation: an anatomy-based mathematical modeling. *Medical Engineering and Physics.* Apr. Vol 25:1350-4533.

Poirier J. 1977. *Histología humana* 3ª ed. ed. Marban. Madrid.

Sabee M., Jerry T. 2007. Regional blood flow analysis and its relationship with arterial branch lengths and lumen volume in the coronary arterial tree. *Phys. Med. Biol.* 52 1495-1503.

Sanz Egaña C. 1941. *Historia de la Veterinaria Española.* ed. Espasa-Calpe. Madrid.

Schaller O.1996. *Nomenclatura Anatómica Veterinaria Ilustrada.* Ed. Acribia, S.A.

Schreiner W., Karch R., Neumann M., Neumann F., Roedler S.M., Heinze G. 2003. Heterogeneous perfusion is a consequence of uniform shear stress in optimized arterial tree models. *Journal of Theoretical Biology.* Feb. Vol 220. 0022-5193.

Shannon C.E. 1948. *A Mathematical Theory of Communication.* Bell System Technical Journal.

- Shikano S., Yamashita Y., Sato T. 2004. [Anatomical names of skeletal processes--analysis and classification of Latin names, and comparison with corresponding Japanese names]
- Shively M.J. 1993. Anatomía Veterinaria. El Manual Moderno S.A. de C.V. Mexico.
- Sismilich M, Van Pelt J. 2004. A method for comparative analysis of structural complexity in bi- and trifurcating tree-like structures. 4th International workshop on functional-structural plant models. pp. 84-87.
- Staubesand J., Steel F., Li Y. 1995. The official nomenclature of the superficial veins of the lower limb: a case for revision. Clin Anat. 8(6):426-8.
- Steel H., Torrie F. 1985. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Ed Mc. Graw Hill. 1985.
- Stosic T., Stosic B. D. 2006. Multifractal analysis of human retinal vessels. IEEE Trans Med Imaging. Aug. Vol 25. 1101-7.
- Testut L., Latarjet A. 1976. Anatomía Humana. Ed. Salvat. Barcelona.
- Thonnes E., Bhalerao A., Kendall W., Wilson R. 2002. A Bayesian approach to inferring vascular tree structure from 2D imagery. International Conference on Image Processing, vol II, Proceedings IEEE International Conference on Image Processing. Sep. 22-25.
- Tizon X., Lin Q., Hansen T., Borgefors G., Johansson L., Ahlstrom H., Frimmel H. 2007. Identification of the main arterial branches by whole-body contrast-enhanced MRA in elderly subjects using limited user interaction and fast marching. J Magn Reson Imaging. 25. 4. 806-814.
- Tsafnat N., Tsafnat G., Lambert T.D. 2005. A three-dimensional fractal model of tumour vasculature. Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Vols 1-7. Sep. 01-05.
- Valafar F., Valafar H. 2003. Model of vessels for 3D reconstruction. Metmb'03: proceedings of the International of the International Conference of Mathematics and Engineering Techniques in Medicine and Biological Sciences. Jun. 23-26.
- Van Der Plaats A., 'tHart N.A., Verkerke G.J., Leuvenink H.G.D., Verdonck P., Ploeg R.J., Rakhorst G. 2004. Numerical simulation of the hepatic circulation. International Journal of Artificial organs. Mar. 27. 3, 222-230.
- W.A.V.A. 2003. Nómina Anatómica Veterinaria. 5th edition. Prepared by the International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature (I.C.V.G.A.N.) and authorized by the General Assembly of the World Association of Veterinary Anatomists (W.A.V.A.) Knoxville, TN (U.S.A.) 2003 Published by the Editorial Committee Hannover, Columbia, Gent, Sapporo 2005.
- Wahl B. 1994. Exploring Fractals. Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts, California, New York.

# 7. ANEXOS

Esta memoria, va acompañada de un CD-ROM, donde se incluyen los programas desarrollados; y en forma de anexos, contenidos e información sobre la:

- NÓMINA ANATÓMICA VETERINARIA  
(Listado completo de las voces incluidas, referentes a vasos arteriales y venosos)
- TERMINOLOGÍA ANATÓMICA  
(Listado completo de las voces incluidas, referentes a vasos arteriales y venosos)
- CONCORDANCIAS entre la N.A.V.I., y la N.A.
- VOCES COMUNES en los VASOS de la N.A.V.I.
- DESGLOSE de los RESULTADOS en PRUEBAS ESTADÍSTICAS
- VERSIONES SIMPLIFICADAS de los PROGRAMAS DESARROLLADOS

### Requisitos:

- Ordenador con procesador Pentium 4.
- Sistema Operativo: Windows XP.
- Adobe Acrobat Reader instalado.
- Lector de CD-ROM.

### Instalación y Manejo:

Basta introducir el CD-ROM en el lector, y autorranará, mostrando la siguiente pantalla:.

