



INVESTIGACION

# Identificación de maderas

## Aportaciones científicas más importantes

Este artículo supone la continuación al trabajo en su parte de xilología, que la Sociedad Española de Ciencias Forestales editó en el I<sup>er</sup> Congreso Forestal Hispano-Luso, sobre la vida y obra del Ingeniero de Montes **Joaquín María de Castellarnau y Lleopart (1848-1943)**, ampliado en éste por las restantes aportaciones que sobre el campo de la identificación de maderas se han dado con posterioridad. Sirva este artículo como merecido homenaje al más célebre de nuestros investigadores en el campo de la anatomía e identificación de maderas en el 150 aniversario de su nacimiento.

LUIS GARCÍA ESTEBAN  
DR. INGENIERO DE MONTES. PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD  
UNIDAD DOCENTE DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA. E.T.S. INGENIEROS DE MONTES DE MADRID

PALOMA DE PALACIOS DE PALACIOS  
DR. INGENIERO DE MONTES  
ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA Y CORCHO (AITIM)

**Normand**, en el tomo I del *Manuel d'identification des bois commerciaux* (1972) dedica un capítulo a las técnicas de análisis anatómico y otro a la identificación práctica de maderas. Sabedor de las dificultades que entraña alcanzar el género o más aún la especie, hace dos afirmaciones que por su validez nos permitimos reproducir: «un anatomista no es un adivino» y «la identificación de maderas tropicales es un arte». Estas dos lacónicas frases resumen por un lado la especialización que deben adquirir los investigadores que se dedican a este campo y por otro la complejidad que alcanza el proceso cuando la identificación se dirige a maderas tropicales.

La identificación de maderas comenzó a tener relevancia científica durante la segunda mitad del siglo XIX. **Hartig** y **Sanio** pueden considerarse como

los verdaderos iniciadores del estudio del xilema de los vegetales leñosos, y a **Joaquín María de Castellarnau** como el primero en establecer una clave sistematizada en base a caracteres diferenciadores comunes a diversas especies.

En una ciencia tan compleja como es la de la anatomía de maderas, el abandono de la estructura dicotómica se produjo rápidamente por diversas razones. Entre otras, el elevado número de especies que se iban incorporando daba lugar a claves muy jerarquizadas, con gran cantidad de elementos a manejar. Además, la selección y priorización de los elementos establecidos por el autor, diferían en ocasiones de los que el usuario tenía establecidos.

A medida que avanzan los estudios microscópicos, en el primer cuarto de siglo XX, se aportan claves abiertas de identi-

ficación que no sólo contienen caracteres anatómicos, sino que comparten su analítica con propiedades físicas y mecánicas, como color, olor, peso y dureza. Es el caso de la clave realizada por **E.H.F. Swain**: *Queensland Forest Service Universal Wood-Index* (1927). Esta clave puede considerarse como la primera clave que contiene descripciones cifradas.

Pero sin duda el avance más importante debe ser atribuido a las claves de entradas múltiples. El holandés **Bianchi** en 1931 establece el método de fichas perforadas, por el cual cada ficha contiene todas las especies con las características seleccionadas. En 1937, el inglés **S. H. Clarke** incorpora una variante que ha permanecido hasta la aparición de los ordenadores, y es la de atribuir una ficha perforada a cada especie.

El *Forest Products Research*





## INVESTIGACION

Laboratory, de Princes Risborough, haciéndose eco de este método comenzó en 1940 a preparar una clave con 87 caracteres para maderas de frondosas, siendo publicada la macroscópica en 1952<sup>1</sup> y la microscópica en 1961<sup>2</sup>.

En 1941, E.W.J. Phillipps utilizó un método similar de fichas perforadas para establecer la clave de coníferas, con un total de 36 caracteres<sup>3</sup>.

Siguiendo el mismo sistema, el CTFT (*Centre Technique Forestier Tropical*) a través de su laboratorio de anatomía, desde 1946 dispone de fichas perforadas con un total de 66 caracteres anatómicos, macro y microscópicos y tecnológicos.

En esencia dicho método consiste en hacer pasar una aguja por los agujeros correspondientes a los caracteres que han sido observados, cayendo las fichas que tienen la perforación rasgada (caracteres presentes en la especie).

No obstante, la informática ha desplazando este sistema, que si bien se sigue utilizando en algún laboratorio, está abocado a desaparecer.

Las aportaciones más importantes en el campo de la identificación de maderas son las siguientes

# 1 Joaquín María Castellarnau

Debido a la sobresaliente aportación científica de Castellarnau al desarrollo de esta disciplina, dedicamos una amplia reseña histórica a sus trabajos.

Castellarnau fue un hombre afortunado al coincidir en el tiempo con numerosos estudiosos sobre el tema. Avido de aumentar sus conocimientos, se rodea de los principales tratados de botánica en los que se incluían los detalles del xilema. No obstante, la gran confusión que reinaba en aquellos días sobre esta materia, hizo afirmar a algunos de ellos que el sistema leñoso de los vegetales no ofrecía caracteres constantes para la identificación de géneros y especies. Este fue el caso de M. Renault, quien en su *Curso de Botánica fósil (1885)*, refiriéndose a las coníferas, afirmaba que no es posible reconocerlas por su estructura leñosa. Por el contrario, el Dr. Solereder en su trabajo *Sobre el valor sistemático de la estructura de la madera de las Dicotiledó-*

neas, concluyó, que los tipos de composición histológica son constantes para las familias, tribus, géneros y especies.

La andadura de Castellarnau por los estudios micrográficos de las maderas españolas comenzó en 1880. En sesión del 3 de noviembre de ese año presenta el primero de sus estudios, concretamente sobre *el tallo del pinsapo (Abies pinsapo Boiss)*.

Lo que empuja a Castellarnau para acometer este y los siguientes trabajos micrográficos xilemáticos es, además de su pasión por la microscopía, la ausencia de estudios encaminados a la sistematización práctica con carácter analítico para la identificación de vegetales a través de sus maderas. Hasta ese momento, como él mismo destaca, no se habían llevado a cabo más que estudios a nivel histológico y científico, sin prestar atención a sancionar la identificación de especies a través de micrografía xilemática.

De la misma época es la obra de Noerdhinger, destinada también a la elaboración de una clave de identificación de especies vegetales, aunque los caracteres elegidos, en opinión de Castellarnau, eran vagos e indeterminados. A pesar de ello recomendaba la

<sup>1</sup>En el boletín número 25 (*Identification of Hardwoods. A lens Key*)

<sup>2</sup>En el boletín número 46 (*Identification of Hardwoods. A microscope Key*).

<sup>3</sup>Siendo publicada en el boletín nº 22 del *Forest Products* con el nombre *Identification of Softwoods by their microscopic structure*

<sup>4</sup>Durante muchos momentos de su redacción atribuye el nombre de vasos aureolados, traqueidas, celdillas o incluso elementos leñoso-vasculares a lo que hoy conocemos con el nombre de traqueidas longitudinales. Mientras algunos autores, sobre todo botánicos, afirmaban que las coníferas carecían de vasos, otros por el contrario, entre los cuales se encontraba Castellarnau, sostenían que los elementos ausentes no eran los vasos sino las fibras, ya que aquellos eran fácilmente visibles en la sección radial con atributos aureolados.

La posible confusión con los elementos vasculares de las frondosas, junto con la acepción que los botánicos de la época atribuían a estos elementos, hizo que Castellarnau adoptase el nombre de traqueidas para designar los elementos longitudinales del paquete conductor de la madera de pinsapo. Ilustrado en el uso de la luz polarizada, en este primer estudio ya hace uso de ella para la observación de

las punteaduras areoladas, denominadas por Castellarnau en todos sus estudios poros aureolados. Su inquietud por la histología le permite establecer la que puede considerarse la primera clave de identificación de coníferas europeas a nivel de género. La publica dentro de su estudio sobre el tallo del pinsapo, siendo capaz de sintetizar aquellos caracteres diferenciadores que encuadran un determinado género en el lugar adecuado. Solamente contenía cuatro géneros (*Pinus, Taxus, Juniperus* y *Abies*), haciendo una incursión a nivel de especie entre el *Abies pinsapo* y el *Abies pectinata*. No convencido por la diferencia de estas dos especies, atribuida a la presencia de parénquima longitudinal del segundo en posición limítrofe, prefiere incluso que tal circunstancia sea comprobada por otros estudiosos.

<sup>5</sup>En sesión de 8 de noviembre de 1882, siendo publicado en los Anales de la Sociedad el 30 de abril de 1883

<sup>6</sup>*Abies pectinata*  
*Abies pinsapo*  
*Pinus sylvestris*  
*Pinus montana*  
*Pinus laricio*  
*Pinus halepensis*  
*Pinus pinaster*  
*Pinus pinea*

*Juniperus oxycedrus*  
*Juniperus oxycedrus* var. *rufescens*  
*Juniperus oxycedrus* var. *umbilicata*  
*Juniperus oxycedrus* var. *lobelli*  
*Juniperus communis*  
*Juniperus communis* var. *nana*  
*Juniperus thurifera*  
*Juniperus sabinia*  
*Juniperus phoenicea*  
*Juniperus phoenicea* var. *oophora*  
*Taxus baccata*

<sup>7</sup>En la primera parte del estudio describe y clasifica todos los elementos anatómicos que observó y aunque sus denominaciones han sido modificadas, todavía algunas permanecen.

Entre otros, aparece en sus descripciones el término *meatus* como el espacio dejado en la sección transversal entre cuatro traqueidas longitudinales. Esta voz se transformó con posterioridad en *meato*. Dedicó gran parte del estudio a la ontogenia y morfología de las traqueidas, describiendo formas y disposición en función de factores estacionales. Describió la manera de realizar las mediciones sobre los diámetros de las traqueidas, definiendo direcciones radial y tangencial.

La presencia de canales traumáticos sobre la madera de especies del género *Abies*, por otro lado presentes con frecuencia, la describe indicando su carácter no fisiológico.



## INVESTIGACION

adquisición de esta obra a los que dedicasen sus esfuerzos al estudio de las maderas.

Nada más comenzar a realizar cortes y prepararlos, se da cuenta de las dificultades que entraña reunir una colección completa de maderas de coníferas de distintas procedencias diversas y más aún el propio proceso de corte y montaje de las muestras.

La falta de tiempo le obliga a posponer su idea primitiva de establecer una clave de identificación de géneros y especies, centrandose sus esfuerzos en la parte microscópica de la morfología del *tallo de pinsapo*, por ser esta especie exclusivamente española.

No limitó sus esfuerzos únicamente al estudio microscópico del tallo en estado adulto, sino que profundizó en los estadios inmaduros o intermedios.

Concedor de las dificultades que entraña la realización de preparaciones de maderas, comenzó por usar distintos tipos de micrótomos, recomendando para tal fin el de la firma *Bourgogne*. Capacitado para cortar centésimas de milímetro, fue el que mejor resultado le dio, aunque también afirma que la calidad del corte está más relacionada con la cuchilla que con el aparato.

Para conservar los cortes de madera empleaba la glicerina gelatinizada, pues a pesar de no ofrecer montajes tan transparentes como el bálsamo de Canadá era de mejor manejo. Para facilitar las observaciones se apoyó de métodos de tinción variados, en función de la naturaleza del tejido (cambium, floema, xilema, etc.)

La escasa y dispersa literatura contemporánea sobre anatomía de maderas queda patente en su primer estudio<sup>4</sup>.

Dos años después de su primera publicación sobre el *tallo del pinsapo* presenta a la Sociedad Española de Historia Natural<sup>5</sup> el *Estudio Micrográfico de la*

*Madera de Coníferas Españolas y especialmente del género Pinus.*

El mismo reconoce, que si bien en el trabajo sobre el pinsapo las consideraciones que hace sobre la utilidad del conocimiento de los elementos anatómicos de la madera son ligeras, en este segundo estudio pone de manifiesto la importancia de la diferenciación microscópica de los elementos del xilema para su uso en la clasificación vegetal de árboles y arbustos.

En aquellas fechas, como también comenta en este segundo trabajo, los estudios sobre la estructura microscópica de las maderas aplicados a la clasificación de vegetales eran escasos o nulos. Su interés por el tema se vio avalado por la Academia de las Ciencias de Viena que en ese mismo año ofreció el premio **Baumgärtner**, dotado con 1000 florines, al mejor trabajo sobre la *investigación micrográfica de la madera de las plantas vivas y fósiles, que de los caracteres por medio de los cuales sea posible reconocer con certeza los géneros y especies*. Mientras se fallaba tal premio (31 de diciembre de 1883) **Castellarnau** presentó a la Sociedad Española de Historia Natural el primer estudio europeo sobre la microestructura leñosa de coníferas españolas.

En aquella época los tratados de microscopía no prestaban atención al *modus operandi* de la obtención y preparación de muestras para su análisis, recomendando que su realización fuese llevada a cabo por preparadores profesionales. La singularidad de las preparaciones microscópicas de maderas hace que el propio **Castellarnau** acometa tal labor sin recurrir a los citados preparadores profesionales, conocidos en los centros de París o Londres.

Lejos de reservar para él las técnicas de preparación aprendidas y antes de comenzar el desarrollo de su estudio, hace

una exhaustiva descripción de la metodología del corte, tipos de micrótomos empleados, técnicas de tinción y montaje y por último los microscopios recomendados y la óptica adecuada.

Su estudio sobre coníferas españolas le limitó a catorce especies y cinco variedades, pertenecientes a cuatro géneros (*Abies*, *Pinus*, *Juniperus* y *Taxus*)<sup>6</sup>:

Su elección la basó en el trabajo que el ingeniero de montes y extraordinario botánico **Máximo Laguna** realizó sobre la flora forestal entre 1875 y 1878. Las únicas ausencias notables fueron los géneros *Cupressus* y *Tetraclinis* en sus representantes *C. sempervirens* y *T. articulata*. A pesar de ceñir su trabajo al estudio de coníferas españolas las noticias que tenía **Castellarnau** sobre la utilización frecuente de *Pinus strobus* y *Pinus australis* en tableros y arsenales de EEUU, le permite incluir estas dos especies en razón de su uso. Por el contrario, obediendo a razones fitogeográficas incluye los géneros *Larix* y *Picea*, completando así la totalidad de los géneros de coníferas de Europa. El género *Picea* ocupa su propio lugar en el estudio, permitiéndose **Castellarnau** sacarle del género de *Abies*, en el cual le consideraba incluido **Laguna**, en base a la diferencia xilemática de ambos géneros.

La importancia de este trabajo no se limita en exclusiva a ser considerada la primera clasificación xilemática de géneros y especies de Europa occidental y al establecimiento de una clave de identificación, sino a su utilización para la discusión sobre la ubicación botánica de especies<sup>7</sup>.

Su dominio sobre el conocimiento de la madera de coníferas le permite afirmar incluso que en base a determinadas características histológicas se podía establecer la procedencia de las espe-



## INVESTIGACION

cies<sup>8</sup>.

Finalizó este trabajo con las descripciones completas de las especies, que todavía hoy consultadas por su rigor y abundancia de datos sobre medidas y procedencia.

La Real Orden del Ministerio de Fomento de 13 de Enero de 1885 encomendaba a **Castellarnau** el desarrollo y estudio microscópico de las maderas españolas. En Diciembre de 1886, escribe una carta al Ingeniero Jefe de la Comisión de la Flora Forestal Española, en la que resume la primera de sus entregas sobre el trabajo que le había sido encargado.

El conocimiento por parte de **Castellarnau** de las dificultades que planteaba y todavía hoy plantea la realización de una clave de identificación que englobase todas las maderas españolas, le hacía afirmar: «el estudio micrográfico del sistema leñoso de las especies

*forestales debe empezar necesariamente por la descripción individual de las especies, pues de otra manera no es posible agruparlas según sus afinidades naturales con objeto de establecer una verdadera clasificación fundada en las leyes bajo las cuales los elementos histológicos e histotómicos se reúnen, ni tampoco llegar a los resultados prácticos de deducir por los caracteres microscópicos las propiedades físicas de las maderas, y determinar con seguridad la especie botánica a que pertenecen; mas el modo de hacer esas descripciones, así como la extensión que se les debe dar para que sirvan de base a estudios de aplicación, me ofrece algunas dudas. Por eso, en cuanto me ha sido posible allanar las primeras dificultades, debidas principalmente a la falta de material de medios de observación y de conocimiento*

*necesarios para observar con fruto, me he apresurado a trazar la descripción de alguna especie...»*

En 1894 se publica la **Memoria acerca del estudio del sistema leñoso de las especies forestales y descripción micrográfica de las maderas de olmo y haya**. Su profundo conocimiento sobre la literatura contemporánea de su época, le permitió establecer las líneas de descripción adecuadas, no malgastando su tiempo en caminos erróneos.

Desde que **Brisseau de Mirbel** señalase la existencia de un tejido productor de madera y corteza y que **Naegeli** en 1858 le denominase cambium, las investigaciones sobre la estructura leñosa de las plantas no han cesado. La profusión de xilólogos a finales del siglo XIX, supuso el avance más significativo sobre el conocimiento histológico de la madera.

<sup>8</sup>El apoyo de sus observaciones lo plasma en extraordinarios dibujos y explica con detalle las dificultades que encontró en la interpretación del plano radial por la diferencia de los campos de observación entre el tejido horizontal de los radios leñosos y el vertical de las traqueidas longitudinales. No obstante, dichas dificultades explica que podían ser paliadas con el uso de microfotografía, técnica que por otro lado no podía usar en esos momentos debido a la precariedad instrumental en San Ildefonso (Segovia), lugar donde realizó este trabajo. Aunque ya estudió y aplicó el uso de la luz polarizada para el trabajo del *tallo de pinsapo*, volvió a hacerlo en este estudio, afirmando que su manejo es un auxiliar poderoso para el conocimiento de las propiedades ópticas de la pared celular. Las interpretaciones que otros microscopistas, como **Van Tieghem**, hicieron con carácter generalista sobre la situación de los ejes de elasticidad en el plano tangente de la traqueida y la perpendicularidad de estos a los engrosamientos de la pared celular, fueron discutidos por **Castellarnau** quien observó que la mayor parte de los engrosamientos en los coníferas, denominados por él estrías, siguen una dirección próxima a los 45° respecto al eje de la traqueida.

«Por lo tanto, si dichos ejes les fuesen perpendiculares, con los nicóles cruzados correspondería una extinción cuando el eje de la traqueida formase un ángulo de 45° con el plano de polarización del analizador y sucede justo lo contrario. Es decir, cuando el ángulo es de 45° hay un máximo de luz y extinción cuando es igual a 0°, lo que indica que los ejes de elasticidad óptica deben estar en la dirección paralela y perpendicular al eje de la traqueida».

Consideró tres tipos de esculturas espirales, sobre la pared celular de las traqueidas. Por un lado las esculturas cuya presencia se da de un modo accidental o constante sobre las paredes de las traqueidas en las coníferas, y por otro lado, otros dos tipos de engrosamientos, exclusivos de la madera de tejo y alerce. Al primer tipo de estrías no las consideró como un verdadero engrosamiento, sino más bien como una respuesta de los distintos elementos de la pared celular atribuida a su distinto poder refringente.

Los verdaderos engrosamientos, calificados por **Castellarnau** como verdaderas esculturas, los denominó filetes espirales a unos y ondulaciones espirales a otros. En realidad, ambos son de la misma naturaleza y su única diferencia estriba en el grueso del filete (helicoide), mucho más sutil en las traqueidas de alerce que en las de tejo. El estudio de las punteaduras ocupa un extenso y minucioso análisis en este trabajo. Quizás llame la atención que **Castellarnau** llamase a todas las punteaduras, tanto a las radiales o tangenciales como a las de los campos de cruce, genéricamente poros. Para estudiar su ontogenia señala que las células próximas al cambium ofrecen el lugar ideal para tal fin, e indica que es en éstas donde puede apreciarse la laminilla media.

Contemporáneo de su tiempo, el botánico **Van Tieghem** publicó en su *Traité de Botanique (1871)*, como así lo recoge **Castellarnau**, la situación que ocupaba la laminilla primitiva (laminilla media) dentro de la cavidad lenticular. Para **Castellarnau**, la laminilla media desaparecía una vez que las traqueidas habían adquirido su total desarrollo, quedando éstas comunicadas entre sí. Hasta entonces jamás se había planteado que esta teoría hubiera sido puesta en duda. Sin embargo, las reflexiones de **Van Tieghem** le hacen desarrollar un método de tinción selectivo para identificar la situación de la laminilla media, una vez la traqueida haya adquirido su desarrollo completo. Los resultados de tales experiencias confirmaron a **Castellarnau** la ausencia de laminilla media en el interior de la cavidad lenticular de las punteaduras en ese estado celular. Este hecho, junto a la consideración que hace **Castellarnau** sobre la no observación del espesamiento central (toro) de la laminilla media de las punteaduras, por más que se empeñaba en citar **Van Tieghem**, le hizo escribir a **Castellarnau**: «No es mi ánimo decir que tan ilustre botánico haya tomado simples efectos de luz por la realidad; y si insisto sobre ello, es para prevenir a algún observador, no muy versado en el manejo del microscopio, que quiera repetir estas experiencias, pues para desvanecer la ilusión le bastará iluminar oblicuamente y luego girar la platina». Aunque las consideraciones de manejo de la luz,

realizadas por **Castellarnau** son acertadas y los procesos de tinción los adecuados, no se logra comprender cómo no consiguió observar los toros de la laminilla media adheridos a la pared de la punteadura. Es un hecho constatable que la laminilla media es reabsorbida por su engrosamiento central, taponando la abertura lenticular. Sólo reconoce la presencia del toro en las traqueidas radiales, pero no en las longitudinales.

El manejo de gran número de preparaciones por procedencia, en base a los comentarios que realiza en el estudio, le permitió marcar los umbrales que limitaban la inclusión de un género en una u otra sección, en función del diámetro de las punteaduras areoladas de las traqueidas longitudinales de primavera. Este carácter ha sido utilizado en posteriores trabajos para el establecimiento de claves de identificación, siendo considerado todavía hoy analítico.

Las punteaduras de los campos de cruce, a las que **Castellarnau** denominaba genéricamente poros radiales, los agrupó en tres clases:

- poros radiales areolados
- poros sencillos pseudoareolados
- aberturas radiales

En realidad, lo que denominó aberturas radiales hoy en día son conocidas como las punteaduras pinóide o fenestroides y los poros radiales areolados como punteaduras de tipo II y restantes (piceoide, cupresoide, taxodioides) sólo diferenciadas por sus aberturas. Dejó reservado el término sencillos pseudoareolados para representar todas las geométricas de las punteaduras de los campos de cruce que pueden observarse dentro de un mismo radio, es decir, a las sucesiones de formas de las punteaduras en sus distintos estados de transición.

En los estudios que por entonces se realizaban sobre xilología, generalmente por botánicos, se vuelve a plantear la naturaleza vascular o fibrosa de las traqueidas. **J. Sachs**, siguiendo las consideraciones de **Sanio** (descriptor de las crásulas), aunque no las denomina vasos, insiste en su forma vascular y no fibrosa. **Castellarnau**, haciendo uso de consideraciones de carácter filogenético afirma que las traqueidas no deben considerarse ni tejidos vasculares ni fibrosos y que tienen una naturaleza



## INVESTIGACION

En el capítulo primero de esa memoria, describió los elementos histológicos que forman el sistema leñoso, y todavía se preguntaba, ciertamente extrañado, cómo después de los estudios del **Dr. Carlos Sanio** y la publicación *Anatomía comparada* de **De Bary**, algunos botánicos seguían confundiendo elementos muy diferentes entre sí.

Para el estudio y posterior clasificación de los elementos histológicos de las maderas de frondosas, hizo uso de la división que el **Dr. de Bary** empleó en su obra *Anatomía comparada de los órganos vegetativos de las Fanerógamas y Helechos*, reuniéndolos en tres grupos<sup>9</sup>.

Como en su anterior estudio sobre las coníferas españolas, explica la ontogenia celular de las células del xilema, trazando la tipología de la división cambial de la célula madre según se tratase de un elemento

prosenquimatoso o parenquimatoso.

Así como en su trabajo sobre las coníferas españolas, la terminología utilizada para la descripción de elementos histológicos ha variado sustancialmente en el tiempo, la que manejó en este trabajo sobre frondosas apenas ha variado desde entonces. Elementos vasales, punteaduras, perforaciones intervasales, etc..., son algunos de los nombres dados por **Castellarnau** en su obra.

Las contradicciones que encontró **Castellarnau** en las descripciones realizadas por **Hartig, Sanio y De Bary**, las únicas que por otro lado existían en ese momento, le impulsaron a realizar una revisión de las mismas. Las discrepancias eran tan grandes, que bajo su opinión, la única forma de zanjarlas era la observación directa.

Las descripciones que realizó no sólo recogen los caracteres

observados por él, sino que los compara con los datos que encontró en la literatura botánica de su tiempo. En este trabajo describió y discutió las descripciones numerosas especies<sup>10</sup>. Discutió las clasificaciones empíricas dadas por los tres botánicos citados, y propuso en el capítulo VII de este trabajo las fórmulas para representar la composición histológica e histotómica de las maderas españolas convencido de la utilidades de las fórmulas, ya que de un solo vistazo se podían situar las distintas maderas en grupos de características afines. Consciente de que futuros estudios complementarían sus trabajos, hizo una serie de recomendaciones sobre como describir correctamente una madera, pudiendo ser considerado el primer proceso normalizador de la descripción anatómica de la madera.

propia que las diferencia de ambas posibilidades. Describió con maestría las esculturas de las paredes de las traqueidas radiales dentadas y observó y señaló la existencia de dos tipos de radios perfectamente definidos, los heterogéneos formados por celdillas esclerosas o lignificadas (traqueidas radiales) y celdillas de reserva (parénquima radial) y los homogéneos, exclusivamente formados por celdillas esclerosas. En ambos casos, afirma que su anchura sólo responde a formaciones unicelulares, y excepcionalmente biseriadas, pudiendo ser pluriseriadas cuando incluyen canales resiníferos horizontales.

A pesar de que algunos autores utilizaban analíticamente el número de células de los radios leñosos en altura, **Castellarnau** no lo consideró para este estudio al observar grandes variabilidades por procedencias.

Vuelve a utilizar tintes selectivos para verificar la presencia de la laminilla media en las punteaduras de los campos de cruce.

El aparato secretor de las coníferas le consideró formado por dos elementos: los canales resiníferos propiamente dichos y las celdillas secretoras. Estas últimas, aunque él las separó en dos variedades, realmente son de la misma naturaleza, tejido parenquimatoso longitudinal, conocido en aquella época como **hilos celulares de Hartig**. Sólo su forma y disposición le hizo diferenciarlas.

Afirma que se parecen a las traqueidas, sin embargo están divididas por tabiques perpendiculares al eje de la célula y la comunicación entre ellas y con las traqueidas se realiza con punteaduras simples. La presencia o ausencia constante de **los hilos de Hartig**, fue considerada por **Castellarnau** un carácter diferenciador de gran importancia para la analítica de especies.

En cuanto a los canales resiníferos, tanto longitudinales denominados por **Castellarnau** vasales, como horizontales, también designados por él radiales, hace una consideración muy importante al señalar la diferencia entre los canales del floema y del xilema, ya que hasta entonces en las botánicas de **Sachs** y de **Van Tieghem** no se habían establecido caracteres diferenciadores entre ambos, por el contrario, se les atribuía la misma naturaleza. Su

principal diferencia estriba en la ausencia de espacio intercelular en los canales resiníferos xilemáticos cuando éstos se encuentran en estado vivo. Según **Castellarnau** están formados por dos tipos de células, las centrales formadas por celdillas globulosas-irregulares, que es el verdadero tejido secretor, y las células parenquimatosas periféricas que contienen las sustancias que se han de transformar en resina. Ese cilindro secretor central, compuesto de celdillas, indica que debe observarse en canales próximos al cambium, ya que con posterioridad su transformación en duramen implica su desaparición total.

La presencia de estos canales le permitió a **Castellarnau** utilizarla como carácter analítico en su clave, ya que su presencia tiene carácter permanente en algunos de los géneros estudiados, sea cual fuere su procedencia.

Una vez considerados, profundizó en el tamaño de los mismos, tanto en los vasculares como en los radiales, y los dividió en tres grupos en función de la naturaleza de las células envolventes del parénquima:

- células envolventes no esclerosas
- células envolventes marcadamente esclerosas
- células envolventes marcadamente esclerosas de paredes gruesas.

En la segunda parte de este magnífico trabajo establece la clave analítica para géneros, especies y agrupación de aquellos por caracteres, de las coníferas españolas.

### ªA. Grupo celular

1. Celdillas de parénquima
2. Celdillas intermedias
3. Celdillas fibrosas
  - a. enteras
  - b. tabicadas

### B. Grupo esclerenquimatoso

4. Fibras leñosas

### C. Grupo traqueal

5. Traqueidas
6. Vasos

<sup>9</sup>*Populus alba, P. canescens, P. tremula, Salix cinerea, Betula verrucosa, Alnus glutinosa, Fagus sylvatica,*



Joaquín María Castellarnau

*Platanus occidentalis, Castanea vulgaris, Quercus pedunculata, Q. sessiliflora, Q. toza, Q. ilex, Q. jordanae, Corylus avellana, Carpinus betulus, Ulmus campestris, Celtis australis, Morus alba, Ficus carica, Laurus nobilis, Osyris lanceolata, Daphne laureola, Viscum laxum, Kentrophyllum arborecens, Sambucus nigra, Viburnum opulus, Lonicera arborea, Rhododendron baeticum, Erica arborea, Ligustrum vulgare, Olea europaea, Syringa vulgaris, Philadelphus coronarius, Hedera helix, Ribes rubrum, R. nigrum, Myrtus communis, Eucalyptus globulus, Punica granatum, Pyrus communis, P. communis var. mariana, Sorbus aucuparia, Crataegus monogyna, Amygdalus communis, Prunus spp, Rosa canina, Ceratonia siliqua, Robinia pseudoacacia, Cercis siliquastrum, Cytisus laburnum, Adenocarpus hispanicus, Spartium junceum, Sarothamnus eriocarpus, Genista florida, G. falcata, G. linifolia, Rhus typhinum, R. cotinus, Ilex aquifolium, Evonimus europaeus, Zylphus vulgaris, Rhamnus cathartica, Buxus sempervirens, Swietenia mahoganii, Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Juglans regia, Aesculus hippocastanum, Vitis vinifera, Tilia parviflora, Cistus laurifolius, Berberis hispanica y B. vulgaris.*



## INVESTIGACION

La importancia que otorgaba a la fotografía, y sobre todo al dibujo, le hizo afirmar:

«Una observación microscópica no puede considerarse completa hasta que se haya interpretado por medio del dibujo»

En este trabajo, presenta por primera vez fotomicrografías realizadas por él mismo. Fueron un total de 16, dispuestas sobre 8 láminas.

No obstante, una parte muy importante de esta memoria sobre las maderas de especies forestales, es la dedicada a las descripciones de olmo (*Ulmus campestris Smith.*) y haya (*Fagus sylvatica L.*). Como en el estudio comparativo que hizo

Castellarnau de las opiniones de sus colegas sobre los elementos histológicos en las maderas de olmo y haya, comprobó las fórmulas dadas por Sanio, Müller y Hartig, encontrando la más correcta la de Sanio.

Siguiendo la misma descripción que en las maderas de olmo y haya, Castellarnau presentó el 10 de Febrero de 1897 las de otras tres maderas, *Carpinus betulus L.*, *Corylus avellana L.*, y *Alnus glutinosa Gärtn.*, siendo publica-

das en Junio de 1903, con una tirada de 400 ejemplares.

Probablemente fueron las descripciones más completas de su tiempo. Además de un magnífico lenguaje lleno de rigor las completó con 24 láminas con fotografías y dibujos realizados por él mismo, sirviéndose para el proceso de dibujo de la cámara clara de Abbe.

Este fue su último trabajo sobre anatomía de maderas<sup>11</sup>. Su conocimiento de la microscopía y su dominio sobre la luz polarizada, le permitió abordar un trabajo que por su complejidad sólo estaba reservado para unos pocos investigadores<sup>12</sup>.

Difícil de catalogar por sus múltiples facetas, entre las que destacan sus conocimientos sobre óptica y anatomía de maderas, podemos afirmar que Castellarnau ha sido el xilólogo más brillante de nuestro país. Ocupa un lugar preferente en la historia de la ingeniería de montes por haber sido el primero en el mundo en establecer una clave de identificación de coníferas a nivel de géneros y especies.

## 2

## E.W.J. Phillipps

Pasaron muchos años hasta que Phillips elaborase una clave de fichas perforadas en base a 36 caracteres divididos en 6 grupos. Si bien representó un cambio radical de las claves dicotómicas utilizadas hasta entonces, pasando a una base abierta, la simplicidad de los caracteres elegidos difícilmente podían facilitar al usuario la identificación de coníferas a nivel de especies. Por ser la primera clave abierta basada en fichas perforadas, se reproducen íntegramente a continuación los caracteres elegidos por Phillips<sup>13</sup>.

<sup>11</sup>En 1899, la Sociedad Española de Historia Natural, en su tomo XXVIII, publicó el que si fue su último trabajo sobre el xilema, titulado «Las traqueidas de los Pinus. Estudio de la constitución óptica de sus paredes por medio de la luz polarizada».

<sup>12</sup>Después de esbozar sus teorías sobre el uso de la luz polarizada en el estudio de elementos histológicos, en su obra *El tallo del pinsapo* en 1880, centró sus esfuerzos en la orientación óptica de las moléculas de la areola de las punteaduras, por medio de la cual explicaría lo mismo la cruz negra que en ella aparece cuando se examina entre los nicols cruzados, que en el movimiento de los brazos al hacer girar la preparación. Si bien este fue el principal objetivo del trabajo, también estudió la constitución óptica de las paredes de las traqueidas, afirmando que el empleo de esta técnica podría permitir un análisis de capas de la pared celular, consiguiendo los mismos resultados que con los reactivos microquímicos y colorantes. Esta afirmación la basó en que las capas primaria, secundaria y terciaria o límite, a pesar de tener similar composición química y grado de hidratación, ofrecen una respuesta diferente a la luz polarizada, debido a la distinta orientación de los ejes de elasticidad de sus moléculas.

<sup>13</sup>Carece de todo tipo de medidas y sólo utiliza el conteo para el número de células epiteliales de los canales resiníferos y el número de punteaduras por campo de cruce. Incluso el último grupo con tres caracteres le reserva para la densidad y la dureza de la madera. Fue publicada en 1948 bajo el título

*Identification of Softwoods by their microscopic structure*, en el boletín n°22 del Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough. Maderas de resinosas

1. Caracteres diversos
1. Anillos indiferenciados.
2. Madera perfecta diferenciada por su color (a utilizar positivamente).
3. Madera final evidente.
4. Olor pronunciado (a utilizar positivamente).
5. Gusto (a utilizar positivamente).
6. Grasa al tacto (a utilizar positivamente).
7. Madera lobulada (a utilizar positivamente).

### II. Traqueidas

8. Punteaduras en disposición alterna (sobre paredes radiales).
9. Punteaduras areoladas multiseriadas, en filas horizontales (a utilizar positivamente).
10. Toro lobulado.
11. Presencia de espesamientos espiralados en la madera inicial.
12. Espesamientos callitrisoides.

### III. Parénquima

13. Presencia de parénquima.
14. Parénquima abundante (a utilizar positivamente).
15. Paredes terminales noduladas.

### IV. Radiales

16. Presencia de traqueidas transversales
17. Traqueidas transversales dentadas
18. Paredes (horizontales) delgadas
19. Paredes (horizontales) sin punteaduras
20. Paredes (horizontales) fuertemente punteadas

21. Presencia de hendiduras radiales (a utilizar positivamente)
22. Paredes terminales noduladas
23. Punteaduras de los campos de cruce en la madera inicial de 1 a 2 (-3), grandes, simples
24. Punteaduras piceoides
25. Punteaduras cupresoides
26. Punteaduras taxodioides
27. Punteaduras pinoideas, 1 a 6 por campo de cruce

### V. Canales resiníferos

28. Presencia de canales resiníferos axiales normales
29. Presencia de canales traumáticos, axiales o radiales (a utilizar positivamente)
30. Presencia de canales resiníferos radiales (normales y traumáticos).
31. Células epiteliales de paredes espesas
32. 5-6 células epiteliales por canal
33. 7-12 células epiteliales por canal

### VI. Densidad y dureza

34. Madera dura y pesada
35. Madera bastante dura y mas bien pesada
36. Madera blanda y ligera

<sup>14</sup>Una de las particularidades más representativas, es la consideración de cuatro punteaduras de los campos de cruce distintas a las que se habían manejado hasta entonces: araucarioide, podocarpoide, dactryloide y glyptostroboide, consideradas hoy como modificaciones muy próximas a la cupresolide y a la taxodiolide. También resulta interesante la descripción filogenética sobre la evolución de los radios leñosos, y la filogenética histórica de las familias de coníferas.



## INVESTIGACION

### 3

## Pal Greguss

Después de la publicación de **Phillips**, el profesor de botánica de la Universidad de Szeged, **Pal Greguss**, publica su obra *Identification of living gymnosperms on the basis of xyotomy* (1955). Es la obra más completa a nivel de especies que se haya realizado hasta nuestros días, aportando gran número de mediciones. Además de facilitar una clave a nivel de familias y otra a nivel de géneros, realizó una tercera a nivel de especies. Sin embargo, incomprensiblemente abandonó la estructura de entradas múltiples iniciada por **Phillips**, particularizando claves sin mantener una estructura homogénea de conteo y medición en familias diferentes<sup>14</sup>. En este su primer trabajo sobre coníferas describe 345 especies y 5 clamidospermas. Su segundo estudio sobre coníferas, lo realizó en 1972. Desde la publicación de su primera monografía en 1955 hasta 1972, recibió como él mismo reconoce, un total de 160 nuevas especies entre cycadales y coniferales que le permitieron profundizar aún más en el conocimiento de su madera, habiendo descrito entre sus dos trabajos cerca del 90% de las especies de coníferas vivas. En 1959 **Greguss**, siguiendo la línea emprendida en su estudio sobre coníferas de 1955, publica un extenso trabajo sobre la anatomía de las frondosas europeas (*Holzanatomie der Europäischen Laubhölzer und Sträucher*) describiendo un total de 303 especies, tanto autóctonas como aclimatadas. La clave que propone vuelve a ser cerrada con una disposición dicotómica

estricta. En este trabajo aporta gran cantidad de medidas sobre vasos y radios, y a diferencia de su trabajo sobre coníferas sí mantiene la misma estructura biométrica en todas las especies estudiadas. Sin duda **Greguss** aportó durante la década de los cincuenta el conocimiento de multitud de maderas siguiendo una estructura descriptiva muy elogiada.



AGRADECIMIENTOS:  
AGRADECIMOS A **D. ROBERTO MORENO**, PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD DE LA E.T.S. INGENIEROS DE MONTES, EN SU CALIDAD DE DIRECTOR DEL PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICO-HISTÓRICA DEL CSIC, SU APORTACIÓN A ESTE ARTÍCULO SUMINISTRÁNDONOS LAS FOTOGRAFÍAS DEL INSTRUMENTAL UTILIZADO POR **CASTELLARNAU**.

BIBLIOGRAFÍA :  
**JOAQUÍN M<sup>o</sup> DE CASTELLARNAU Y LLEOPART**. ESTUDIO MICROGRÁFICO DEL TALLO DEL PINSAPO, *ABIES PINSAPO BOISS.* ANALES DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL. VOL. IX. CUADERNO 3<sup>o</sup>. MADRID 1880. P.401-464.  
**JOAQUÍN M<sup>o</sup> DE CASTELLARNAU Y LLEOPART**. ESTUDIO MICROGRÁFICO DEL SISTEMA LENOSO DE LAS CONIFERAS ESPAÑOLAS Y EN GENERAL DEL GÉNERO PINUS. ANALES DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL. TOMO XII. CUADERNO 1<sup>o</sup>. 30 DE ABRIL DE 1883 Y CUADERNO 2<sup>o</sup>. 30 DE SEPTIEMBRE DE 1883.  
**JOAQUÍN M<sup>o</sup> DE CASTELLARNAU Y LLEOPART**. MEMORIA ACERCA DEL ESTUDIO DEL SISTEMA LENOSO DE LAS ESPECIES FORESTALES Y DESCRIPCIÓN MICROGRÁFICA DE LAS MADERAS DE OLMO Y HAYA. 1894.  
**JOAQUÍN M<sup>o</sup> DE CASTELLARNAU Y LLEOPART**. LAS TRAQUEIDAS DEL GÉNERO PINUS. ESTUDIO DE LA CONSTITUCIÓN ÓPTICA DE SUS PAREDES POR MEDIO DE LA LUZ POLARIZADA. 1899.  
**JOAQUÍN M<sup>o</sup> DE CASTELLARNAU Y LLEOPART**. ESTUDIO DEL SISTEMA LENOSO DE LAS ESPECIES FORESTALES. DESCRIPCIÓN MICROGRÁFICA DE LAS ESPECIES *CARPINUS BETULIS*, *CORYLUS AVELLANA* Y *ALNUS GLUTINOSA*. 1904.  
**E.W.J. PHILLIPS**. IDENTIFICATION OF SOFTWOODS BY THEIR MICROSCOPIC STRUCTURE. BOLETÍN N<sup>o</sup>22 DEL FOREST PRODUCTS RESEARCH LABORATORY, PRINCES RISBOROUGH. 1948.  
**PAL GREGUSS**. IDENTIFICATION OF LIVING GYMNOSPERMS ON THE BASIS OF XYLOTOMY. 1955 Y 1972.  
**PAL GREGUSS**. HOLZANATOMIE DER EUROPÄISCHEN LAUBHÖLZER UND STRÄUCHER. 1959  
**DIDIER NORMAND, JACQUELINE PAQUIS, PIERRE DETIENNE, PAULETTE JACQUET Y ALAIN MARIAUX** (1972, 1976, 1982). *MANUEL D'IDENTIFICATION DE BOIS TROPICAUX* (TOMOS 1 Y 2) Y *MANUEL D'IDENTIFICATION DE BOIS COMMERCIAUX*. TOMO 3.

### 4

## Centre Technique Forestier Tropical

La aportación más importante en el ámbito de las maderas tropicales se debe al equipo de investigadores del *Centre Technique Forestier Tropical*, comenzada por **Didier Normand** en 1972 y continuada por **Jacqueline Paquis** (1976), **Pierre Detienne**, **Paulette Jacquet** y **Alain Mariaux** (1982). La obra tiene tres partes, *Manuel d'identification de bois tropicaux* (tomos 1 y 2) y *Manuel d'identification de bois commerciaux* (tomo 3). En el primero está dedicado a definir un vocabulario ilustrado de anatomía de maderas (la anatomía descriptiva de las maderas comerciales, las técnicas de análisis anatómico, realización de una práctica de identificación) y a mostrar el sistema de fichas perforadas. El segundo y tercer tomo incluyen las descripciones de las maderas comerciales de África y Guyana Francesa, respectivamente. En ambos se hace un examen exhaustivo de las características anatómicas a nivel de familia, género y especie. La singularidad de este trabajo es la realización de una clave de identificación de entrada múltiple, con 66 caracteres que todavía hoy se mantienen, sirviendo de base para la descripción de nuevas especies comerciales tropicales en todo el mundo. Su estructura está sirviendo para que otros equipos de investigación como el encabezado por **Laura Edlman** en Florencia, la **North Carolina State University**, y el de nuestra **Unidad Docente**, establezcan claves particulares de identificación.