

Terminología básica del microscopio óptico (español, inglés y catalán)

Basic terminology of the light microscope (Spanish, English, Catalan)

Andrés Martínez*

RESUMEN: El artículo resume la terminología básica del microscopio óptico compuesto con sinónimos y notas lingüísticas en las lenguas española, inglesa y catalana. Los términos en inglés y catalán acompañan a una breve descripción en español de las partes y del funcionamiento de este instrumento, de capital importancia para la ciencia y la técnica. El texto de las imágenes aporta explicaciones complementarias de aspectos concretos.

PALABRAS CLAVE: catalán, español, inglés, luz, microscopía, microscopio, óptica, terminología.

ABSTRACT: This article summarises the basic terminology of the compound light microscope in Spanish, English and Catalan, with synonyms and linguistic notes provided where appropriate. The English and Catalan terms accompany a short description in Spanish of both the components and operation of this instrument, which plays a crucial role in science and technology. The text includes pictures whose captions provide further explanation of specific aspects.

KEYWORDS: Catalan, English, light, microscope, microscopy, optics, Spanish, terminology.

Panace@ 2024; XXV (59): 27-37

Introducción

Desde su invención siglos atrás, el microscopio se ha convertido en un instrumento imprescindible en numerosas disciplinas científicas y técnicas que, gracias a las continuas mejoras introducidas, no ha perdido vigencia. Es tal su trascendencia que, si se pregunta a una persona qué instrumentos científicos conoce, es muy probable que lo cite entre los primeros, si no en primer lugar.

El presente artículo repasa la terminología del microscopio óptico en castellano, inglés y catalán, en concreto la propia

del microscopio compuesto de luz transmitida y campo claro, de las partes que lo componen y de ciertos pormenores de su funcionamiento, sin ahondar en los principios ópticos que lo rigen, tanto por cuestión de brevedad como —por qué no reconocerlo— de competencia del autor, biólogo de formación. La intención no es otra que poner a disposición del traductor una introducción al rico vocabulario que rodea a este instrumento en las tres lenguas citadas.

La luz

El microscopio óptico convencional (ingl. *light microscope*, *optical microscope*; cat. *microscopi òptic*) se sirve de la luz visible o blanca como fuente de iluminación (ingl. *white or visible light*; cat. *llum visible o blanca*). Por definición, la luz visible es el tramo del espectro de las ondas electromagnéticas (ingl. *electromagnetic spectrum*; cat. *espectre electromagnètic*) que el ojo humano es capaz de percibir y abarca las longitudes de onda (ingl. *wavelengths*; cat. *longituds d'ona*) comprendidas entre los 400 y 700 nanómetros (nm). Esto significa que la luz blanca es policromática (ingl. *polychromatic*; cat. *policromàtica*), es decir, es el resultado de la superposición de varias longitudes de onda, cada una de las cuales corresponde a un color puro que va del violeta hasta el rojo, pasando por el añil, el azul, el verde, el amarillo y el anaranjado. Con un sencillo prisma de vidrio (ingl. *prism*; cat. *prisma*) es posible ver cómo la luz se descompone en esos colores, idénticos a los del arcoíris. Esa naturaleza policromática es la causa de uno de los mayores problemas que afectan a la visión con el microscopio, las aberraciones cromáticas, que trataremos más adelante.

Cuando alguien menciona *microscopio óptico* a secas, se sobreentiende que alude a la forma más sencilla de microscopía, esto es, la de luz transmitida (ingl. *transmitted light*; cat. *llum transmesa*) y campo claro (ingl. *brightfield*; cat. *camp clar*): lo primero significa que los rayos de luz atraviesan el objeto observado (ingl. *specimen*; cat. *objecte*); lo segundo, que el microscopio capta tanto la luz directa o no difractada por el objeto (ingl. *direct [light] beam*; cat. *llum directa*) como la dispersada

* Traductor científico-médico, biólogo. España. Dirección para correspondencia: andrmartinez@yahoo.es

o difractada por este. Esa será la modalidad de microscopía que trataremos aquí.

Un breve inciso: a diferencia de la anterior, en la microscopía de campo oscuro (ingl. *darkfield microscopy*, *darkground microscopy*; cat. *microscòpia de camp fosc*), la imagen se forma exclusivamente con la luz difractada por el objeto (ingl. *scattered o diffracted light*; cat. *llum dispersa o difractada*), de modo que este aparece brillante sobre un fondo oscuro. Esta modalidad es idónea para observar especímenes vivos que son transparentes y ofrecen poco contraste, como las células o los microorganismos en movimiento, sin necesidad de recurrir a la tinción o coloración (ingl. *staining*; cat. *tinció*) para dotarlos del necesario contraste.

Volviendo a la luz transmitida, el objeto observado debe ser transparente (ingl. *transparent*; cat. *transparent*) o translúcido (ingl. *translucent*; cat. *translúcid*) para que pueda ser atravesado por el haz de rayos, pero como estas cualidades no se cumplen en infinidad de casos por la naturaleza opaca de incontables sustancias y materiales (ingl. *opacity*; cat. *opacitat*), es preciso cortarlo en láminas finísimas con un instrumento auxiliar que resulta imprescindible en microscopía, el micrótopo (ingl. *microtome*; cat. *micròtom*).

El microscopio compuesto

El microscopio óptico de uso universal recibe el nombre de *compuesto* (ingl. *compound microscope*; cat. *microscopi compost*) porque en su forma más elemental consta al menos de dos lentes¹ (ingl. *lens*, pl. *lenses*; cat. *lent*, pl. *lents*): el objetivo y el ocular.

Situadas y alineadas en los extremos de un tubo (ingl. *body tube*, *barrel*; cat. *tub*), ambas lentes contribuyen a formar la imagen de la muestra (objeto) aumentando su tamaño, de modo que el sistema se caracteriza por una potencia de aumento determinada (ingl. *magnification*, *magnifying power*; cat. *poder d'ampliació*, *capacitat d'augment*). La potencia de aumento de una lente depende de su distancia focal (ingl. *focal length*; cat. *distància focal*) y esta, a su vez, de la curvatura de las superficies del vidrio: a mayor curvatura, menos distancia focal y más aumento. La potencia se expresa en número de aumentos (ingl. *magnification number*; cat. *nombre d'augment*), es decir, las veces que la lente amplía el tamaño real del objeto (p. ej., una lente de 10× tiene 10 aumentos y multiplica por diez el tamaño).

La potencia total de aumento del microscopio compuesto (ingl. *total magnification*; cat. *augment total*) es el resultado de multiplicar la potencia del ocular por la del objetivo. Por ejemplo, la combinación de un ocular de 10× —el más común— con un objetivo de 40× brindará 400 aumentos.

La lente más importante es el objetivo (ingl. *objective*, *objective lens*, *lens*; cat. *objectiu*), que, dotada de una distancia focal pequeña, se sitúa a corta distancia del objeto observado, concentra la luz que este atraviesa y la proyecta en el tubo del mi-

croscopio en forma de imagen intermedia (ingl. *intermediate or primary image*; cat. *imatge primària*). Esa imagen es ampliada por el ocular (ingl. *eyepiece*, *ocular*; cat. *ocular*), que, situado cerca del ojo del observador, actúa como una lupa.

Desde los primeros modelos rudimentarios de microscopio, ese par de lentes ha ido ganando en complejidad y número con el fin de mejorar las prestaciones ópticas hasta devenir en sofisticados sistemas de lentes sencillas o compuestas. Una lente compuesta está formada por dos, tres o más lentes sencillas unidas entre sí o montadas juntas formando dobletes o tripletes (ingl. *doublet [group]*, *triplet [group]*; cat. *doblet*, *triplet*), cuyo efecto combinado corrige o compensa las aberraciones ópticas (ingl. *optical aberrations*; cat. *aberracions òptiques*) derivadas de la naturaleza de la luz y las lentes y que emborronan o deforman la imagen o crean halos o ribetes de color en ella. Con el fin de minimizar dichas aberraciones, las lentes se fabrican con vidrio de distintos tipos dotados de propiedades ópticas diversas. Dos tipos básicos son el vidrio *flint* (ingl. *flint glass*; cat. *vidre flint*) y el *crown* (ingl. *crown glass*; cat. *vidre crown*), caracterizado el primero por su elevada dispersión de la luz y, justo por lo contrario, el segundo (ingl. *low- o high-dispersion glass*; cat. *vidre de gran o baixa dispersió*), que, combinados, permiten corregir en cierta medida las aberraciones cromáticas. Otro componente de las lentes de dispersión baja que corrige tales aberraciones es la fluorita o espato de flúor (ingl. *fluorite*, *fluorspar*; cat. *fluorita*, *espat de fluor*), con el que se fabrica el vidrio fluorado. Es habitual que las lentes se definan en virtud de la dispersión lumínica que generan con las siglas inglesas *LD*, *SD*, *UD*, esto es, de dispersión baja, superbaja o ultrabaja (*low dispersion*, *super-low dispersion*, *ultra-low dispersion*).

Las aberraciones cromáticas son el resultado del enfoque a distancias distintas de las diferentes longitudes de onda que componen la luz blanca, lo que provoca la falsa coloración de la imagen. En las lentes llamadas *acromáticas* (ingl. *achromatic lens*, *achromat [ACRO]*; cat. *lent acromàtica*) queda corregida la aberración de dos longitudes de onda, normalmente la azul y la roja, así como la aberración esférica de la luz verde. Un ejemplo de lente acromática sencilla es un doblete (ingl. *achromatic doublet*; cat. *doblet acromàtic*) formado por una lente cóncava de vidrio *flint* unida a otra lente convexa de vidrio *crown*, que enfocan la luz azul y roja en el mismo punto, con lo que se logra corregir, en parte, la aberración. Las lentes *apocromáticas* (ingl. *apochromatic lens*, *apochromat [APO]*; cat. *lent apocromàtica*) mejoran las anteriores, pues se reduce a mínimos la aberración de la luz azul, verde y roja, es decir, de tres longitudes de onda, así como la aberración esférica de dos o más longitudes de onda. Las lentes *planacromáticas* (ingl. *plan achromatic lens*, *planachromat*; cat. *lent planacromàtica*) y *planapocromáticas* (ingl. *plan apochromatic lens*, *planapochromat [PLAN-APO]*; cat. *lent planapocromàtica*) son lentes acromáticas y apocromáticas que al mismo tiempo corrigen otra aberración, a saber, la de la curvatura del campo visual (ingl. *field curvature*; cat. *curvatura del camp*), que hace que la imagen de un objeto plano sea una imagen curva que no es posible que aparezca toda ella enfocada al mismo tiempo.

El microscopio compuesto moderno incorpora una tercera lente o sistema de lentes, el condensador (ingl. *condenser*; cat. *condensador*), que no hemos citado hasta ahora porque no interviene en la formación de la imagen. Su función es concentrar sobre el objeto la luz que emite la fuente luminosa, de modo que está situado fuera del tubo óptico, interpuesto entre el objeto y la fuente de luz. Más adelante lo veremos.

Para acabar, sin más interés que el puramente histórico, el microscopio simple (ingl. *simple microscope*; cat. *microscopi simple*) posee una sola lente encajada en una montura (ingl. *frame*; cat. *muntura*), a veces acompañada de un sistema de iluminación que no es más que una sencilla lupa (ingl. *magnifying glass*, *magnifier*, *loupe*; cat. *lupa*, *lent* o *vidre d'augment*).

La figura 1 muestra un microscopio binocular de revólver cuádruple, platina con carro móvil y tornillos de enfoque coaxiales. A continuación, traducimos al castellano la leyenda por orden alfabético: *aperture*: obertura de la platina; *arm or carrying handle*: brazo; *base*: base o pie; *body tube*: tubo; *brightness adjustment*: regulador de la intensidad lumínica (cat. *regulador de la intensitat de llum*); *coarse adjustment*: tornillo de enfoque macrométrico («macro»); *condenser*: condensador; *diaphragm*: diafragma; *dioptr adjustment*: ajuste de dioptrías; *fine adjustment*: tornillo de enfoque micrométrico («micro»); *head*: cabezal; *illuminator* o *light source*: fuente de luz o foco; *light switch*: interruptor del foco (cat. *interruptor de la làmpada*); *mechanical stage*: platina con carro móvil; *nosepiece*: revólver o tambor; *objective lens*: objetivo; *ocular lens* o *eyepiece*: ocular; *stage clip*: pinza de sujeción para el portaobjetos; *stage controls*: tornillos de desplazamiento del carro móvil.

El estativo

Hasta ahora hemos descrito someramente la parte óptica del microscopio (ingl. *optical system*; cat. *sistema òptic*). Las demás partes integran la estructura de soporte y mecánica llamada *estativo*⁴ (ingl. *frame*, *stand*, *support stand*; cat. *estatiu*), formada por: a) el brazo (ingl. *limb*, *arm*, *carrying handle*; cat. *braç* o *columna*), que sirve de soporte a los oculares, el tubo, el portaobjetivos y la platina (ingl. *stage*; cat. *platina*), esta última con el condensador adosado a ella; y b) el pie o la base (ingl. *base*; cat. *base* o *peu*), que sustenta el brazo y alberga como principal componente la fuente de luz, llamada *foco* o *lámpara* (ingl. *illuminator*, *lamp*, *light source*; cat. *font de llum*, *làmpada*).

La disposición de las partes que acabamos de explicar corresponde al microscopio directo (ingl. *upright [light] microscope*; cat. *microscopi directe*), en la que el foco de luz y el condensador quedan situados bajo el objeto observado y el objetivo y el ocular por encima. En el microscopio invertido (ingl. *inverted [light] microscope*; cat. *microscopi invertit*), como su propio nombre indica, el orden se invierte: la fuente de luz ilumina la muestra desde arriba, en tanto que el ocular y el objetivo la enfocan desde abajo. Este montaje brinda más espacio sobre la platina y facilita la manipulación experimental de objetos que

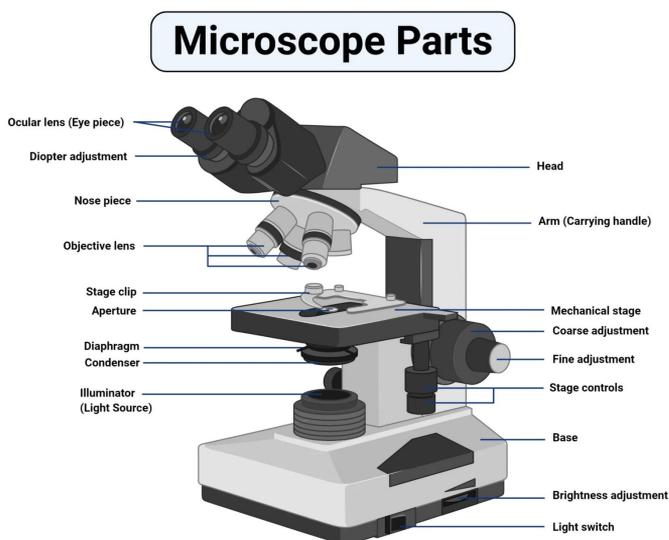


Figure: Parts of a microscope, Image Copyright © Sagar Aryal, www.microbenotes.com

FIGURA 1. Partes principales del microscopio básico de laboratorio (© Sagar Aryal, www.microbenotes.com)

son más voluminosos que las preparaciones microscópicas colocadas en los finos portaobjetos de vidrio, como pueden ser los cultivos de células o bacterias vivas en tubos de ensayo [ingl. *test tube*; cat. *tub d'assaig*], en placas de Petri (ingl. *Petri dish*; cat. *placa de Petri*) o en frascos (ingl. *cell culture flask*; cat. *flascó de cultiu celular*). Un tipo especializado es el microscopio de cultivo celular (ingl. *tissue-culture microscope*, *cell-culture microscope*; cat. *microscopi per cultiu celular*), que permite la observación de ese tipo de muestras. En adelante nos referiremos al microscopio directo, si no se indica otra cosa.

El brazo, rígido y robusto, y la base, maciza y pesada, dotan de la necesaria estabilidad al microscopio, pues, cuando se observa un objeto con muchos aumentos, el más mínimo movimiento o vibración afecta a la nitidez de la imagen. Quien haya sostenido un microscopio en los brazos recuerda lo pesado que es. Por si eso no bastase, existen plataformas especiales para colocarlo que amortiguan las vibraciones procedentes del entorno (ingl. *antivibration table*; cat. *plataforma antivibratòria*), aunque suelen estar reservadas a sistemas avanzados de microscopía (confocal, etc.).

A continuación, pasaremos a ver los componentes básicos del instrumento uno a uno.

El ocular

El ocular es la lente encargada de proyectar la imagen del objeto observado en la retina del ojo y posee una distancia focal grande. Un modelo sencillo de ocular consta de dos lentes, la de campo o colectora (ingl. *field lens*; cat. *lent de camp*), orientada

hacia el objetivo que está situado en el otro extremo del tubo, y la lente ocular (ingl. *front eyelens*; cat. *lente ocular*), por la que mira el observador. La potencia más habitual es 10×, pero existen oculares de 5×, 12,5×, 15×, 20×, etc. Los modelos complejos contienen más de dos lentes, agrupadas en sistemas que mejoran las prestaciones y corrigen las aberraciones, como ya hemos explicado. Dos ejemplos son el ocular de Kellner (ingl. *Kellner eyepiece*), cuya lente ocular es un doblete que corrige la aberración cromática y que, sumado a su lente de campo sencilla, hace un total de tres, y el ocular de Plössl (ingl. *Plössl eyepiece*), que, con idéntico fin, cuenta con dos dobletes, esto es, cuatro lentes agrupadas en dos pares.

En función de la superficie de la muestra que dejan ver, el llamado *diámetro del campo visual* (ingl. *field diameter*; cat. *diàmetre del camp visual*), que va de varios milímetros a menos de una décima de milímetro de ancho, los oculares pueden ser de campo amplio, superamplio o ultraamplio (ingl. *widefield* [WF], *superwide field* [SWF], *ultrawide field* [UWF] eyepiece; cat. *ocular de camp ample, superample o ultraample*), lo que se indica con el número de campo (ingl. *field number* [FN]; cat. *número de camp*), que es inverso a la potencia de aumento, es decir, a menos aumentos, mayor FN y más diámetro visible.

Según el número de oculares de que esté dotado el microscopio, este será monocular (ingl. *monocular, single-eye*; cat. *monocular*) o binocular (ingl. *binocular*; cat. *binocular*), para ver a través de uno o ambos ojos. Además, existen cabezales trinoculares (ingl. *trinocular*; cat. *trinocular*) provistos de un tercer tubo, el fototubo (ingl. *phototube*; cat. *tub fotogràfic*), que permiten acoplar una máquina fotográfica o una videocámara.

Con el fin de facilitar el intercambio de los oculares, estas piezas ópticas van montadas en pequeños tubos portaoculares (ingl. *eyepiece tube, draw tube, observation tube*; cat. *tub de l'ocular*) insertos a su vez en un cabezal (ingl. [viewing] head; cat. *capçal*), que puede ser giratorio para facilitar la observación por parte de varios usuarios. El cabezal alberga la caja de prismas (ingl. *prisms and beamsplitters*; cat. *prismes i divisors de feix*) que canalizan el haz de luz proyectado por el objetivo en el ángulo adecuado y, en el microscopio binocular, lo divide en dos para que la imagen del objeto se proyecte en ambos oculares. En los modelos profesionales es posible regular la inclinación de los tubos portaoculares para mejorar la ergonomía (ingl. *tilting tubes*; cat. *tubs oculars d'inclinació regulable*).

Los oculares suelen estar dotados de mecanismos de ajuste óptico, como el anillo de dioptrías (ingl. *diopter adjuster*; cat. *anell d'ajust de diòptries*) para compensar los errores difractivos que tenga en cada ojo el usuario de gafas o anteojos, o el ajuste del espacio entre los dos oculares para adaptarlo a la distancia interpupilar del observador (ingl. *interpupillary adjustment*; cat. *ajust interpupillar*). Otro accesorio que mejora la ergonomía es el elevador del cabezal (ingl. *eye-level riser*; cat. *alçador del capçal*), que, insertado entre el brazo del microscopio y el cabezal, reduce la flexión del cuello del observador, algo recomendable cuando la observación se prolonga durante horas o es repetitiva.

Tipos de oculares

Una pieza accesorio que suelen llevar son conchas de goma (ingl. *rubber eyecups o shields*; cat. *protectors de goma*), que, además de proteger la lente ocular de rayaduras y golpes, facilitan que el ojo se mantenga a la distancia idónea de observación.

La retícula (ingl. [measuring] *reticle, reticule o graticule*; cat. *retícula, micròmetre ocular*) es otro accesorio consistente en un disco de vidrio grabado con una escala numérica o marcas de orientación que se inserta en el plano de la imagen primaria del ocular y permite medir o contar los objetos visibles en el campo visual.

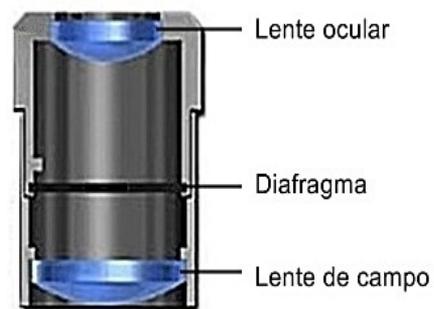


FIGURA 2. Ocular de Huygens (ingl. Huygenian eyepiece; cat. ocular de Huygens), <<https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/anatomy/oculars/>>

Inventado en el siglo XVII, este ocular compuesto de gran sencillez posee dos lentes sencillas separadas por un diafragma de campo fijo (ingl. *field stop*; cat. *diafragma de camp*) que elimina la periferia del campo visual, de poca nitidez. Se dice que es un ocular negativo por la colocación interpuesta del diafragma (ingl. *negative o internal field-diaphragm eyepiece*; cat. *ocular negatiu*). Aún se utiliza en microscopios escolares. El observador mira por la lente ocular.

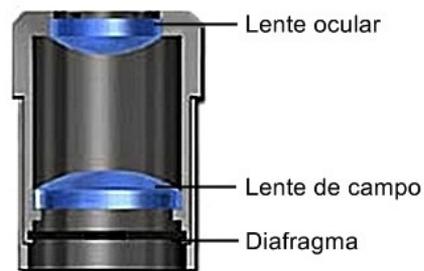


FIGURA 3. Ocular de Ramsden (ingl. Ramsden eyepiece; cat. ocular de Ramsden) <<https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/anatomy/oculars/>>

Este tipo de ocular es positivo (ingl. *positive o external diaphragm eyepiece*; cat. *ocular positiu*), lo que significa que el diafragma se encuentra por delante de las lentes.

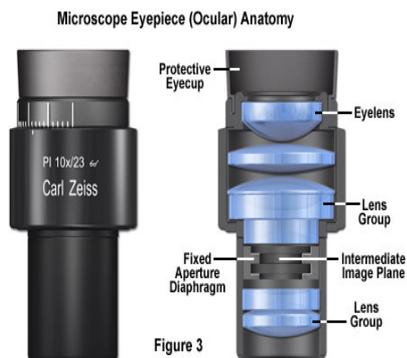


FIGURA 4. Ocular compuesto moderno (Carl Zeiss Microscopy Online Campus, <<https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/print/basics/opticalsystems-print.html>>)

Está formado por la combinación de lentes sencillas y compuestas (ingl. lens group, multi-element lens; cat. lent composta) con el fin de corregir las aberraciones ópticas. Las segundas son el resultado de montar o unir dos, tres o más lentes en dobletes, tripletes o cuadrupletes (ingl. quadruplet; cat. quadruplet).

Algunos oculares llamados de compensación o compensadores (ingl. compensating eyepiece; cat. ocular compensador) anulan el efecto de una aberración óptica generando otra opuesta.

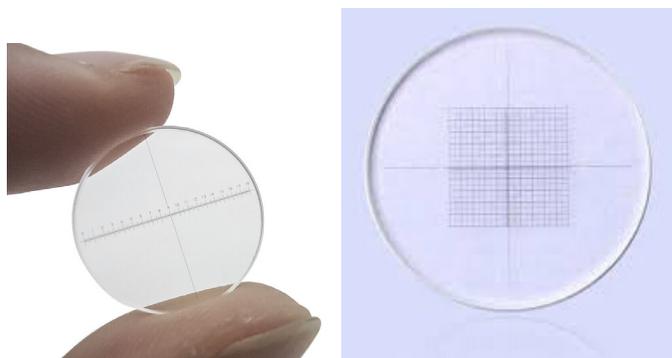


FIGURA 5. Retícula de medición (izq.) [ingl. ruler reticle; cat. retícula de mesura] y de recuento (der.) [ingl. grid reticle; cat. retícula de recompte]

Más sencillo y asequible, el microscopio monocular ha quedado relegado desde hace décadas a la enseñanza básica en las escuelas. En los laboratorios hoy encontramos solamente modelos binoculares, puesto que reducen el cansancio visual (ingl. eyestrain; cat. fatiga ocular) que provoca la observación prolongada y, en ciertos modelos, posibilitan la visión estereoscópica o en relieve de los objetos (ingl. stereoscopic vision, stereovision, 3D vision; cat. visió estereoscòpica, estereovisió).

El tubo

El tubo del microscopio (ingl. body tube, barrel; cat. tub) une el ocular con el objetivo y garantiza el alineamiento de estos dos sistemas de lentes ubicados en sus extremos. Cuanto mayor es la distancia que los separa —llamada longitud óptica (ingl. optical tubelength; cat. longitud òptica del tub)— mayor es la potencia de aumento; no obstante, en general esta medida se ha unificado para que los objetivos y los oculares de fabricantes distintos sean intercambiables. Entre las dos lentes se intercala una lente de tubo (ingl. tube lens; cat. lent de tub), encargada de captar los rayos de luz paralelos que atraviesan el objetivo y formar la imagen intermedia en el ocular.

El objetivo

El objetivo es la lente más cercana a la muestra y está dotado de una distancia focal pequeña. El microscopio suele contar con varios objetivos, habitualmente un mínimo de tres y, a lo sumo, seis. Los más corrientes son de 4x, 10x, 40x y 100x aumentos, pero existen de 6x, 20x, 60x, etc. Dos son los tipos de objetivos en función del medio que separa la preparación microscópica de su lente frontal (ingl. front lens; cat. lent frontal): secos (ingl. dry objective; cat. objectiu sec) o de inmersión (ingl. oil [immersion] objective; cat. objectiu d'immersió), con el aire como medio en el primer caso y el aceite de inmersión en el segundo (ingl. immersion oil; cat. oli d'immersió).

El aceite es indispensable para la observación con objetivos de más de 40 aumentos, ya que, a gran aumento, mejora notablemente la resolución de la imagen (ingl. resolution, resolving power; cat. resolució, poder de resolució) al reducir la desviación de los rayos de luz cuando atraviesan el vidrio y la muestra depositada sobre él y pasan al aire, camino de la lente del objetivo. Este fenómeno de refracción (ingl. refraction; cat. refracció), como se le denomina, distorsiona la imagen y afecta a su nitidez. El procedimiento de uso es el siguiente: se vierte una pequeña gota de aceite encima del cubreobjetos antes de acercar la preparación al objetivo de modo que su lente frontal quedará bañada en él, sin aire intercalado. En virtud de su composición, el aceite tiene un índice de refracción (ingl. refractive index; cat. índex de refracció) muy similar al del vidrio, de modo que la difracción de los rayos se reduce notablemente.

Efecto del aceite de inmersión

Los modernos aceites de inmersión son sintéticos y han sustituido al tradicional aceite de cedro (ingl. cedar oil, cedarwood oil; cat. oli de cedre), extraído de plantas coníferas. Existen objetivos de inmersión diseñados para emplear el agua (ingl.

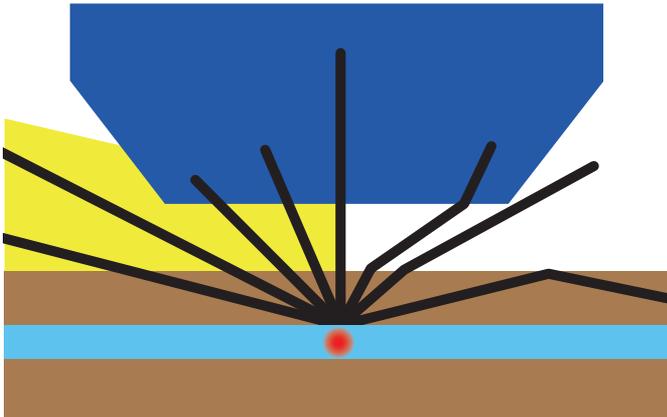


FIGURA 6. Efecto del aceite de inmersión (Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_immersion>. Licencia CC 4.0.)

En la mitad derecha del dibujo, los rayos de luz que no atraviesan en ángulo recto la preparación microscópica (marrón) se desvían notablemente de su trayectoria a su paso por el aire (blanco) hasta el punto de que una parte no incide en la lente del ocular (azul claro).

En la izquierda, donde el aceite de inmersión (amarillo) depositado en el vidrio reemplaza al aire, la difracción disminuye y más rayos penetran en el ocular sin desviarse. Eso reduce la distorsión de la imagen y mejora su nitidez.

water-immersion objective; cat. *objectiu d'immersió en aigua*) u otras sustancias líquidas; incluso existen tipos polivalentes, aptos para varios líquidos (ingl. *multi-immersion objective*; cat. *objectiu multi-immersió*).

La segunda característica óptica del objetivo es la apertura numérica (AN) de la lente (ingl. *numerical aperture* [NA]; cat. *obertura numèrica* [ON]), de la cual depende la resolución o poder de separación, es decir, la distancia mínima entre dos puntos que el ojo es capaz de discernir, característica esta más importante que la potencia de aumento a la hora de obtener una imagen de calidad. Cuanto mayor es la apertura numérica, más luz capta la lente y mejor es la resolución. Otro factor que influye en ella es el índice de refracción del medio que separa la lente del objetivo de la muestra. El índice del aceite de inmersión (1,51) es superior al del aire (1), de modo que mejora la resolución. Eso sí: conviene recordar que, en la práctica, los índices de refracción de los objetivos de inmersión y secos son algo inferiores a los valores indicados.

El tamaño mínimo que permite ver el microscopio óptico es de 0,2 micrómetros² (μm), o lo que es lo mismo, 0,0002 mm (dos diezmilésimas de milímetro), un límite impuesto por la longitud de onda más corta de la luz visible, que es $\sim 0,4 \mu\text{m}$. Todo objeto más pequeño de $0,2 \mu\text{m}$, es decir, la mitad de esa longitud de onda, no es visible, y es preciso recurrir a otros sistemas de iluminación a base de longitudes de onda más pequeñas, como la luz ultravioleta (microscopía de luz ultravioleta [UV], ingl. *ultraviolet microscopy*, *UV microscopy*; cat. *microscòpia de llum ultraviolada*) o, mejor aún, a un haz de electrones (microscopio electrónico).



FIGURA 7. Objetivo de inmersión en aceite (OIL), de 100 aumentos y apertura numérica 1,25 (100/1.25)

La banda blanca es un código de color que indica el aumento (100x).

En microscopía óptica se usan diversos líquidos de inmersión (aceite, agua, glicerina, etc.) que aparecen indicados en los objetivos de inmersión como oil, w (water), glyc (glycerin), acompañados a veces de una segunda banda coloreada en el extremo inferior de la pieza que indica el líquido, p. ej., negra para el aceite, blanca para el agua, naranja para la glicerina (o glicerol) o roja si el objetivo es multiuso y apto para los tres. En algunos modelos también figura abreviada la corrección óptica (PLA, APO, PLAN-APO) y cromática (Fluor), la distancia de trabajo en milímetros (WD, working distance) y, si es el caso, los usos especiales, amén del nombre del fabricante.



FIGURA 8. Objetivo seco de 4 aumentos y apertura numérica 0,10 (4/0.10)

La banda roja corresponde al código de color que indica la potencia de aumento (4x).

La cifra 160 señala la longitud en milímetros del tubo del microscopio con el que se ha de utilizar el objetivo y 0.17 es el espesor del cubreobjetos en milímetros (0,17 mm).

La longitud del tubo, el espesor del cubreobjetos y el diámetro de la rosca son medidas normalizadas para que estos componentes sean intercambiables en distintos microscopios.

Se ve claramente la rosca de fijación al portaobjetivos (ingl. *mounting thread*; cat. *rosca*).

copía electrónica, ingl. *electron microscopy*; cat. *microscòpia electrònica*), cuya longitud de onda es miles de veces más pequeña que la de la luz blanca y permite ver detalles sumamente diminutos que de otro manera serían inapreciables.

Otro parámetro óptico importante del objetivo es la profundidad de campo (ingl. *depth of field, field depth, depth discrimination*; cat. *profunditat de camp, poder de penetració*), que es la distancia por delante y por detrás del plano enfocado donde la imagen aparece razonablemente nítida sin necesidad de reenfoque. Los objetivos de pequeño aumento tienen una profundidad de campo grande (aprox. ½ micrómetro), lo cual exige reajustar el enfoque con menos frecuencia cuando se examina la muestra en el plano vertical, de arriba a abajo; en cambio, los objetivos de gran aumento y AN elevada poseen una profundidad de campo reducida (aprox. ⅓ de micrómetro), lo que exige reenfoque con frecuencia en ese plano.

En la página anterior aparecen algunos tipos de objetivos y un resumen de su nomenclatura.

El portaobjetivos

El portaobjetivos, revólver o tambor (ingl. [*revolving*] *nosepiece, objective turret, nosepiece turret*; cat. *portaobjectius, revòlver, torreta*) es el soporte giratorio donde se enroscan los objetivos, habitualmente en número de tres o cuatro, aunque pueden ser hasta cinco o seis, cada uno de ellos con una potencia de aumento distinta. El revólver encaja en el brazo del microscopio a través del portatubo (ingl. *limb top*; cat. *portatub*) y se hace girar con la mano por un aro de agarre estriado (ingl. *knurled grip ring*) dispuesto a tal efecto —¡nunca de los objetivos!— para alinear el objetivo elegido con el ocular y pasar progresivamente de menos a más aumentos.



Objective Adapter

FIGURA 9. Modelos de revólver triple, cuádruple y quíntuple para otros tantos objetivos (ingl. five-, four-, and three-hole nosepieces; cat. revòlver triple, quàdruple o quíntuple). Crédito: Sunlight Optical Products Trading Co, Ltd. China

La platina

La platina³ (ingl. *stage*; cat. *platina*) es la plataforma sobre la cual se deposita el objeto o la preparación que se quiere observar. La atraviesa un orificio (ingl. *aperture, opening*; cat. *obertura*) por donde pasa el haz de luz que ha sido concentrado por el condensador. La plataforma cuenta con fijaciones para sujetar con firmeza la preparación, que en su forma más sencilla son un par de pinzas metálicas en posición fija (ingl. *stage clips, slide clamps, spring clips*; cat. *pinces de subjecció*), que en los modelos modernos han sido sustituidas por un carro móvil (ingl. *slide holder*; cat. *platina mòbil*). El carro está provisto de escuadra y pinza sujetadora para inmovilizar el portaobjetos y se desplaza en direcciones perpendiculares en el plano horizontal (de derecha a izquierda y de adelante hacia atrás, y viceversa) mediante dos tornillos de control accionados a mano (ingl. *mechanical stage knobs*; cat. *cargols d'ajust de la platina mòbil*) o con un motor eléctrico (ingl. *motor-driven stage*; cat. *platina motoritzada*). También existen platinas circulares que giran sobre un eje central (ingl. *rotating stage, circular stage*; cat. *platina rodona o giratòria*). Para usos especiales, como, por ejemplo, la observación de células vivas, la platina puede contar con mecanismos de calentamiento o refrigeración de la muestra (ingl. *cold stage, heating-cooling stage*; cat. *platina calefactora-refrigeradora*). Suele disponer de escalas graduadas (ingl. *graduated*

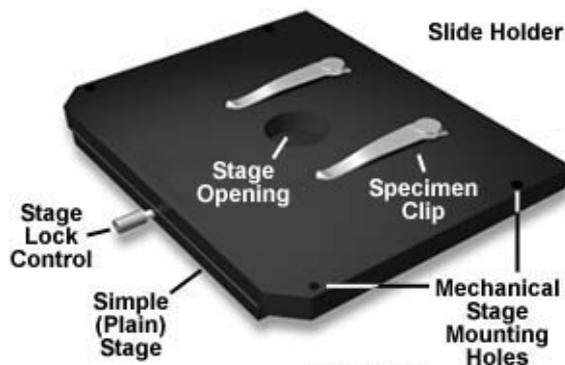


FIGURA 10. Platina simple (crédito: <<https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/anatomy/stage/>>)

El portaobjetos con la preparación se inserta bajo las pinzas (ingl. *specimen clips*; cat. *pinces de subjecció*), centrado en la abertura (ingl. *stage opening*; cat. *obertura*) para que incida en ella la luz del condensador situado bajo la platina (no visible en la imagen).

Los dos orificios del borde permiten montar una platina móvil (ingl. *mechanical stage*). El tornillo de bloqueo impide que la platina suba o baje (ingl. *stage lock control*; cat. *cargol de bloqueig de la platina*).

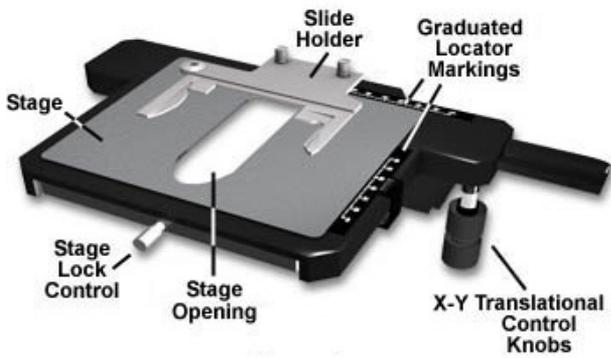


FIGURA 11. Platina con carro (crédito: <<https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/anatomy/stage/>>)

El carro móvil (ingl. slide holder) dispone de escuadra y pinza sujetadora (ingl. slide clip, stage clip; visible en la figura 12) para sujetar con firmeza el portaobjetos.

Los dos tornillos de control (ingl. x-y control knobs) mueven el carro horizontalmente para que la preparación se desplace sobre la abertura de la platina (ingl. stage opening).

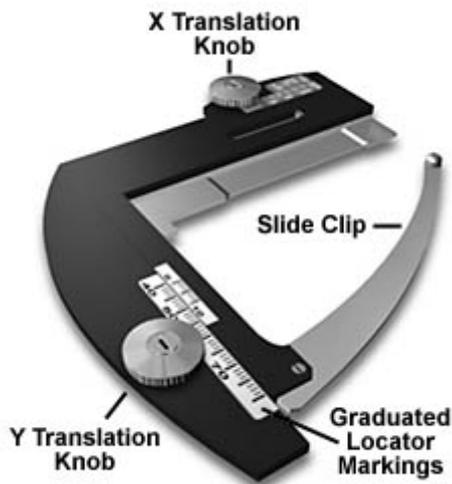


FIGURA 12. Escalas milimétricas (ingl. graduated locator markings; cat. escales mil·l·m·t·r·i·q·u·e·s). Crédito: <<https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/anatomy/stage/>>

Las escalas milimétricas permiten anotar la ubicación de puntos de interés en la muestra.

Junto a la escala milimétrica, visible en primer plano, está el nonio o vernier.

markings; cat. regle millimètrique), que permiten ubicar puntos de interés en la preparación y facilitar su búsqueda en momentos posteriores; a veces, junto a ellas, otra escala auxiliar —el nonio⁵ o vernier (ingl. Vernier scale; cat. nònius, vernier)— permite afinar hasta la décima de milímetro.

El enfoque del objeto (ingl. focus; cat. enfocament) requiere que la platina baje o suba para alejarse o acercarse al objetivo mediante un mecanismo de precisión instalado en el brazo, llamado de piñón y cremallera (ingl. rack and pinion drive; cat. pinyó i cremallera), que el observador desplaza a mano (ingl. [single] hand focus; cat. enfocament manual) con dos tornillos situados en la parte inferior del brazo, separados o coaxiales, o bien con un sistema motorizado (ingl. motor-driven focus; cat. enfocament motoritzat). El primer tornillo, de mayor diámetro, es el de enfoque grueso, rápido o macrométrico (ingl. coarse focus knob; cat. cargol [d'enfocament] macromètric, roda macromètrica) y el segundo, más pequeño, el de enfoque fino, lento o micrométrico (ingl. fine focus knob; cat. cargol [d'enfocament] micromètric, roda micromètrica), abreviados como macro y micro en la jerga de la microscopía. El macro permite el enfoque rápido con los objetivos de pequeño aumento (p. ej. 4x o 10x; ingl. low-power objectives; cat. objectius de petit augment), en tanto que el micro se reserva para los de gran aumento (p. ej. 40x, 60x o 100x; ingl. high-power objectives; cat. objectius de gran augment) y para afinar el enfoque del macro.

En el proceso de enfoque con los objetivos de gran aumento, los más largos y sobresalientes, la platina sube hasta quedar tan cerca del objetivo, a veces a menos de 1/10 de milímetro, que hay un gran riesgo de que, por descuido, el vidrio de la preparación impacte contra él y se rompa; para evitarlo, un tope de seguridad ajustable limita el ascenso (ingl. rack stop, up-stop control, stage stop; cat. topall de seguretat o protecció) y evita las rayaduras en la lente frontal y la rotura de la preparación, valiosa o única como puede ser. Con ese mismo propósito, algunos objetivos de gran aumento están provistos de un muelle interno de amortiguación (ingl. spring-loaded tip, retractable tip; cat. amortidor) que hace que la punta se retraiga levemente si el objetivo hace contacto con el cubreobjetos de la preparación.

Se llama distancia de trabajo (ingl. working distance [WD]; cat. distància de treball o frontal) a la que separa la superficie delantera del objetivo del cubreobjetos —o del objeto si la preparación no lo lleva— cuando este está enfocado. En el micros-

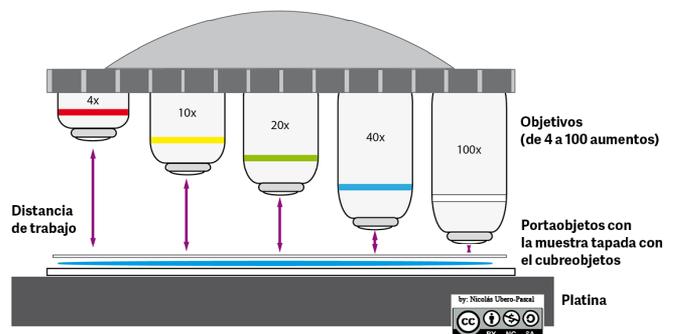


FIGURA 13. Distancia de trabajo en un microscopio directo (crédito: <<http://hdl.handle.net/10201/120808>>. Nicolás Ubero Pascual. Facultad de Biología, Universidad de Murcia. Licencia CC BY-NC-SA 4.0 Deed)

copio invertido, esta distancia suele ser larga para facilitar la manipulación de la muestra sobre la platina y, para ello, se recurre a objetivos especiales (ingl. *long working-distance objective*; cat. *objectiu amb gran distància de treball*), conocidos por sus siglas en inglés, *ELWD* y *SLWD* (*extra long WD*, *super long WD*).

El portaobjetos y el cubreobjetos

La muestra (ingl. *specimen*; cat. *mostra* o *preparació*) se deposita y prepara sobre una delgada lámina de vidrio normalmente rectangular, el portaobjetos (ingl. *glass* o *microscope slide*; cat. *portaobjectes*, *vidre portamostres*), llamada *porta* en la jerga. Sobre la muestra se coloca otra lámina más fina y pequeña que la anterior a modo de protección, el cubreobjetos o *cubre* (ingl. *cover glass*, *cover plate*, *coverslip*, *slip*; cat. *cobreobjectes*), que generalmente es de forma cuadrada, aunque puede ser redonda. El grosor de ambos vidrios (ingl. *thickness*; cat. *gruix*) no es arbitrario, está estandarizado, pues se tiene en cuenta en el diseño de las lentes del microscopio e influye en la calidad de la imagen.

El portaobjetos habitual es plano (ingl. *flat slide*; cat. *portaobjectes pla*), pero existen tipos especiales como los excavados, provistos en el centro de una o varias concavidades (ingl. *excavated* o *well slide*; cat. *portaobjectes excavat*) o cámaras (ingl. *chambered slide*; cat. *portaobjectes amb cambres*). El vidrio liso puede estar esmerilado en un extremo (ingl. *frosted*; cat. *esmerilat*), por una o ambas caras (ingl. *one- or two-side*), para poder escribir en él anotaciones sin recurrir a etiquetas adhesivas; las esquinas del porta pueden ser recortadas o redondeadas (ingl. *round or clipped corners*; cat. *cantons retallats*

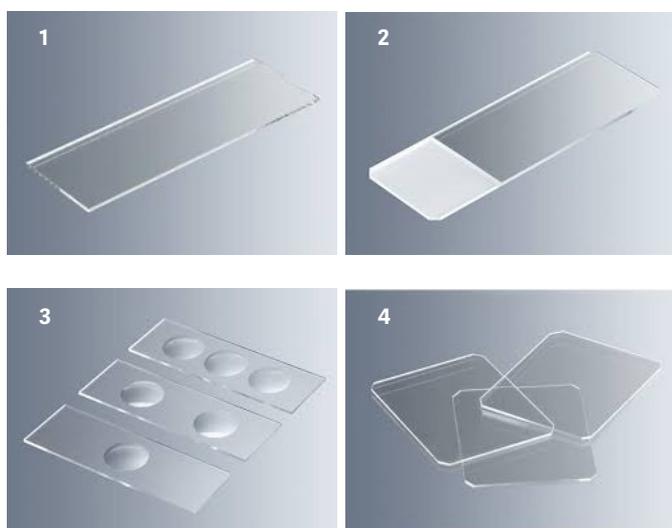


FIGURA 14. Portaobjetos y cubreobjetos: 1) portaobjetos plano, 2) portaobjetos plano con extremo esmerilado y esquinas recortadas, 3) portaobjetos excavados, 4) cubreobjetos

o *arrodonits*) y los bordes biselados o pulidos (ingl. *ground or beveled edges*; cat. *vores polides i biselades*) a fin de eliminar las aristas cortantes, que no se descantillen fácilmente durante la manipulación y sea más fácil introducirlos en los soportes (ingl. *slide racks*; cat. *suports per portaobjectes*) usados para la tinción de la muestra o el almacenamiento o archivo de las preparaciones. Las preparaciones permanentes, fijadas y selladas herméticamente para conservarlas, se guardan en cajas al efecto (ingl. *slide box*; cat. *caixa de preparacions*).

El condensador y el diafragma

La tercera lente, el condensador (ingl. [*substage*] *condenser*; cat. *condensador*), queda interpuesta entre la preparación que se va a observar y la fuente de luz, pues su función es captar los rayos divergentes emitidos por esta y concentrarlos de uniformemente sobre la preparación. En el microscopio directo, se instala adosado a la parte inferior de la platina, en un portacondensador (ingl. *condenser holder*; cat. *subplatina*), y está acompañado de un diafragma (ingl. *diaphragm*; cat. *diafragma*), que, a modo de cortinilla, controla la cantidad de luz que atraviesa la lente condensadora e incide en la muestra. Al condensador se le pueden insertar filtros de luz intercambiables (ingl. *light filters*; cat. *filtres de colors*) montados en un portafiltros (ingl. *filter holder*, *filter wheel*; cat. *portafiltres*), que dejan pasar selectivamente ciertas longitudes de onda, modificando así el color de la luz que incide en la muestra. El tipo más sencillo es el condensador de Abbe (ingl. *Abbe condenser*; cat. *condensador d'Abbé*). Otro condensador corregido para las aberraciones esféricas y cromáticas es el acromático (ingl. *achromatic condenser*; cat. *condensador acromàtic*).

El diafragma es esencial para regular el brillo, el contraste de la imagen y la profundidad de campo, pues, en función de su grado de apertura, deja pasar selectivamente los rayos que conforman el cono de iluminación (ingl. *light cone*; cat. *conus de llum*) que incidirá en la muestra y será captado después por

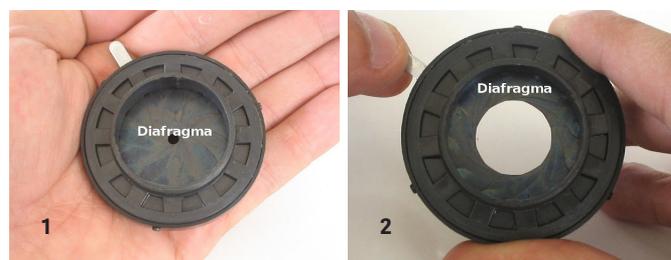
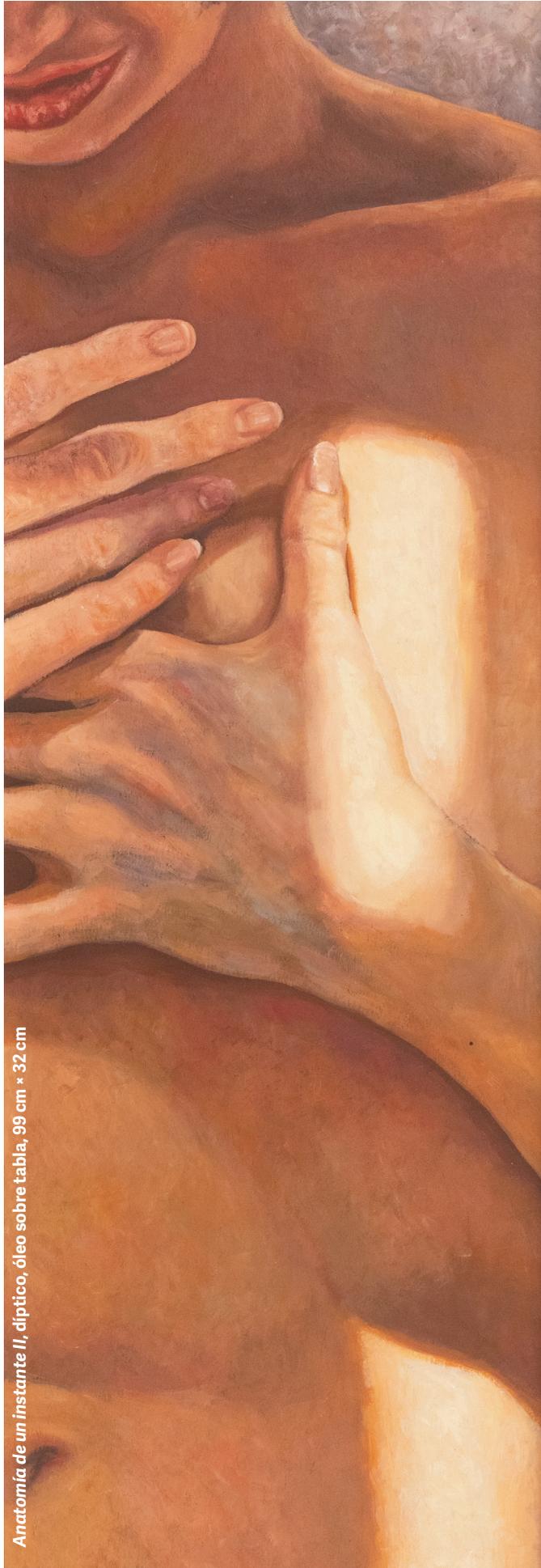


FIGURA 15. Diafragma de tipo iris (ingl. *iris diaphragm*; cat. *diafragma tipus iris*), 1) en posición de cierre y 2) en posición de apertura máxima. Crédito: <<http://el-profedebiolo.blogspot.com/2013/05/>>, Othopux, 29 de mayo de 2013



Anatomía de un instante II, diptico, óleo sobre tabla, 99 cm x 32 cm

la lente del objetivo. La amplitud del cono debe ser similar a la apertura numérica del objetivo para obtener la mejor resolución, por lo que es necesario ajustar la apertura del diafragma cada vez que se cambia de objetivo.

La fuente de luz

Antes de la invención de la bombilla incandescente, la fuente luminosa era la luz solar, que se orientaba y concentraba hacia la muestra por medio de un espejo cóncavo (ingl. *concave mirror*; cat. *mirall còncau*) situado en la base del microscopio, bajo la platina. Un refinamiento posterior fue el espejo doble, plano por una cara (ingl. *plane mirror*; cat. *mirall pla*) y cóncavo por la otra, apto para condiciones de gran o escasa luminosidad. Los rayos solares no podían incidir directamente en el espejo, pues, concentrados por las lentes, deslumbraban al microscopista (ingl. *microscopist*; cat. *microscopista*).

El sistema básico de iluminación artificial en la microscopía de luz transmitida y campo claro se denomina Köhler (ingl. *Köhler illumination*; cat. *il·luminació de Köhler*) en reconocimiento a su inventor. La iluminación la proporciona una bombilla incandescente o, en los últimos años, unos diodos LED. Estos últimos tienen la ventaja de que desprenden poco calor, con lo que la muestra no corre el riesgo de desecarse si la observación es prolongada o repetida en el tiempo. La fuente de luz está conectada a un regulador de la intensidad eléctrica o potenciómetro (ingl. *potentiometer*; cat. *potenciòmetre*), con el que se controla el caudal de luz que emana del filamento de la bombilla o del diodo.

Limpieza y mantenimiento

El microscopio es un instrumento de precisión que requiere una limpieza y un mantenimiento esmerados, en especial sus lentes. Los restos de aceite de inmersión que impregnan el objetivo de 100× se han de limpiar al acabar la jornada, pues de lo contrario se acaban endureciendo con el tiempo y merman las cualidades ópticas de la lente (los aceites sintéticos no tienen este inconveniente). El polvo y la suciedad son grandes enemigos de la óptica, así que el microscopio debe guardarse con las tapas antipolvo colocadas en los oculares (ingl. *eyepiece cap*, *dust cap*; cat. *tapa per ocular*) y cubierto con una funda guardapolvos de plástico o tela (ingl. *dust cover*; cat. *funda [antipols]*).

Un juego completo de limpieza consta de perilla de aire o sopladora (ingl. [*hand*] *air blower*, *air pear*; cat. *pera d'aire*) para eliminar las motas de polvo, un pincel suave para ópticas (ingl. *camel-hair brush*; cat. *pinzell de pèl suau*), líquido limpia-lentes (ingl. *lens cleaner*; cat. *líquid neteja·lents*), papel especial para ópticas (ingl. *lens [cleaning] tissue or wipe*, *optical tissue or wipe*; cat. *paper* o *tovalloleta per netejar lents*) y un paño o ga-

muza suave para el resto del instrumento (ingl. *soft duster*; cat. *drap suau, camussa*).

Los modelos portátiles se transportan en una robusta maleta o caja metálica (ingl. *carrying case*; cat. *caixa de transport*) con acolchado a medida (ingl. *padding cushioning*; cat. *encoixinat*) para que permanezca sujeto e inmóvil. Por último, existen modelos compactos de microscopio, llamados *de campo* o *de bolsillo* (ingl. *field microscope, pocket microscope*; cat. *microscopi de camp, microscopi de butxaca*).

NOTAS

1. La palabra *lente*, con el significado de 'objeto de vidrio utilizado en los instrumentos ópticos', es mayoritariamente masculina en el español de América (*el lente*) y siempre femenina en el español peninsular (*la lente*). El *Diccionario de la lengua española* (DLE) lo recoge con ambos géneros en la entrada correspondiente (<<https://dle.rae.es/lente>>).
2. En el sistema internacional de unidades de medida (SI), la unidad de longitud característica de la microscopía óptica es el micrómetro (μm) (ingl. *micrometre, micrometer*; cat. *micròmetre*). Un micrómetro equivale a la milésima parte de un milímetro (0,001 mm o 1×10^{-3} mm en notación científica) o, lo que es lo mismo, la millonésima parte de un metro (0,000001 m o 1×10^{-6} m). Los sinónimos *micrón* y *micra* (ingl. *micron*; cat. *micró, micra*) han quedado obsoletos y se desaconseja su uso.
3. No es inusual ver escrito *pletina*.
4. Parece haber ambigüedad en la definición de *estativo*. Algunas fuentes indican que es sinónimo de *brazo*, en cambio, otras engloban en la definición tanto el brazo como la base. He optado por esta última.
5. En el *Vocabulario científico y técnico* de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales figura como voz latina, *nonius*.

ABREVIATURAS

ingl. = en inglés:

cat. = en catalán:

pl. = en plural:

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer la colaboración prestada por Mónica Roldán, responsable de la Unidad de Microscopía Confocal e Imagen Celular del Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona, y por Daniel Vilavella, biólogo y técnico de laboratorio clínico, que han revisado el texto y me han sugerido correcciones y mejoras.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Carl Zeiss Microscopy Online Campus. *Microscope Optical Systems*. <<https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/print/basics/opticalsystems-print.html>>.
- Heath, Julian P. (2005): *Dictionary of Microscopy*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Gamazo, Carlos; Ignacio López-Goñi y Ramón Díaz (2005): *Manual práctico de microbiología* (3.ª edición). Barcelona: Masson S. A.
- Grup Enciclopèdia. *Enciclopèdia catalana*. <<https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/microscopi-optic>> [consulta: 23.III.2023].
- Nachtigall, Werner (1997): *Microscopia. Materiales, instrumental y métodos*. Traducido por Elena Torres. Barcelona: Ediciones Omega S. A.
- Navarro González, Fernando A. (2023): *Libro rojo. Diccionario de dudas y dificultades de traducción del inglés médico*. Versión 4.03; marzo de 2023. Cosnautas. <<https://www.cosnautas.com/es/catalogo/diccionario-medico-libro rojo>> [consulta: 27.III.2023].
- Olympus. *Oculares*. <<https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/anatomy/oculars/>> [consulta: 17.IV.2023].
- Piller, H. (1989): *Dictionary of Light Microscopy*: v. 15 (Royal Microscopical Society [RMS] Microscopy Handbooks). Oxford: Bios Scientific Publishers Ltd. [Existe una reciente edición digital de esta obra, de 2021, solo a disposición de los miembros de la RMS].
- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1996): *Vocabulario científico y técnico* (3.ª edición). Madrid: Editorial Espasa Calpe S. A.
- Rottenfusser, Rudi; Wilson Erin E. y Davidson Michael W.: *Carl Zeiss Microscopy Online Campus* <<https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/print/basics/opticalsystems-print.html>> [consulta: 23.III.2023].
- Termcat. Centre de terminologia. *Cercaterm*. <<https://www.termcat.cat/es/cercaterm>> [consulta: 23.III.2023].
- Termcat. Centre de terminologia. *Diccionari enciclopèdic de medicina (DEM CAT)*. <<https://www.demcat.cat/ca>> [consulta: 23.III.2023].
- The Florida State University and Michael W. Davidson (1998-2022): «Microscope Stages», en *Optical Microscopy Primer. Anatomy of the Microscope*. <<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/anatomy/stage.html>> [consulta: 21.III.2023].