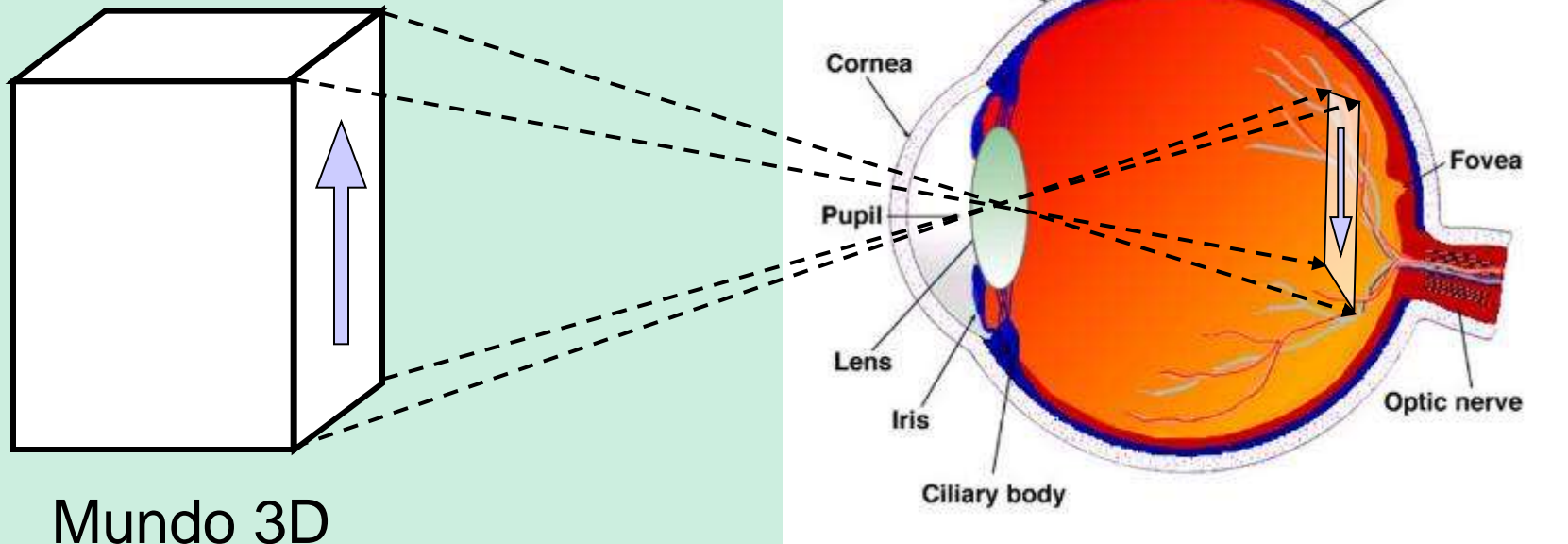
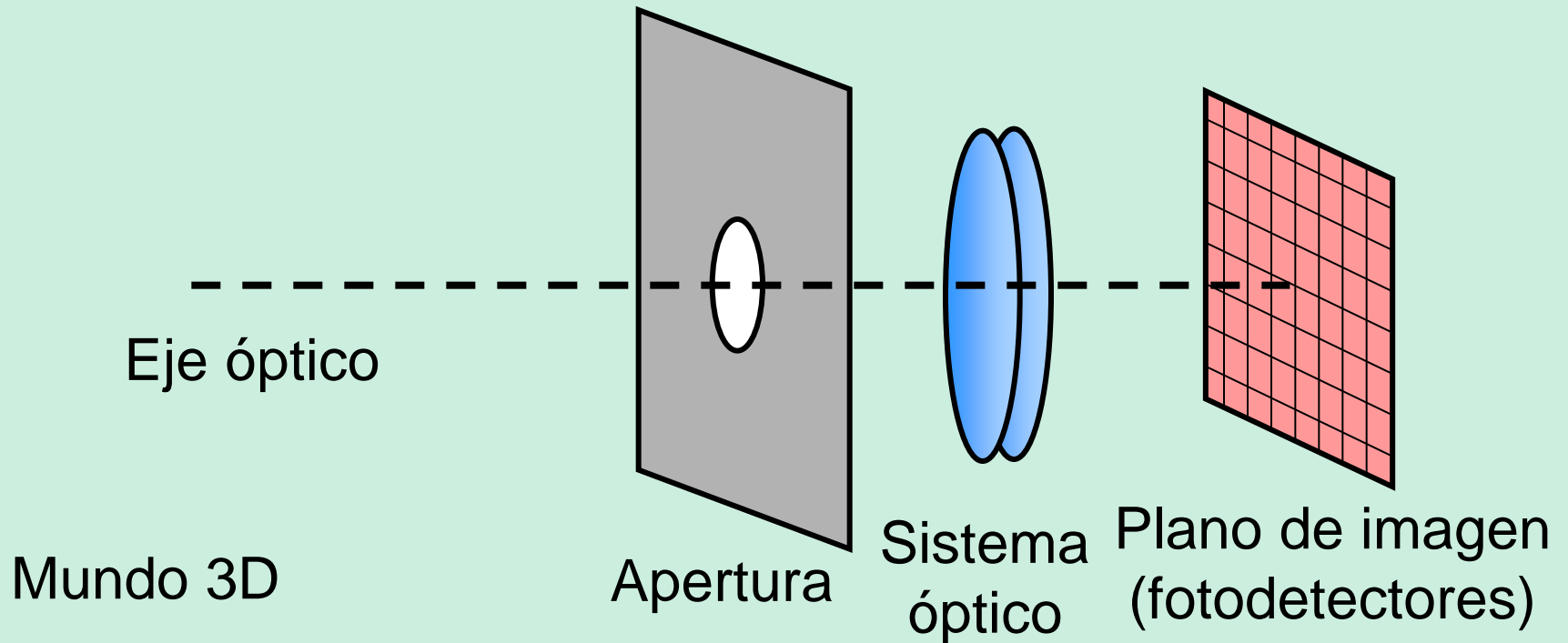


El proceso de formación de imágenes

- La formación de imágenes es un proceso mediante el cual una información luminosa 3D (**la escena**) es **proyectada** en un plano 2D (**la imagen**).
- Las **cámaras** imitan el proceso que tiene lugar en el **ojo humano**.

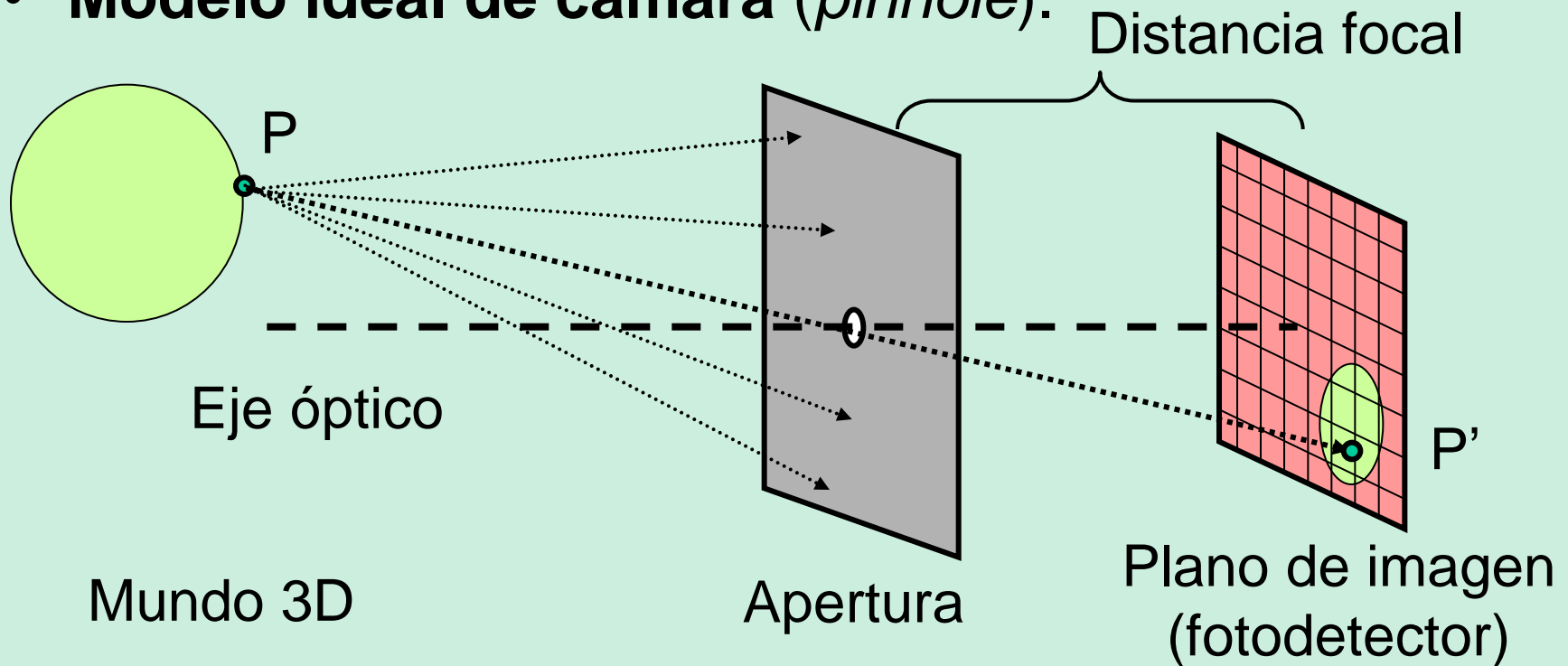


- **Modelo de cámara simplificado.**



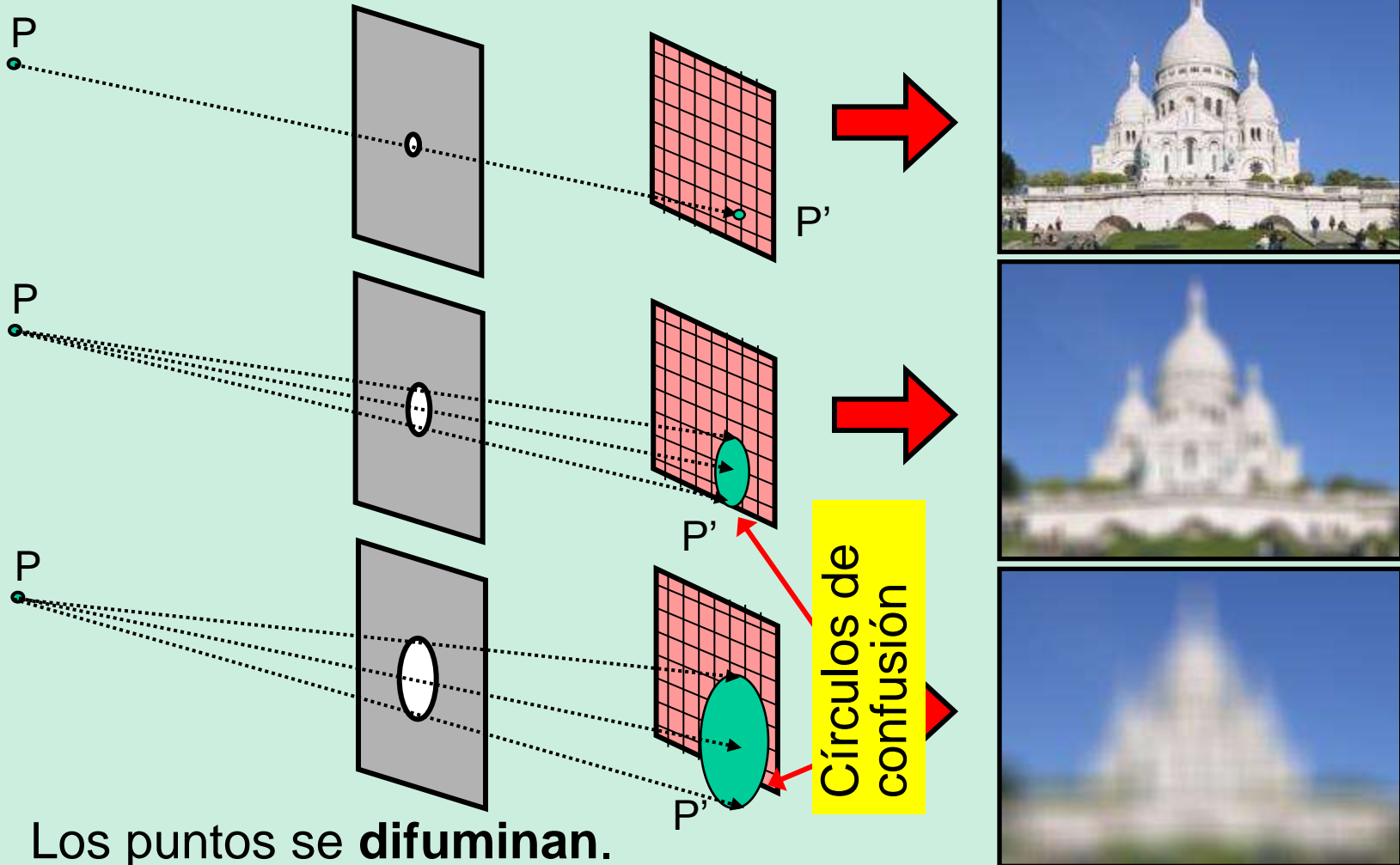
- El objetivo del modelo es que cada punto de la escena sea proyectado en un solo punto del plano de imagen.
- De esa manera la imagen estará **enfocada**.

- **Modelo ideal de cámara** (*pinhole*).



- Una **superficie mate** emite luz en todas las direcciones.
- Cuando la **apertura es muy pequeña**, desde cualquier punto sólo pasa luz con una dirección.
- Todos los puntos están **bien definidos**: imagen enfocada.

- Comparar con lo que ocurre a medida que aumenta el tamaño de la apertura.



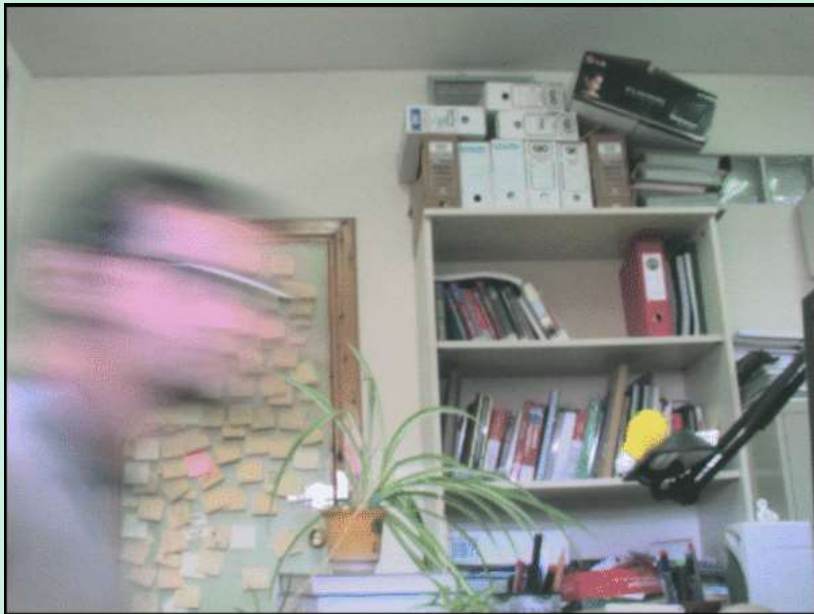
- Los puntos se **difuminan**.

- La imagen estará enfocada cuando el tamaño del **círculo de confusión** sea menor que el tamaño de cada **celda del fotodetector**.



- Sin embargo, el modelo pinhole tiene muchas limitaciones y es poco usado.
- Apertura muy pequeña → Entra muy poca luz → La imagen sale muy oscura.

- **Solución 1:** aumentar el **tiempo de exposición**, manteniendo el tamaño de la apertura.
 - No funciona bien si hay **movimiento**.
 - Aunque, se puede usar para *acumular* movimiento.



- **Solución 2:** aumentar el tamaño de la apertura y utilizar unas **lentes** que realicen el enfoque.
 - Por las limitaciones físicas de las lentes, sólo se pueden enfocar los objetos en cierta distancia.
 - **Profundidad de campo:** rango de distancias (en la escena) en la que los objetos aparecen enfocados.



Prof. campo (aprox.)
de unos pocos cm.



Prof. campo (aprox.)
desde 3 m. a infinito

- **Solución 3:** manteniendo reducidos el tiempo de exposición y el tamaño de la apertura, aumentar la **sensibilidad** de los fotodetectores.
 - Usando películas más sensibles o ajustando la sensibilidad (o ganancia) en la cámara.
 - **Problema:** con más sensibilidad aumenta el ruido.



Mucha luz, baja sensibilidad

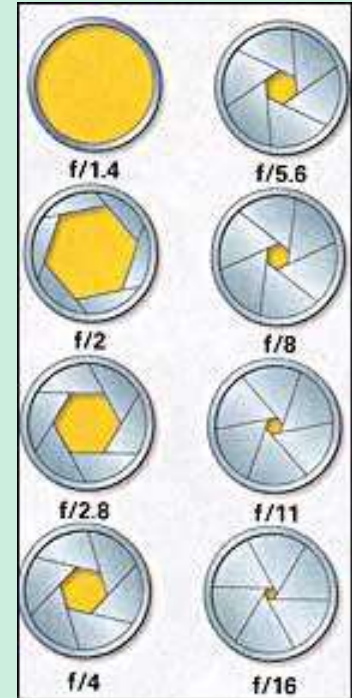


Poca luz, alta sensibilidad

- Realmente, los **cuatro factores** no son contradictorios, sino que están presentes a la vez en todos los sistemas fotográficos:
 - **Tamaño de apertura** (o **abertura del diafragma**).
 - **Tiempo de exposición** (o **velocidad de obturación**).
 - **Sensibilidad de los fotodetectores** (o **valor ISO**).
 - **Óptica utilizada** (sistema de lentes). Dos funciones:
 - **Enfoque**: su ajuste, junto con la apertura, determina la **profundidad de campo**.
 - **Aumento (zoom)**: establece el **ángulo de visión** y la **distancia focal**.
- Los distintos elementos se ajustan para conseguir **dos objetivos**:
 - Que entre la cantidad de **luz suficiente**.
 - Que los objetos de interés estén **enfocados**.

Abertura del diafragma

- El **diafragma** es una imitación del iris de un ojo humano.
- La apertura se expresa en **relación a la constante f**. Típico entre **f/1,4** y **f/64**.
- Cuanto menor es la apertura, más **profundidad de campo** pero entra menos luz. El **pinhole** sería **f/GRANDE**.



f/32



f/5



Velocidad de obturación

- Es el **tiempo** durante el cual se deja pasar la luz al fotodetector.
- Se mide en **segundos**. Normalmente entre $1/8000$ y 30 segundos. Lo habitual en fotografía es $\sim 1/125$ s.
- Junto con la apertura, determina la **cantidad de luz que entra**.
- Otro problema es el **movimiento**. Si el tiempo es muy grande, la imagen puede aparecer movida.
 - Objetos que se mueven rápido en condiciones normales.
 - Movimiento involuntario en escenas nocturnas u oscuras.

Sensibilidad de los fotodetectores

- En fotografía **analógica**, está relacionada con la **composición y grosor de la película: estándares ISO**.
- Clasificados según el nivel de sensibilidad. Desde 3200 ISO (muy sensible) hasta 50 ISO (poco sensible).
- Cuanto más sensible, más ruido (efecto de **granularidad**).
- En fotografía **digital**, la sensibilidad está relacionada con la **ganancia** (voltios por fotón). Se hace un equivalente ISO.



ISO 80



ISO 400



ISO 800



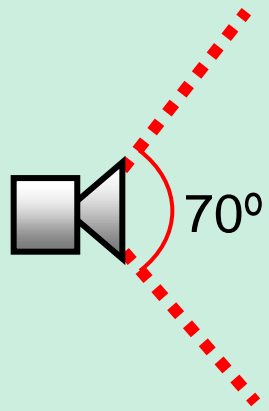
ISO 1600

Óptica de enfoque

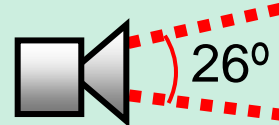
- Junto con el tamaño de apertura determina la **profundidad de campo**. Cuanto más amplia mejor.
- La p.c. es un **rango** definido por dos valores: la distancia más próxima enfocada y la más lejana.
- Suele estar entre unos pocos centímetros (**modo macro**) e infinito (paisajes, astronomía, etc.).
- **Tipos de sistemas** de enfoque:
 - **Enfoque fijo** (sin lentes de enfoque): cámaras pinhole, video-vigilancia,..., no muy habitual.
 - **Enfoque manual**: controlado por el usuario.
 - **Enfoque automático**: requiere un motor y una lógica de control. Normalmente basado en el punto central.

Óptica de aumento (zoom)

- Los conceptos de **aumento**, **zoom**, **campo visual** y **distancia focal** están estrechamente relacionados entre sí.
- **Campo visual**: cantidad (angular) de una escena que aparece visible en la imagen.
- Se distingue entre **gran angular** (ángulo grande, $>60^\circ$) y **teleobjetivo** (ángulo pequeño, $<30^\circ$).



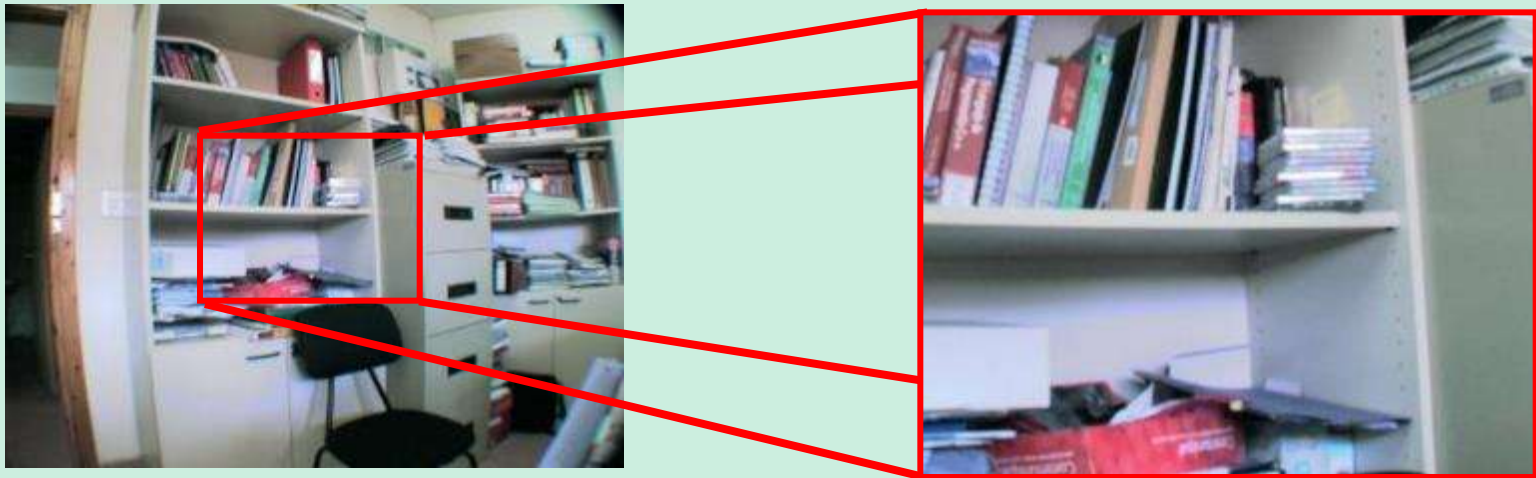
Gran angular



Teleobjetivo

- **Zoom (aumento):** relación (cociente) entre el máximo y el mínimo ángulo de visión.
- **Ejemplo.** Máximo 70° , mínimo 26° .
 $\text{Zoom} = 70/26 = 2,7x$

Aumento de 2,7x



- **Tipos:** zoom analógico y digital.
- El **zoom analógico** se consigue modificando (desplazando) el sistema de lentes, haciendo que disminuya el campo visual.



Ejemplo. Aumento de 25x

- El **zoom digital** es un simple proceso, a posteriori, de **interpolación**. El zoom digital no mejora la información ni la calidad de las imágenes. Más bien al revés.
- **Ejemplos.**



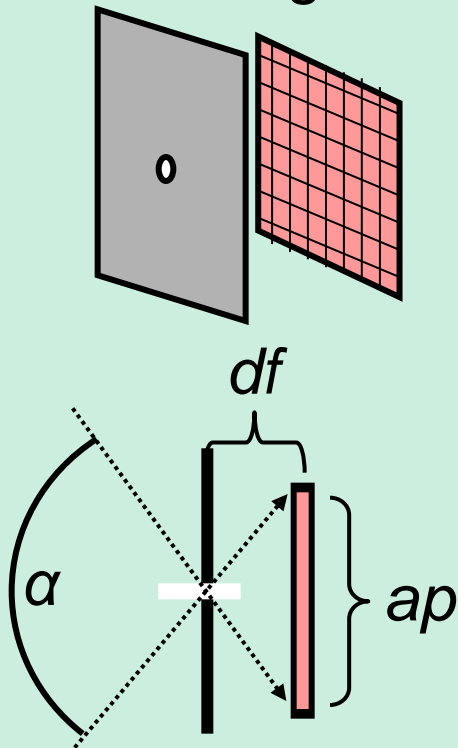
Con zoom digital



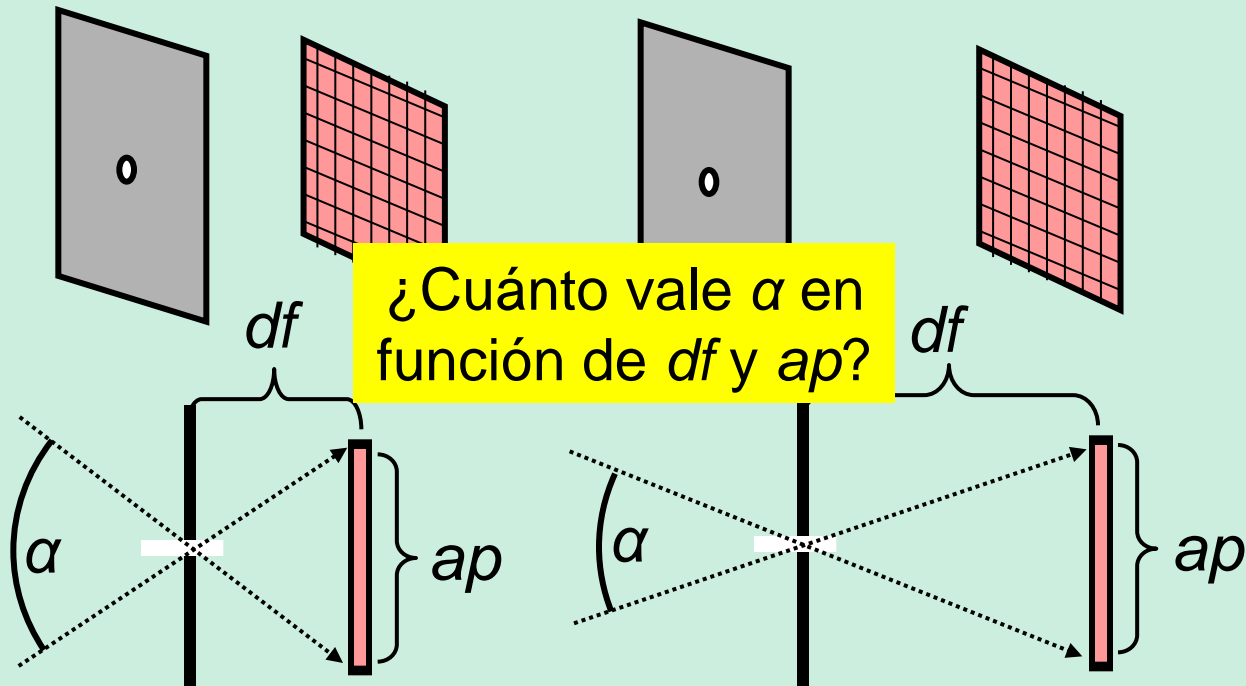
Con zoom óptico

- El **ángulo de visión** y el **zoom** están estrechamente relacionados con la distancia focal.
- **Distancia focal:** distancia entre la apertura y el plano de imagen. Cuanto mayor distancia focal, menor ángulo de visión y más zoom, y viceversa.

Gran angular



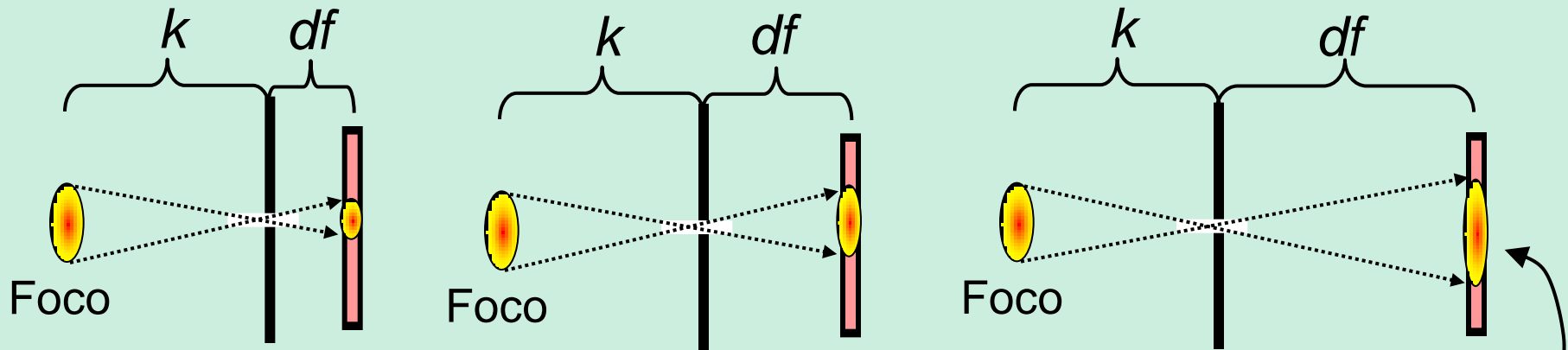
Teleobjetivo



$$\alpha = 2 \cdot \arctan (ap/2df)$$

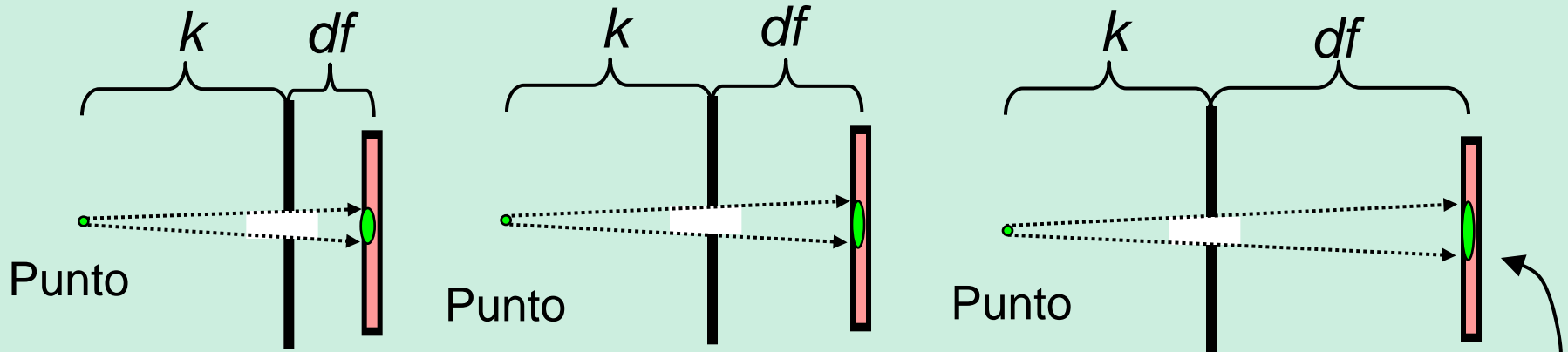
- En analógico, la distancia focal se mide en **milímetros**. El plano de imagen suele ser película de 35 mm ($ap = 35$ mm).
- Ángulos de visión según la distancia focal:
 - **Gran angular** $df < 35$ mm $\rightarrow \alpha > 2 \arctan(35/70) = 53,1^\circ$
 - **Teleobjetivo** $df > 70$ mm $\rightarrow \alpha < 2 \arctan(35/140) = 28,1^\circ$
 - El equivalente del **ojo humano** es de unos 45° .
- En fotografía digital, se debería medir en **píxeles**... pero se mide también en mm. Por lo tanto, es necesario conocer el ancho del chip CCD.
- El zoom sirve para **acercar los objetos lejanos**, pero...
- ¿Qué ocurre si hacemos un zoom al mismo tiempo que alejamos la cámara? \rightarrow El efecto **zoom de Hitchcock**.

- **Ojo:** la distancia focal también influye en la cantidad de luz entrante y en la profundidad de campo.
- **Cantidad de luz:** a menor distancia focal, entra más luz.



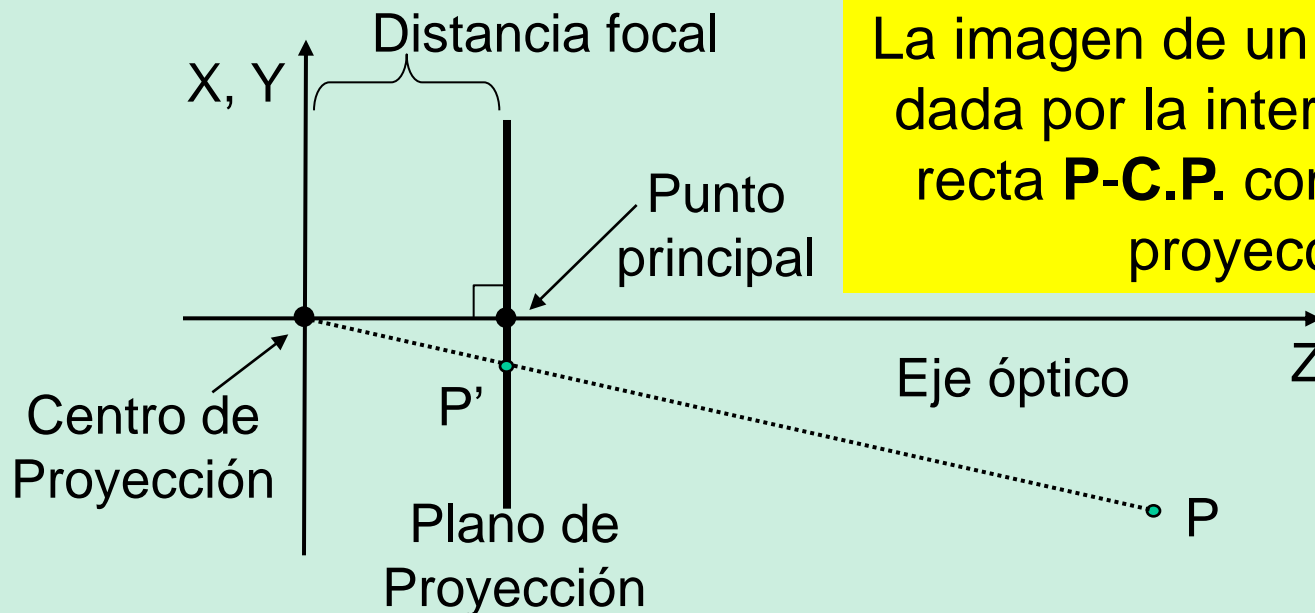
Razón: la misma cantidad de luz se distribuye en un espacio mayor

- **Profundidad de campo:** mejor enfoque con un gran angular.



Razón: a igual distancia aumenta el tamaño del círculo de confusión

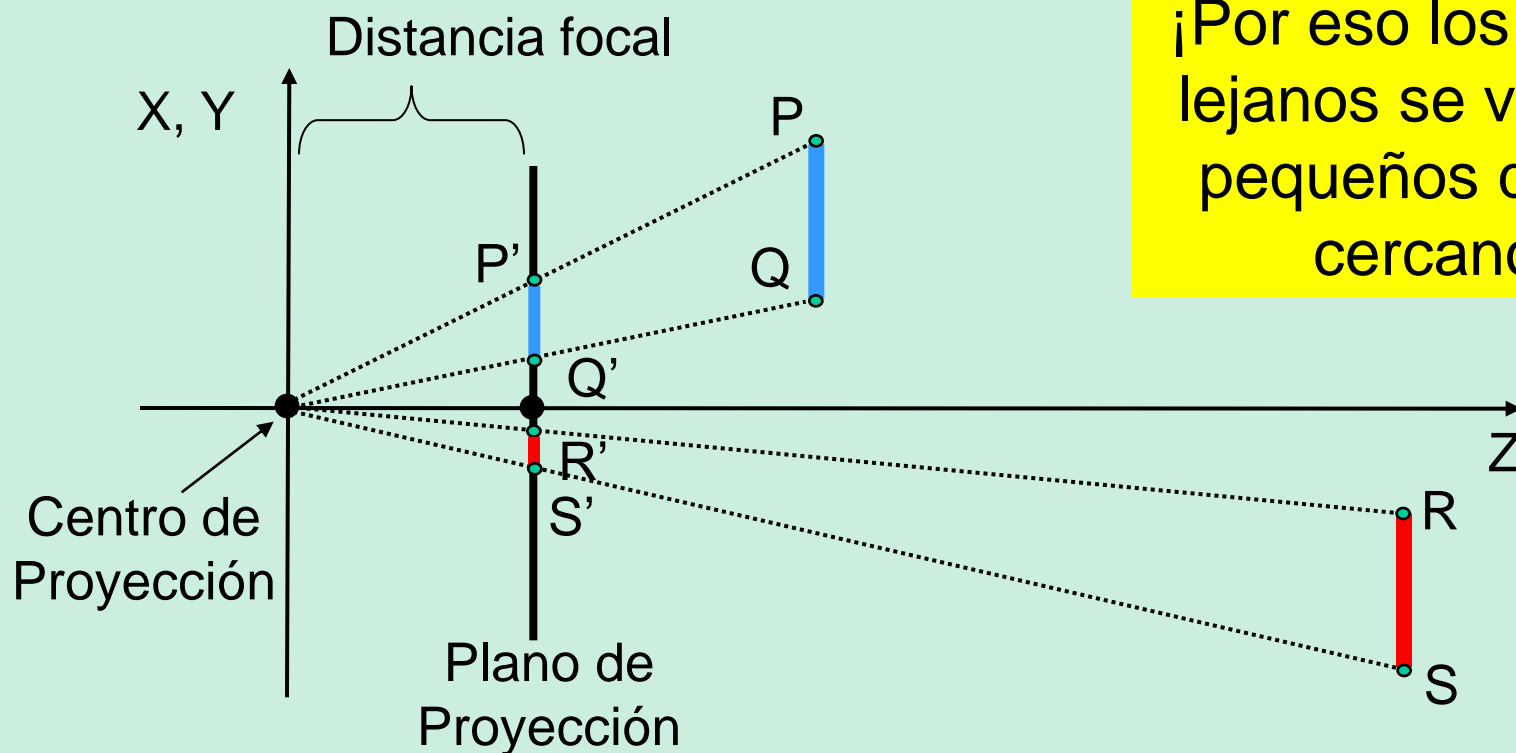
- Matemáticamente, el proceso de formación de imágenes es modelado como una **proyección perspectiva**.
- **Elementos del modelo** de proyección perspectiva:
 - **Centro de proyección** (equivale a la apertura del *pinhole*).
 - **Plano de proyección** (plano de la imagen).



La imagen de un punto **P** viene dada por la intersección de la recta **P-C.P.** con el plano de proyección.

- Si el centro de proyección es el punto $(0, 0, 0)$ y la distancia focal es 1, y el punto principal $(0, 0, 1)$, la proyección en la imagen de un punto $\mathbf{P} = (x, y, z)$ será:

$$(u, v) = (x/z, y/z)$$



¡Por eso los objetos lejanos se ven más pequeños que los cercanos!

- Pero el modelo proyectivo no es completo. No explica algunos fenómenos como el **desenfoque**, la **distorsión radial** y las **aberraciones cromáticas**.

Conclusiones:

- El proceso de formación está en la “**parte analógica**” del ámbito de procesamiento de imágenes.
- Para nosotros las imágenes serán simples **matrices de números**, pero...
- Es importante conocer los **elementos, factores y parámetros** que intervienen en los dispositivos de captura.
- Por suerte (o por desgracia), muchas cámaras **no permiten ajustar** los parámetros, lo hacen automáticamente.

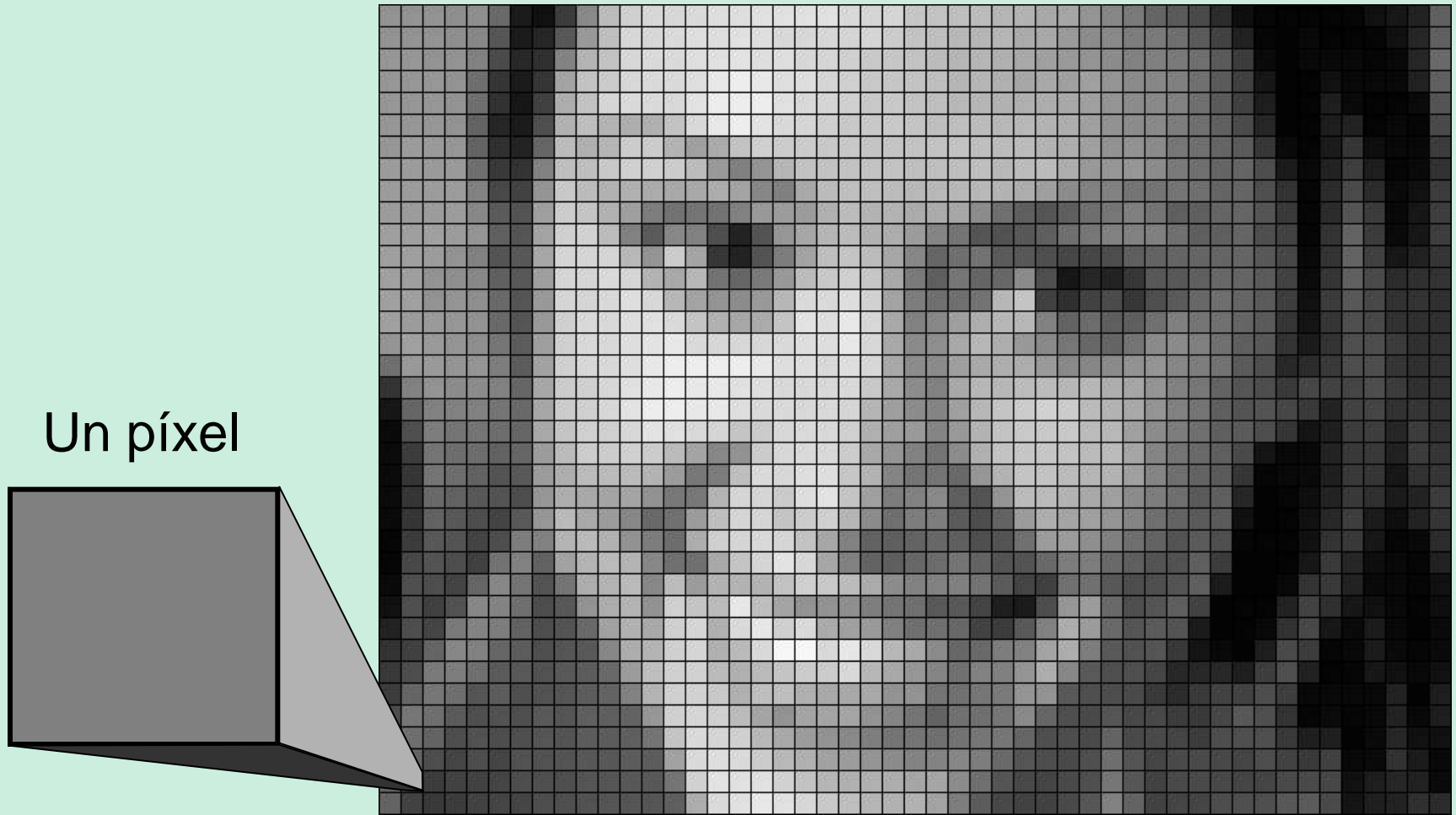
Representación de imágenes digitales.

- Una **imagen digital** es una matriz, o array bi-dimensional, de números.
- Cada celda de la matriz es un **píxel**.
- **Ejemplo.** Imagen de 20x15.



90	67	68	75	78	98	185	180	153	139	132	106	70	80	81	69	69	67	35	34
92	87	73	78	82	132	180	152	134	120	102	106	95	75	72	63	75	42	19	29
63	102	89	76	98	163	166	164	175	159	120	103	132	96	68	42	49	46	17	22
45	83	109	80	130	158	166	174	158	134	105	71	82	121	80	51	12	50	31	17
39	69	92	115	154	122	144	173	155	105	98	86	82	106	83	76	17	29	41	19
34	80	73	132	144	110	142	181	173	122	100	88	141	142	111	87	33	18	46	36
37	93	88	136	171	164	137	171	190	149	110	137	168	161	132	96	56	23	48	49
66	117	106	147	188	202	198	187	187	159	124	151	167	158	138	105	80	55	59	54
127	136	107	144	188	197	188	184	192	172	124	151	138	108	116	114	84	46	67	54
143	134	99	143	188	172	129	127	179	167	106	118	111	54	70	95	90	46	69	52
141	137	96	146	167	123	91	90	151	156	121	93	78	82	97	91	87	45	66	39
139	137	80	131	162	145	131	129	154	161	158	149	134	122	115	99	84	35	52	30
137	133	56	104	165	167	174	181	175	169	165	162	158	142	124	103	67	19	31	23
135	132	65	86	173	186	200	198	181	171	162	153	145	135	121	104	53	14	15	33
132	132	88	50	149	182	189	191	186	178	166	157	148	131	106	78	28	10	15	44

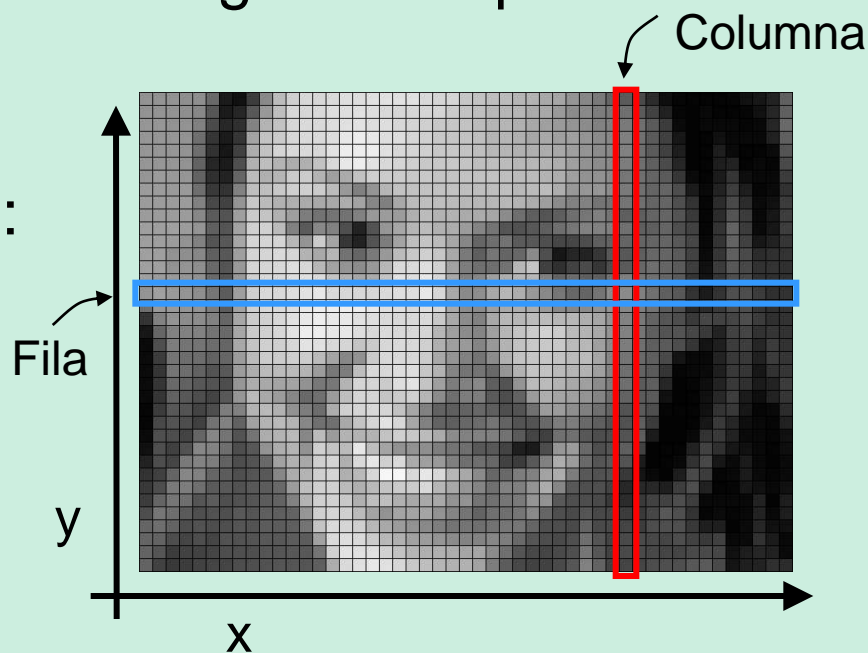
- Una forma más común de visualizar una imagen...



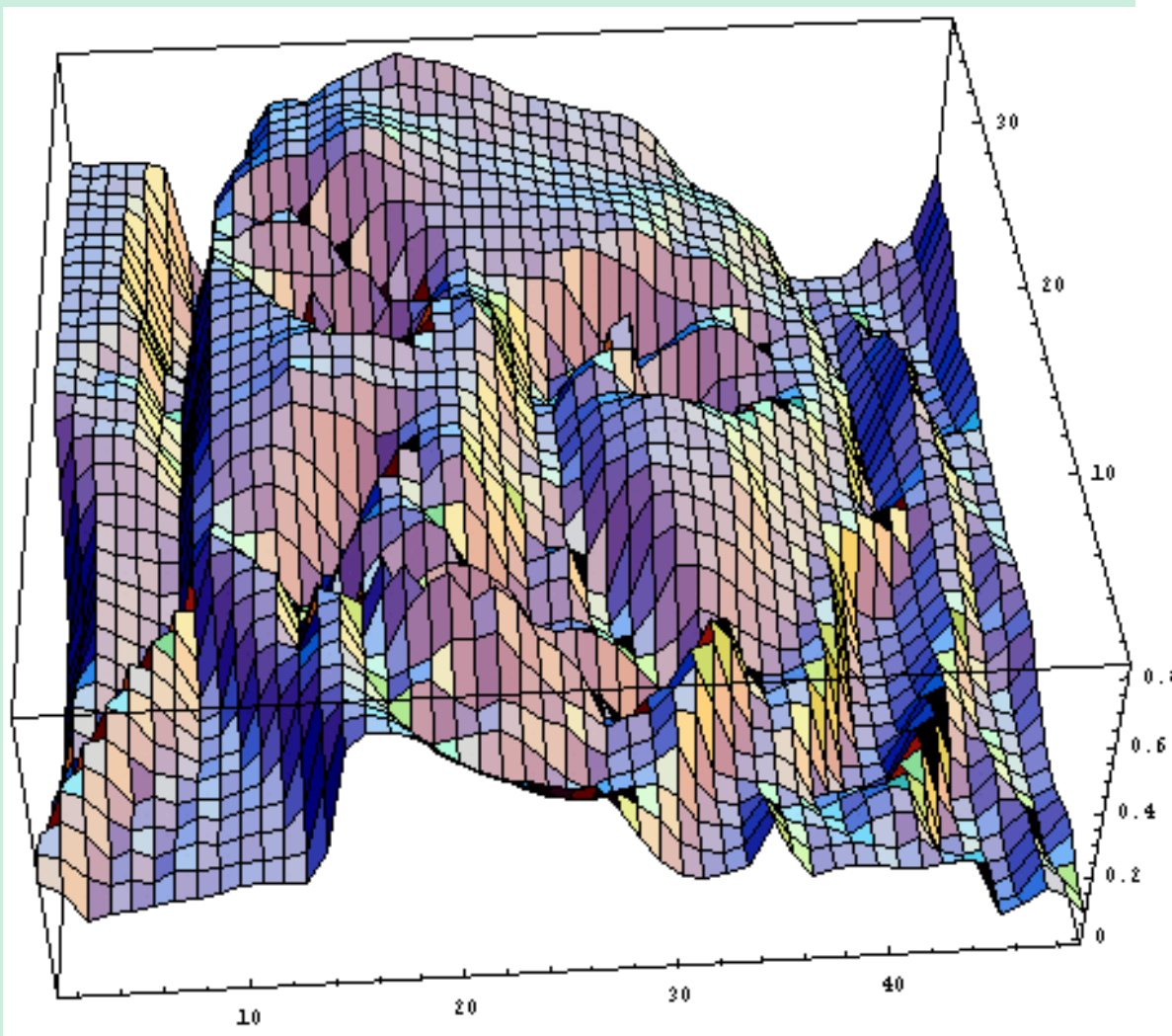
Un poco de nomenclatura

- N° de columnas de la matriz: **ancho** de la imagen (*width*).
- N° de filas de la matriz: **alto** de la imagen (*height*).
- Eje horizontal: **eje x**.
- Eje vertical: **eje y**.
- Normalmente el tamaño de la imagen se expresa como: **ancho x alto**

- **Ejemplo.** Tamaños típicos:
320x240, 640x480,
800x600, 1024x768, ...



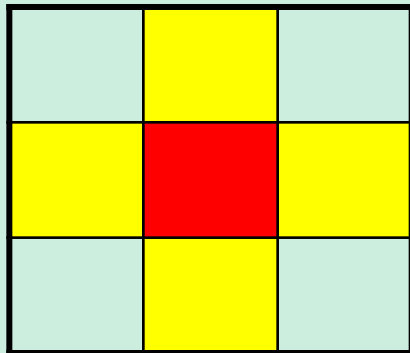
- Otra posible forma de visualizar la imagen...



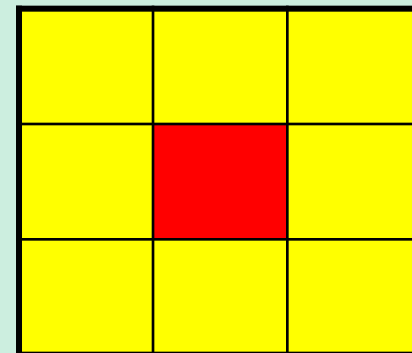
Una imagen se puede interpretar como una superficie bidimensional.

Una imagen digital es un muestreo discreto de la señal continua.

- **Vecindad, proximidad:** en una imagen, los píxeles próximos tienen una “*relación más estrecha*” entre sí que los lejanos. → Diferencia respecto a una matriz en sentido genérico.
- Por ejemplo, se espera que los valores de dos píxeles próximos sean más o menos *parecidos*.
- Tiene sentido definir la **vecindad** de un píxel y la **distancia** entre dos píxeles.



Vecindad a 4



Vecindad a 8

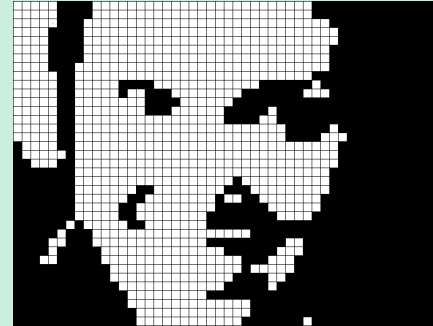
- Supondremos un acceso indexado a los píxeles: si **i** es una imagen, **i(x, y)** será el valor del píxel en la columna **x**, fila **y**.
- Pero, ¿qué indica el valor de un píxel?
- Cada píxel representa el valor de una **magnitud física**.
 - Cantidad de **luz** en un punto de una escena.
 - Valor de **color** (cantidad de radiación en la frecuencia del rojo, verde y azul).
 - Nivel de **radiación** infrarroja, rayos X, etc. En general, cualquier radiación electromagnética.
 - **Profundidad** (distancia) de una escena en una dirección.
 - Cantidad de **presión** ejercida en un punto.
 - Nivel de **absorción** de determinada radiación.
 - Etcétera, etcétera.

¿De qué tipo de datos es cada celda de la matriz?

- **Imagen binaria:**

1 píxel = 1 bit

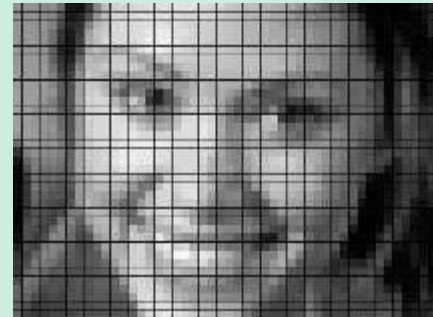
- 0 = negro; 1 = blanco



- **Imagen en escala de grises:**

1 píxel = 1 byte

- Permite 256 niveles de gris
- 0 = negro; 255 = blanco



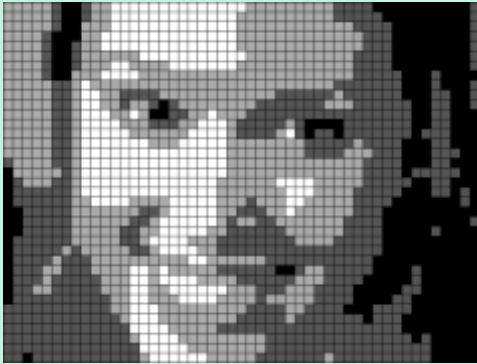
- **Imagen en color:**

1 píxel = 3 bytes

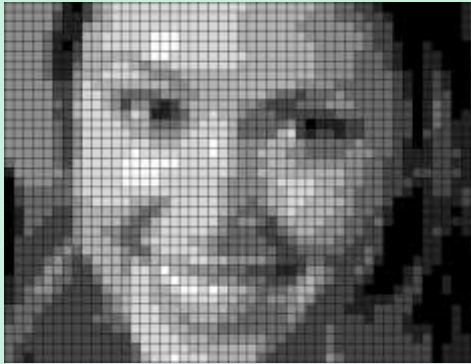
- Cada píxel consta de 3 valores:
(Rojo, Verde, Azul)
- Un byte por color
- 16,7 millones de colores posibles



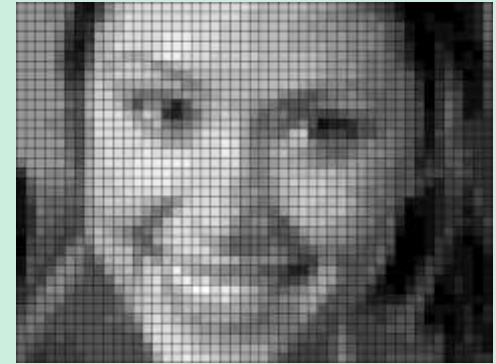
- Pero no limitado a... existen *infinitos* tipos posibles.
- Un nivel de gris, o un color, se puede representar con más o menos bits: **profundidad** de color (*depth*).



2 bits por píxel



3 bits por píxel



4 bits por píxel

- **Hi-color:** método reducido para representar colores
1 píxel = 2 bytes
 - 5 bits por cada color (Rojo, Verde, Azul)
- **Imágenes en punto flotante:** útiles en procesos intermedios
1 píxel = 1 float o un double

Imágenes multicanal:

- Cuando los píxeles representan magnitudes en distintos dominios físicos, decimos que la imagen es **multicanal**.
- **Ejemplo.** Imagen en color → Imagen con 3 canales: canal R (rojo), canal G (verde), canal B (azul).



Canal R



Canal G



Canal B

Imágenes multicanal:

- **Ejemplo.** RGBA → Imagen RGB más canal Alfa. El canal Alfa representa el nivel de transparencia del píxel.
- **Ejemplo.** En algunas aplicaciones (p.ej., imágenes de satélite, visión nocturna) suelen usarse canales para frecuencias no visibles, infrarrojo, ultravioleta, etc.



Almacenamiento de imágenes digitales

- **Cuestión 1:** ¿Cuál es el origen de coordenadas y el orden de las filas?
 - **Top-left:** el píxel $i(0, 0)$ es la esquina superior izquierda. → Suele ser el más habitual.
 - **Bottom-left:** el píxel $i(0, 0)$ es la esquina inferior izquierda. → Usado en algunos formatos (p.ej. BMP).
- **Cuestión 2:** ¿Cómo se almacenan los distintos canales?
 - **Entrelazado** (*interleaved, pixel order*): $R_0, G_0, B_0, R_1, G_1, B_1, R_2, G_2, B_2, \dots, R_n, G_n, B_n$.
 - **No entrelazado** (*non-interleaved, plane order*): $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n, G_0, G_1, G_2, \dots, G_n, B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$.

Resumen

- **Parámetros de una imagen digital:**
 - Ancho y alto.
 - Número de canales y significado de cada uno.
 - Número de bits por píxel y canal (*depth*).
 - Origen de coordenadas y modo de almacenamiento multicanal.
- **Resolución espacial:** tamaño de la imagen.
- **Resolución fotométrica:** profundidad de color.
- **Resolución temporal:** aplicable en vídeos.