

OPTICA CLINICA

Prof. Dr. José Espíldora, Dr. René Moreno N.

El proceso fundamental en óptica es la formación de imágenes por los sistemas ópticos. Los sistemas ópticos pueden ser lentes, espejos y prismas.

Los rayos luminosos emanados de un objeto divergen en todas direcciones. Algunos de estos rayos entran al sistema óptico del ojo, que cambia la vergencia de los rayos por un proceso llamado refracción.

Sea que los rayos vengán divergiendo de un objeto situado cerca, o vengán paralelos de un objeto considerado en el infinito óptico, al entrar al sistema óptico del ojo se produce convergencia. El punto en que se unen todos los rayos emanados del sistema óptico se llama imagen (Fig 1).

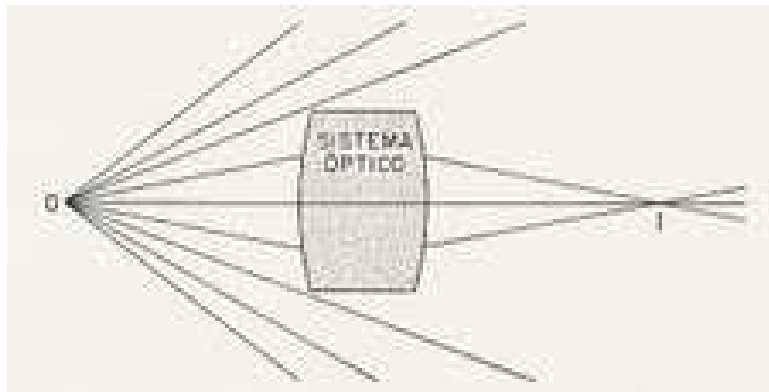


Figura 1

El grado de vergencia se mide en dioptrías, sea ésta divergencia o convergencia. Por otra parte, la vergencia de un haz de rayos luminosos puede ser cambiada por un lente. Si el lente cambia la vergencia de los rayos en una dioptría, el poder de ese lente es de una dioptría.

Si el objeto está en el infinito, los rayos son paralelos y su vergencia es de 0. Si esos rayos encuentran una lente convexa que los hace converger y forman una imagen a 1 metro (1 m) de la lente, se dice que esa lente tiene un poder de 1 dioptría (1 D). La vergencia de los rayos ha cambiado de 0 a 1. (Fig 2).

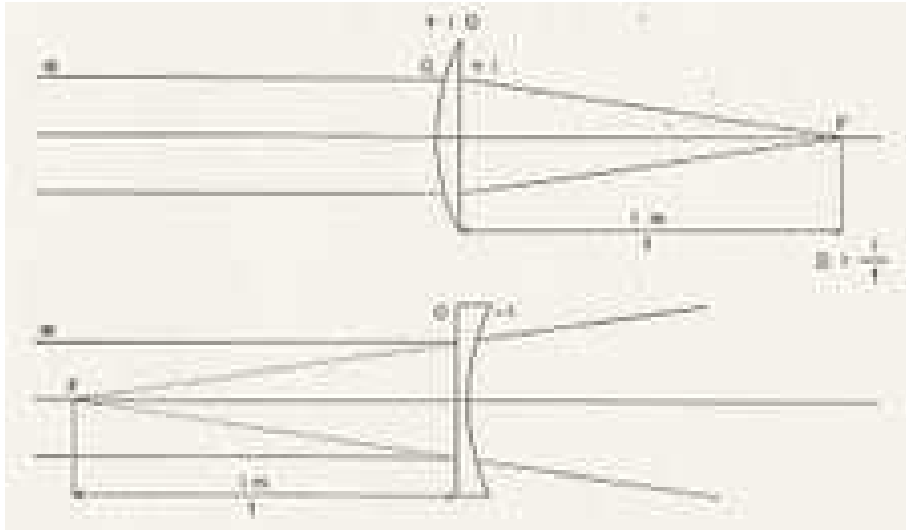


Figura 2

La imagen de un objeto situado en el infinito se llama el foco principal de la lente; la distancia entre el lente y su foco se denomina distancia focal. Si el lente cambia la vergencia de 0 a +1 D, la distancia focal será de 1 m. y la lente tiene +1 D. Si el lente cambia la vergencia de 0 a +2 D, la distancia focal será de 50 cm. (0,5 m.) y la lente tiene +2 D. La fuerza de un lente, expresada en dioptrías es el valor recíproco de la distancia focal expresada en metros.

$$D = 1 / f$$

Donde D es el poder o la fuerza del lente expresado en dioptrías; y f, la distancia focal expresada en metros.

Si un haz de rayos paralelos se encuentra con un lente cóncavo, su vergencia será modificada en proporción al valor dióptrico de la lente; los rayos divergen y no se encuentran, pero parecen venir de un punto que es el foco de la lente y que se obtiene prolongando los rayos divergentes. La ubicación de este foco virtual se determina de la misma manera que en los ejemplos anteriores, pero acá se usa signo negativo (-). Si el lente cambia la vergencia de 0 a -1 D, la distancia focal será de 1 m., y la lente tiene -1 D. Si el lente cambia la vergencia de 0 a -2 D, la distancia focal será de 50 cm. (0,5 m.) y la lente tiene -2 D.

Un rayo de luz que incide oblicuamente sobre el ojo es refractado por la superficie anterior y posterior de la córnea. Pasa seguidamente a la cámara anterior y es refractado por la superficie anterior del cristalino y luego por cada una de sus superficies de discontinuidad. Después de salir del cristalino, el rayo cruza el vítreo y alcanza la retina.

El estado de emetropía revela una relación adecuada entre el poder dióptrico del ojo y su longitud axial. Es así como en el ojo emétrepe, los rayos de luz paralelos hacen foco en la retina, estando el ojo relajado, sin acomodación.

Cuando el ojo relajado, o sin acomodar, es incapaz de llevar los rayos paralelos a hacer foco en la retina, la condición es referida como ametropía.

El globo ocular normal tiene dimensiones establecidas por estudios anatómicos y ecográficos. Para los efectos de los fenómenos ópticos que en él se desarrollan, la dimensión que más interesa es su largo axial o eje anteroposterior. El largo axial desde la córnea hasta la retina del polo posterior en la región de la mácula es de alrededor de 24 mm. en el ojo adulto normal.

El ojo tiene estructuras transparentes con poder óptico. La córnea actúa como un lente, que es el de mayor poder óptico del ojo y tiene en promedio 43 dioptrías. El cristalino en estado de reposo tiene unas 19 dioptrías, pero en virtud de su gran elasticidad para acomodarse, aumentando su curvatura, por efecto del músculo ciliar, puede llegar a tener un poder de 33 dioptrías. Ambas estructuras, córnea y cristalino, actúan como lentes convergentes de los rayos luminosos reflejados por los objetos del mundo exterior y permiten que estos rayos converjan y formen su foco en la retina cuando éstos están situados en el infinito. Este proceso es pasivo, es decir, no exige del ojo normal, sin vicios de refracción, ningún mecanismo de acomodación. Así ocurre en el ojo normal o emétrepe, en el que es indispensable que exista una cierta proporcionalidad entre la longitud axial del ojo y el poder óptico de la córnea y el cristalino. La alteración de cualquiera de estos parámetros conduce a los distintos vicios de refracción, es decir, que las imágenes del mundo exterior situadas en el infinito, no se van a formar en la retina, sino por detrás o por delante de ella. El infinito teórico está a 6 metros o más del ojo, distancia a la que se suele tomar la agudeza visual de lejos.

Si los objetos situados en el espacio se acercan al ojo a menos de 6 metros, la imagen se aleja de la retina, desplazándose hacia atrás y se desenfoca. Para mantener la imagen del objeto en la retina, mediante ciertos reflejos el ojo desencadena un mecanismo de acomodación que se lleva a cabo a nivel del cristalino. Este aumenta su curvatura gracias a su gran elasticidad, aumentando su poder de convergencia. Este efecto se logra por la contracción del músculo ciliar perteneciente al cuerpo ciliar, que forma un anillo alrededor del cristalino. Desde los procesos ciliares pertenecientes también al cuerpo ciliar, emergen los filamentos que forman la zónula, que rodean circunferencialmente al cristalino y se adhieren a éste en su zona ecuatorial, siendo un verdadero ligamento suspensorio del cristalino. Al contraerse el músculo ciliar, el anillo reduce su diámetro, la zónula se pone laxa y el cristalino se abomba. Al aumentar su curvatura aumenta su poder de convergencia y devuelve la imagen o el foco a la retina recuperando su nitidez. Este proceso es el reflejo de acomodación mediado por el sistema parasimpático. La máxima expresión de este reflejo se manifiesta en la lectura de cerca, que no es pasiva y que por depender de una contracción muscular puede producir fatiga. La capacidad de acomodación disminuye progresivamente desde que nacemos hasta alrededor de los 65 años, y cerca de los 45 años, en el ojo normal, afecta la distancia de lectura, fenómeno conocido como presbicia.

Como decíamos previamente, cuando un ojo con el cristalino en estado de reposo, no contraído, enfoca los rayos paralelos provenientes del infinito óptico exactamente en la retina, hablamos de un ojo emétrepe. Si se pierde o altera esa determinada proporcionalidad entre el largo axial del ojo y el poder dióptrico de la córnea y cristalino hablamos de un ojo amétrepe, es decir, existe un vicio de refracción.

Para considerar los estados refractivos del ojo, podemos usar alguno de los siguientes conceptos:

Concepto del punto focal: La localización de la imagen formada por un objeto en el infinito óptico a través de un ojo que no está acomodando determina el estado refractivo del ojo. Los objetos que se enfocan anterior o posterior a la retina forman una imagen borrosa en la retina, mientras que los objetos que se enfocan en la retina forman una imagen nítida.

Concepto del punto lejano: El punto lejano es el punto en el espacio que es conjugado con respecto a la fovea del ojo que no está acomodando. Es así como el punto lejano es donde la fovea se transformaría en imagen, si las ópticas fueran reversas y la fovea se transformara en el objeto.

Emetropía es el estado refractivo en el cual los rayos paralelos de luz provenientes de un objeto distante son traídos a foco en la retina, en un ojo que no está acomodando. (fig 3A). El punto lejano del ojo emétrepe está en el infinito, y el infinito está conjugado con la retina.(fig 3B).



Figura 3 A

Figura 3 B

Ametropía se refiere a la ausencia de emetropía y puede ser clasificada por la etiología presuntiva como axial o refractiva. En la ametropía axial, el globo ocular es inusualmente largo (miopía) o corto (hipermetropía). En la ametropía refractiva (o de índice refractivo), el largo del ojo es estadísticamente normal, pero el poder refractivo del ojo (córnea y/o cristalino) es anormal, pudiendo ser excesivo (miopía) o deficiente (hipermetropía). La afaquia o ausencia de cristalino, es un ejemplo de hipermetropía refractiva extrema a menos que el ojo haya sido extremadamente miope (> 20 D) antes de la remoción del cristalino. Un ojo amétrepe requiere lentes convergentes, si es hipermétrope; o divergentes, si es miope, para llevar la imagen de un objeto distante a la retina.

Cabe destacar que un ojo miope puede enfocar una imagen cercana sin necesidad de utilizar el mecanismo de acomodación, por ello los miopes tienen en general muy buena visión de cerca. Por otra parte un ojo hipermetrope podría enfocar un objeto lejano, pero utilizando su acomodación, llevando así la imagen de detrás de la retina hacia ella, por ello los hipermetropes mantienen en general una buena visión de lejos, mientras conserven buena acomodación. Este mecanismo no sirve en el ojo miope, pues si acomoda empeora la condición llevando la imagen aún más lejos de la retina hacia el interior del ojo.

Ametropías o Vicios de Refracción

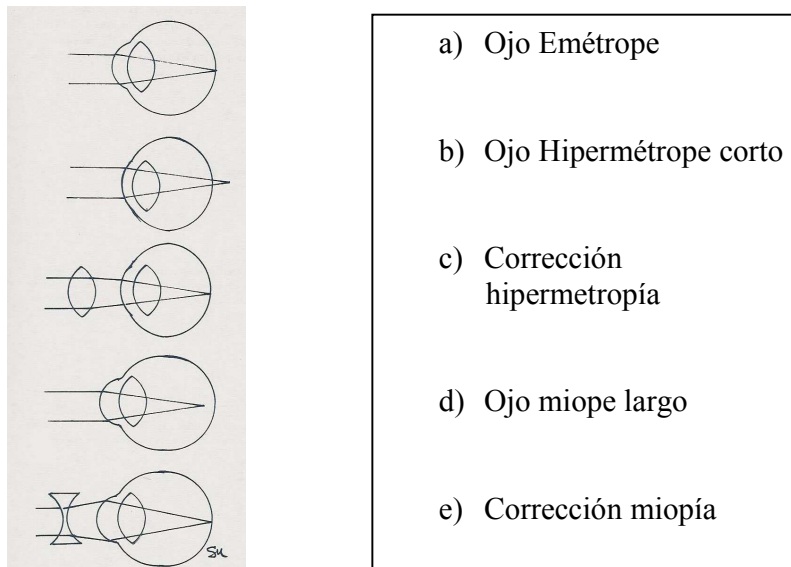


Figura 4

Ojo Normal o Emétrepe: Para que el enfoque sea normal. Se requiere una potencia óptica corneal, cristalina, y largo axial del globo, armónicos o proporcionales entre sí, de tal forma que el conjunto de estos factores logren una imagen enfocada en el plano retineano.

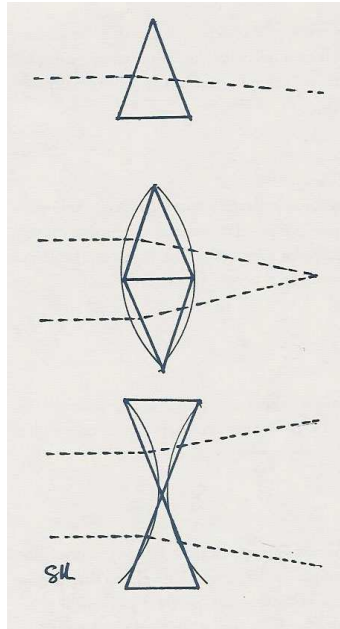
Hipermetropía: Un eje axial ántero-posterior corto, o menos frecuente, una córnea muy plana provoca un enfoque inadecuado posterior al plano retineano.

Corrección óptica: Una lente biconvexa, convergente, “plus”, o “positiva”, logrará anticipar la convergencia de los rayos luminosos, logrando el enfoque adecuado en el plano retineano.

Miopía: Un globo con eje axial ántero-posterior largo, o una córnea muy curva, o un cristalino con mucho poder refractivo o hiper-refringente, provocan un enfoque inadecuado anterior al plano retineano.

Corrección óptica: Una lente biconcava, divergente, “minus”, o “negativa”, logrará una divergencia de los rayos luminosos, previa al globo ocular, logrando el enfoque adecuado en el plano retineano.

Algunos conceptos de lentes:



- a) Prisma desvía rayos hacia su base
- b) Dos prismas unidos por su base provoca convergencia de rayos como si fuese lente plus
- c) Dos prismas unidos por su vértice provocan divergencia de rayos como si fuese lente minus

Figura 5

Prisma: Se caracteriza por desviar el rayo luminoso hacia su base.

La lente biconvexa, convergente, plus o positiva, se estima constituida por dos prismas unidos por sus bases; de ahí se explica su poder óptico convergente.

La lente biconcava, divergente, minus o negativa, se estima constituida por dos prismas unidos por sus vértices; de ahí se explica su poder óptico divergente.

Miopía

Se caracteriza la mayor parte de las veces porque el ojo es más largo de lo normal (recordar que también pueden ser refractivas, con ojo de longitud normal), y las imágenes se forman por delante de la retina, en el vítreo. De ese foco preretinal emergen rayos divergentes hacia la retina, dispersos, que al atravesarla, forman cada uno de ellos círculos de difusión que muestran, en conjunto una imagen borrosa o desenfocada.

Para corregir esta situación existen lentes biconcavas o divergentes llamadas también negativas que, puestas delante del ojo, producen la divergencia de los rayos, y van a trasladar la imagen o foco hasta la retina. El vicio de refracción se expresa en dioptrías. Una dioptría corresponde a una lente cuyo foco se encuentra a un metro de su centro óptico. Hay miopías desde -0.5 , y pueden llegar a más de -20 dioptrías de acuerdo a la potencia dióptrica de la lente que logra enfocar la imagen en la retina.

Hipermetropía.

Generalmente se produce cuando el ojo es corto, es un ojo pequeño. Los rayos luminosos forman su foco por detrás de la retina. Estos rayos atraviesan dispersos la retina dando una imagen borrosa. En los niños y jóvenes, que tienen una gran capacidad de acomodación esta hipermetropía puede compensarse mediante el reflejo de la acomodación, y al aumentar el poder de convergencia del cristalino, la imagen logra formarse en la retina y así, sin necesidad de una lente antepuesta, puede lograrse una imagen nítida y una visión de lejos normal. Por eso estos hipermétropes se llaman vulgarmente largos de vista. El hipermetrope de niño o de joven cuando mira un objeto lejano lo puede ver nítido a costa de acomodar su ojo, es como si estuviera leyendo. Esta continua compensación de la hipermetropía mediante el esfuerzo acomodativo produce cansancio, fatiga, cefaleas, a veces mareos e incluso sueño.

Cuando leemos tenemos que converger con nuestros ojos. Esto es también un reflejo, el reflejo de la convergencia. Tanto el reflejo de la convergencia como el de la acomodación se van desarrollando juntos, de manera tal que cuando acomodamos nuestros ojos para la lectura también convergemos. Es por eso que en el niño de 3 o 4 años una hipermetropía importante puede desencadenar un estrabismo convergente rompiéndose el equilibrio sensorio-motor.

La hipermetropía se corrige con lentes biconvexas que son convergentes y que se conocen como lentes plus o positivos. Así ayudamos al cristalino para que concentre, enfoque las imágenes en la retina tanto en visión de lejos como de cerca. El ojo hipermetrope es un ojo pequeño, corto, cuya cámara anterior suele ser más estrecha y esta condición puede predisponerlo, con los años, a desarrollar un glaucoma agudo.

Decíamos que así como hay ametropías axiales las hay también de índice (de índice de refracción) que se deben a cambios en las curvaturas de las superficies o caras de la córnea y el cristalino.

La córnea es un casquete de esfera. Una mayor curvatura de la córnea por menor radio de curvatura, produce una miopía como ocurre en el queratocono. Una córnea plana con mayor radio de curvatura propende a la hipermetropía.

En el caso del cristalino el inicio de una catarata o la hiperglicemia en un diabético, producen alteraciones osmóticas que hidratan excesivamente al cristalino. Este se abomba aumentando así su poder de convergencia por hiperconvexidad y, a pesar de que el ojo sea de largo axial normal, el foco se forma por delante de la retina, generándose una miopía de

índice que, en el caso de la diabetes es reversible al bajar la glicemia. Las cataratas nucleares típicamente producen miopía, por aumentar el índice de refracción del cristalino.

Presbicie

Con los años, el cristalino va perdiendo su gran elasticidad y va perdiendo su capacidad de acomodación por lo que, personas mayores de 45 años, tienen dificultades para leer. Deben ir alejando el libro cada vez más para poder enfocar. El esfuerzo por acomodar puede producir síntomas de astenopia tales como cefaleas, cansancio, somnolencia. Este proceso va progresando a lo largo de los años, y suele detenerse alrededor de los 65 años. La presbicie se corrige con lentes positivos o plus, biconvexos, cuyo poder dióptrico habrá que ir aumentándolo hasta que la presbicie se detenga.

Astigmatismo.

Corresponde a otro vicio de la óptica ocular. Ya hemos descrito la córnea como un casquete de esfera y, como tal, tiene meridianos en los 360° de su circunferencia. Cada uno de estos meridianos tiene un determinado radio de curvatura. A mayor curvatura menor radio de curvatura y vice-versa. En condiciones ideales, para que la córnea no genere un astigmatismo, todos sus meridianos deberían tener igual radio de curvatura. En esta forma los rayos luminosos que la atraviesan tendrán el mismo grado de refracción y al atravesar luego al cristalino serán concentrados para formar todos un solo foco en la retina.

El astigmatismo ($A = \sin$, stigmos = punto) es una condición óptica del ojo en la cual los rayos luminosos provenientes de un objeto no se enfocan en un solo punto, debido a las variaciones en la curvatura de la córnea o del cristalino en los diferentes meridianos. En vez de un foco puntual, se forman 2 líneas focales, provenientes del meridiano más plano y del meridiano más curvo, respectivamente, estando ambos meridianos perpendiculares, es decir separados por 90°.

Cada ojo astigmático puede ser clasificado por las orientaciones y las posiciones relativas de estas líneas focales. Si una línea focal está delante de la retina y la otra está en la retina, la condición se clasifica como astigmatismo miópico simple. Si ambas líneas focales están delante de la retina, la condición se clasifica como astigmatismo miópico compuesto. Si una línea focal está detrás de la retina y la otra está en la retina, el astigmatismo se clasifica como astigmatismo hipermetrópico simple. Si ambas líneas focales están detrás de la retina, el astigmatismo se clasifica como hipermetrópico compuesto. Si una línea focal está delante y la otra detrás de la retina, la condición se clasifica como astigmatismo mixto.

Para corregir los astigmatismos se utilizan lentes llamados cilíndricos, o tóricos, que corresponden a segmentos de un cilindro que tienen fuerza dióptrica en un solo sentido mientras que en el otro eje son neutros y así corrigen sólo el meridiano anómalo. Los astigmatismos suelen ser sintomáticos, incluso algunos de pequeño grado. Al no ser corregidos el paciente se queja de cefaleas y otras molestias llamadas astenópicas.

TIPOS DE ASTIGMATISMO

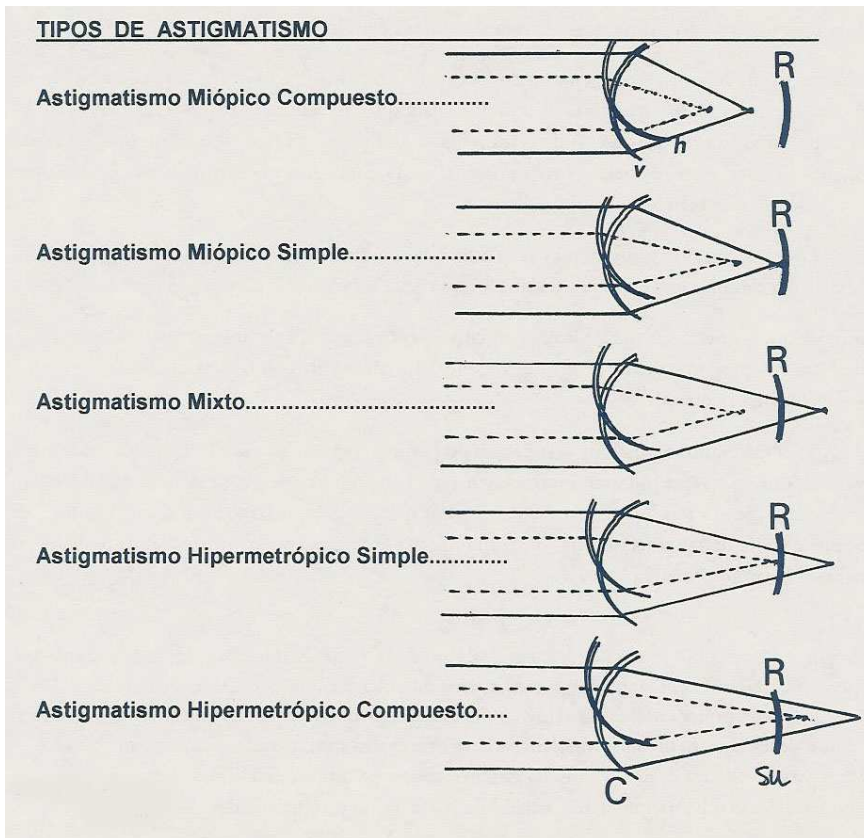


Figura 6

Otros astigmatismos son los irregulares en los que la córnea tiene una anarquía absoluta y multifacética de su curvatura con distorsión de varios meridianos. Estos astigmatismos corresponden a córneas alteradas por heridas penetrantes o cicatrices de procesos ulcerosos profundos en el estroma corneal. También pueden darse astigmatismos irregulares en queratoconos o en pacientes con algunas complicaciones de cirugía refractiva corneal.

Tratamiento de los errores refractivos o vicios de refracción.

La necesidad de corregir los vicios de refracción depende de los síntomas del paciente y de sus necesidades visuales. Pacientes con ametropías bajas pueden no requerir corrección.

Las opciones de corrección de los errores refractivos incluyen anteojos, lentes de contacto o cirugía refractiva. Los variados requerimientos ocupacionales o recreacionales, así como también las preferencias personales afectan las elecciones específicas de un paciente individual.