

Tratamiento binocular de la ambliopía basado en la realidad virtual

Binocular treatment of amblyopia based on virtual reality

Yanet Cristina Díaz Núñez,¹ Yenner Joaquín Díaz Núñez¹¹

¹ Hospital Docente Clínicoquirúrgico "Carlos Manuel de Céspedes". Bayamo, Granma. Cuba.

¹¹ Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad de Granma. Cuba.

RESUMEN

Aunque los tratamientos predominantes de la ambliopía son monoculares, estos tienen poca aceptación y baja efectividad en el restablecimiento de la combinación binocular. Numerosas evidencias apoyan la idea de que la ambliopía es en esencia un problema binocular y que la supresión juega un papel clave. En esta revisión se exponen dos estrategias para el tratamiento binocular de la ambliopía basado en la realidad virtual; la primera con el objetivo primario de mejorar la agudeza visual y la segunda con el propósito de mejorar las funciones binoculares a través de la reducción de la supresión. Este enfoque binocular expone al paciente a condiciones artificiales de visión con estímulos dicópticos en imágenes relacionadas. Los estudios clínicos realizados, tanto en niños como adultos, reportan mejorías de la agudeza visual y la estereopsia en un tiempo muy inferior al requerido por la oclusión. Los resultados clínicos sugieren que un enfoque binocular que combine ambas estrategias puede utilizarse como complemento de los tratamientos clásicos y como alternativa en adultos y niños con historial de tratamientos fracasados o rechazados.

Palabras clave: ambliopía; tratamiento binocular; estímulos dicópticos; realidad virtual.

ABSTRACT

Although predominant amblyopia treatments are monocular, they have poor compliance and low effectiveness in re-establishing binocular combination. There are many evidences supporting the idea that amblyopia is essentially a binocular problem and its suppression plays a key role. This review showed two binocular treatment

strategies of amblyopia based in Virtual Reality. In the first one, the primary goal is to improve visual acuity whereas in the second one the purpose is to improve the binocular functions through reduction of suppression. In this binocular approach, the patient is exposed to artificial vision conditions with dichoptic stimuli in related images. Clinical studies in children and adults have reported improvements of visual acuity and stereopsis in less time than that required by occlusion. Clinical outcomes suggest that a binocular approach with a combination of both strategies can be used as a supplement to classic treatment and as an alternative in adults and children with history of failed or rejected treatments.

Key words: amblyopia; binocular treatment; dichoptic stimuli; virtual reality.

INTRODUCCIÓN

La ambliopía ha sido definida como una disminución de la agudeza visual mejor corregida, aunque también está asociada a disfunciones binoculares que incluyen el deterioro o la ausencia de la estereopsia. Los tratamientos tradicionales de la ambliopía, tales como la oclusión, tienen como objetivo primario mejorar la visión del ojo ambliope y con esto se espera restablecer la visión binocular. Sin embargo, es muy común que esta última no se restablezca una vez corregida la ambliopía y se pierda parte de la mejoría de la agudeza visual como resultado de la supresión del ojo ambliope.¹ La oclusión es el tratamiento más aceptado y extendido de la ambliopía, pero tiene numerosas desventajas: es impopular, de larga duración, provoca un impacto negativo en lo psicológico y emocional, tiene altos costos y puede requerir de atención hospitalaria² o de enseñanza especial. Todo esto provoca frecuentemente poca o ninguna aceptación del tratamiento, con implicaciones significativas en su efectividad.³

En la última década se ha utilizado un enfoque binocular para el tratamiento de la ambliopía con resultados alentadores, sustentado en evidencias sobre la importancia de la exposición binocular en el desarrollo de la visión y del rol primario de las disfunciones binoculares en la génesis de la ambliopía.¹ En estudios con animales se ha podido comprobar que la exposición binocular normal contrarresta episodios de entrada visual anormal y la superioridad de la oclusión a tiempo parcial sobre la oclusión total, a partir de la introducción de periodos diarios de visión binocular.⁴ También hay evidencias de que las disfunciones visuales están localizadas en la corteza visual, la cual mayoritariamente está compuesta por neuronas corticales binoculares.⁵ Por ejemplo, en la ambliopía estrábica se plantea que la pérdida de las funciones visuales tiene una base neuronal⁶ y que la supresión ocurre en la corteza visual.⁷ La idea de la ambliopía como proceso neurológico también es apoyada por reportes sobre la aceleración de la recuperación en animales a partir de la exposición a la oscuridad total⁴ y la mejoría temporal de la sensibilidad de ambliopes adultos al contraste, mediante estimulación magnética transcraneal.⁸

Contrario a lo que se creía, se ha comprobado que si se normaliza la sensibilidad al contraste entre los ojos, los ambliopes estrábricos pueden lograr combinación binocular normal.⁹ Esto indica que los ambliopes sí poseen mecanismo de combinación binocular y que la supresión se manifiesta por la presencia de un desequilibrio de contraste intraocular. Incluso se ha medido la extensión de la diferencia de contraste necesaria para lograr la combinación binocular,¹⁰ lo cual ha permitido desarrollar un método cuantitativo para medir el grado de supresión. La

hipótesis de que la supresión juega un rol primario en la ambliopía es apoyada por estudios que muestran correlación de la supresión con el deterioro de la agudeza visual⁴ y la estereopsia.¹¹

Todos estos resultados sugieren que la ambliopía es en esencia un problema binocular. Por lo tanto, el tratamiento de la ambliopía, contrario a lo que fomentan los tratamientos tradicionales, debería promover la cooperación de ambos ojos y orientarse a la reducción de la supresión para mejorar las funciones binoculares. La mejoría de la agudeza visual del ojo ambliope se espera entonces como consecuencia del nuevo estado binocular. Esta investigación tiene como objetivo exponer las estrategias de tratamiento binocular de la ambliopía basado en la realidad virtual (RV) y presentar los resultados de estudios pilotos.

TRATAMIENTO BINOCULAR BASADO EN LA REALIDAD VIRTUAL

La característica principal de este nuevo enfoque es la utilización de ambos ojos con el objetivo de promover la visión binocular. Su implementación ha sido posible mediante la exposición del paciente a condiciones artificiales de visión, con estímulos dicópticos en imágenes relacionadas. Dos estrategias generales se describen en la literatura consultada: tratamiento binocular interactivo y tratamiento antisupresión; el primero con el objetivo primario de mejorar la agudeza visual y el segundo con el propósito de mejorar las funciones binoculares a partir de la reducción de la supresión. Para aplicar este enfoque binocular, mayoritariamente se han utilizado vídeos clips y videojuegos, por sus potencialidades en actividades de rehabilitación visual y la posibilidad que brindan estos últimos para desarrollar tratamientos activos.

Para lograr la configuración dicóptica se han aprovechado las posibilidades de las tecnologías estereoscópicas. Precisamente se ha utilizado el término RV para caracterizar los sistemas propuestos, por su asociación a este tipo de tecnologías, aunque en la mayoría de los sistemas estas no se utilizan para dar sensación de profundidad. Numerosos aspectos se pueden considerar para seleccionar la tecnología estereoscópica adecuada; quizás en el contexto del tratamiento binocular de la ambliopía, los más importantes sean la diafonía^a y el costo. Algunas investigaciones han propuesto sistemas basados en la tecnología estereoscópica de obturación activa, para adecuar el tratamiento al hogar.¹² Otros estudios han evaluado la técnica anaglifa,² pues es muy fácil de construir y es la más barata. También se ha propuesto la utilización de tecnologías autoestereoscópicas en dispositivos móviles con láminas lenticulares,¹³ para evitar el requerimiento de gafas especiales y lograr que sean menos agotadoras las sesiones de tratamiento.

Este tipo de tratamiento se puede ajustar a pacientes de diferentes edades, por lo cual constituye una alternativa real para los adultos que no recibieron tratamiento durante la infancia o con historial de tratamientos fallidos. Además es muy fácil incluir nuevas aplicaciones a estos sistemas, de forma tal que se puedan ajustar a las habilidades e intereses de los usuarios. Tanto los vídeos clip como los videojuegos pueden, además de las funciones visuales, desarrollar capacidades y habilidades cognitivas en los niños acorde a los grupos de edades. Todo esto garantiza lograr altos niveles de aceptación del tratamiento.

Otra ventaja es el control sobre el contenido, resolución y contraste de las imágenes, así como de la distancia interpupilar y del ángulo de visión para compensar desviaciones.¹⁵ Aunque depende de la tecnología seleccionada, es posible construir sistemas baratos, fáciles de usar y extender, así como adecuados para el uso doméstico. Las tecnologías más baratas son asequibles para las clínicas, las escuelas

de enseñanza especial e incluso para las familias de países subdesarrollados. También constituye una alternativa para los niños que no pueden acceder a escuelas especiales por cuestiones prácticas como lejanía o problemas financieros.

TRATAMIENTO BINOCULAR INTERACTIVO

El objetivo primario de este tratamiento es mejorar la agudeza visual; pero a diferencia de la oclusión, se requiere la cooperación de ambos ojos para completar las actividades terapéuticas. La mejoría de la visión monocular se espera a partir de la estimulación preferencial del ojo ambliope, mediante la presentación, solamente al ojo vago, de los elementos más dinámicos, activos e interesantes de la imagen. Al ojo sano se le muestran los elementos de menor interés y gran parte de la imagen debe presentarse a ambos ojos con el objetivo de favorecer la fusión.

Los sistemas que materializan este tipo de tratamiento han sido acuñados como *I-BiTTM* a partir de un prototipo evaluado por *Waddingham* y otros.¹⁶ Aun cuando los sistemas del tipo *I-BiTTM* promueven la utilización de ambos ojos durante el tratamiento, el restablecimiento o mejoría de las funciones binoculares constituye un objetivo secundario, resultado de la mejoría esperada de la visión monocular. La efectividad de este tratamiento es incierta en pacientes con algún grado de supresión. Aunque no se han descrito explícitamente las estrategias para el tratamiento de pacientes con ambliopía bilateral, ambos ojos pueden recibir rehabilitación alternando el ojo que recibe los estímulos de forma preferencial, en la propia sesión o en sesiones de tratamiento sucesivas. Otra alternativa podría ser presentar un subgrupo de los elementos más importantes y activos a un ojo y el resto al otro, lo cual permitiría estimular al mismo tiempo ambos ojos.

Videos clip

En las actividades con videos clip, el objetivo es promover la utilización del ojo ambliope mediante estimulación central de forma preferencial. La estrategia consiste en dividir la imagen en dos zonas: una central, donde se visualiza realmente el video solamente visible para el ojo ambliope, y una zona exterior visible para ambos con el objetivo de favorecer la fusión. La zona exterior también se utiliza para controlar la presencia de visión binocular durante las sesiones de rehabilitación. Esta estrategia ha sido materializada mediante la representación de un televisor virtual que se presenta a ambos ojos, pero donde el video clip se reproduce solo en la pantalla que se le muestra al ojo ambliope. *Herbison* y otros¹⁷ proponen un sistema que incluye un reproductor de DVD que le permite a los niños seleccionar el video clip de su preferencia, lo cual posibilita incrementar la aceptación del tratamiento.

Videojuegos

En los videojuegos la estimulación preferencial se ha materializado presentando fundamentalmente solo al ojo ambliope los elementos u objetos dinámicos y controlables de la escena. Cualquiera que sea la estrategia de diseño, esta debe garantizar que constituya un requisito la utilización de ambos ojos para que el paciente pueda resolver los desafíos del videojuego. También es necesario realizar un seguimiento constante del uso de ambos ojos, teniendo en cuenta que es probable que el paciente suprima la imagen que se le presenta al ojo ambliope, y basado en esto ajustar los estímulos del videojuego.

Una primera estrategia de diseño podría ser presentar los elementos dinámicos y estáticos al ojo ambliope y al fijador respectivamente, mientras a ambos ojos se les presentan el fondo y algunos elementos estáticos. En una versión del videojuego *Pacman*¹⁵ se presentan de forma exclusiva al ojo ambliope el personaje y los

fantasmas, mientras al ojo fijador se le presenta el laberinto y los premios (Fig. 1). Para favorecer la fusión y las secciones del laberinto se presentan también al ojo ambliope.

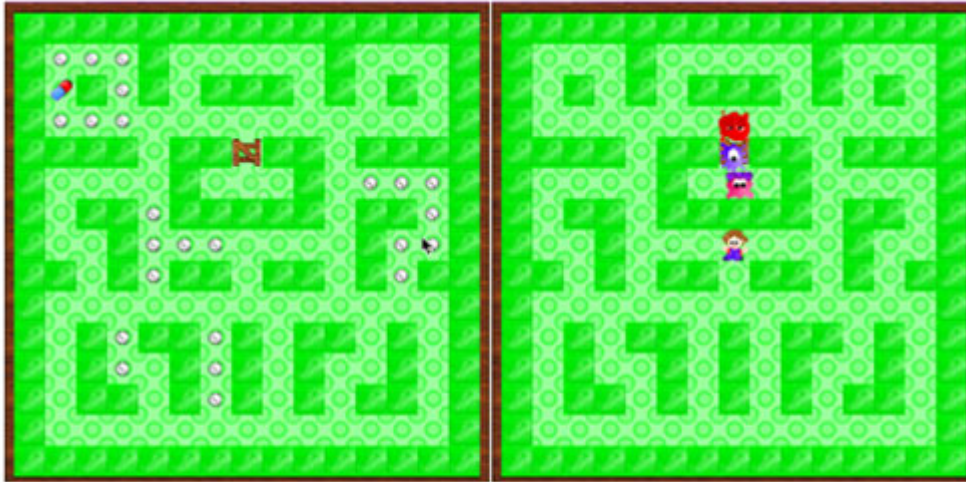


Fig. 1. Separación de los elementos estáticos y dinámicos. La imagen de la izquierda se le presenta al ojo fijador y la derecha al ojo ambliope. Las imágenes corresponden al videojuego Hannah y se utilizaron solo para demostrar la estrategia utilizada por *Waddingham* y otros.

En esta última investigación se describe otra alternativa de diseño que no está determinada por el criterio de movilidad de los objetos. En esencia se definen tres grupos de elementos: el primer grupo se presenta a un ojo, el segundo al otro ojo y el tercero a ambos. Los primeros dos grupos pueden estar compuestos tanto por objetos dinámicos como estáticos y el último grupo incluye objetos estáticos y el fondo de la escena. *Wei* y otros¹⁸ utilizan esta estrategia para juegos de cartas, al restringir a un solo ojo la visibilidad de las cartas que contienen diamantes y corazones y al otro ojo las cartas de pica y trébol.

También se ha manejado la idea de presentar la escena completa al ojo ambliope, y solamente una parte de esta al ojo fijador, excluyendo objetos controlables y dinámicos, y a ambos ojos el fondo de la escena. Con esta estrategia se han desarrollado juegos cuyo objetivo es controlar una nave y eliminar las naves enemigas que se mueven por un entorno que simula el espacio. Tal es el caso de los videojuegos propuestos por *Gargantini* y otros¹² y *Herbison* y otros.¹⁷ En el primer juego el ojo fijador no ve la nave espacial que controla el jugador ni los disparos que salen de esta, pero sí ve las naves enemigas que se mueven en direcciones aleatorias. Por el contrario, en el segundo juego la nave controlable se presenta a ambos ojos, mientras que las naves enemigas solamente se presentan al ojo ambliope.

Las estrategias presentadas hasta ahora tienen en común que los elementos se presentan indistintamente a uno de los ojos. Es posible estimular aún más la visión binocular si se descomponen los elementos, de forma tal que solo una parte de estos se presente a cada ojo, pues también sería obligatorio que ambos ojos cooperaran para ver completamente elementos independientes del videojuego. En una variante del videojuego Tetris,¹⁴ se aplica esta estrategia dividiendo los bloques que caen en tres partes: una sección visible para el ojo ambliope, otra sección visible para el ojo fijador y la sección del medio visible para ambos ojos (Fig. 2). Esta última sesión fue necesaria incluirla para evitar desajustes de alineación en la forma de los bloques. Al

parecer sería entonces aconsejable —cuando se utilice esta estrategia— mostrar al menos un componente del elemento a ambos ojos, para facilitar el ensamblaje cuando las imágenes se fusionan.

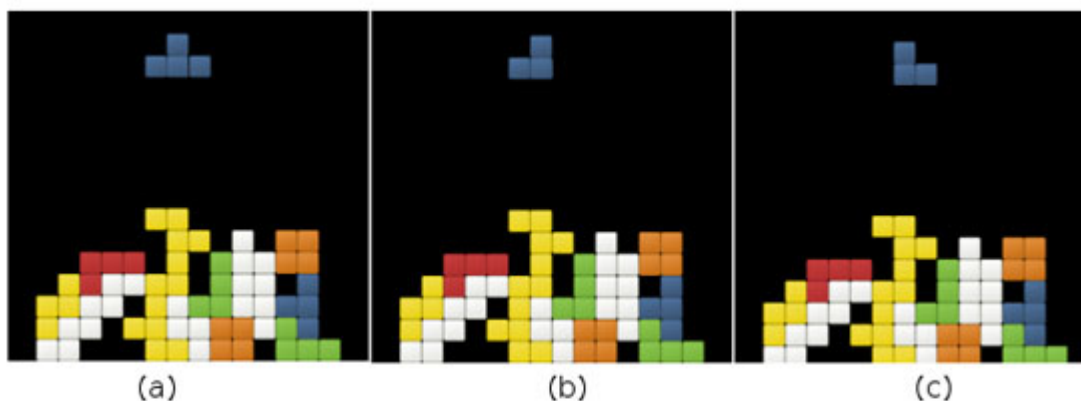


Fig. 2. Descomposición de elementos en partes visibles exclusivamente para un ojo. La imagen (b) se presenta al ojo ambliope, mientras la imagen (c) se presenta al ojo fijador. Se necesita la cooperación de ambos ojos para percibir completamente el bloque que cae. Las imágenes corresponden al videojuego *Quadrapassel* y se utilizaron para demostrar una de las estrategias utilizadas por *To* y otros.

Los estudios con sistemas *I-BiT* han reportado durante las sesiones de tratamiento dificultades para mantener el interés de los pacientes por el videojuego. Las principales causas han sido la utilización de un solo videojuego durante todo el tratamiento y la desproporción entre el nivel de dificultad del juego y las habilidades del jugador. En los sistemas *I-BiT™* el grado de supresión influye significativamente en la capacidad del jugador para completar las metas del videojuego. Sin embargo, los diseños propuestos no tienen en cuenta este aspecto y se han limitado solamente a realizar un seguimiento del uso del ojo ambliope y a variar la cantidad de información que se le presenta. Por ejemplo, *Gargantini* y otros¹² utilizan mecanismos de puntuación independientes para determinar si el ojo ambliope se utilizó durante el tratamiento, mientras en el videojuego *Nux*¹⁶ se varía la proporción de objetos presentados al ojo ambliope en dependencia del desempeño del jugador.

Tratamiento binocular antisupresión basado en contraste

A diferencia de los sistemas *I-BiT™*, esta variante de tratamiento binocular asume la ambliopía como consecuencia de un funcionamiento anormal de la visión binocular y, por lo tanto, está orientado a la reducción de la supresión y al fortalecimiento de la fusión. Tiene como precedente la cuantificación de la supresión a partir de la medición del desequilibrio de contraste intraocular.¹⁰ Según *Hess* y otros⁵ son necesarias tres actividades fundamentales para completar este tratamiento: reconocimiento de la capacidad de fusión, cuantificación de la supresión y reducción de la supresión. A partir de la propia cuantificación se puede verificar la capacidad de fusión; sin embargo, si se comprueba su ausencia no es necesario continuar con la cuantificación de la supresión, pues sería inviable el tratamiento.

Cuantificación de la supresión

Las pruebas clínicas actuales relacionadas con la supresión están diseñadas normalmente para comprobar solamente la presencia o no de la supresión. El enfoque basado en contraste permite obtener una medida cuantitativa de la supresión, a partir

del reconocimiento del papel determinante del desequilibrio de contraste intraocular en el proceso de supresión. Se ha demostrado que si se reduce de forma artificial el contraste de la información recibida por el ojo sano se puede llegar a un punto en el cual se logra combinación binocular y un mecanismo de visión binocular similar al de personas normales en condiciones naturales de visión.¹⁰ Esta variación de contraste intraocular, requerida para lograr la combinación binocular, se conoce como punto de balance y se define como la medida cuantitativa de la supresión.

Para cuantificar la supresión con este enfoque, esencialmente se han utilizado tareas de procesamiento de movimiento. En este tipo de tarea el estímulo está compuesto por dos grupos de puntos en movimientos denominados señal y ruido. La señal está constituida por puntos que se mueven en una misma dirección, conocida como dirección coherente. Aunque desde un punto de vista espacial, los puntos no solo se mueven en la misma dirección sino también en el mismo sentido. Por ejemplo, si los puntos se mueven en la dirección horizontal, todos lo harían a la izquierda o a la derecha. El ruido, por otra parte, está formado por puntos que se mueven en una dirección aleatoria. Los puntos de ambos grupos tienen la misma apariencia y se mueven a la misma velocidad. El objetivo de la tarea es determinar la dirección coherente, lo cual se dificulta por la presencia del ruido. La relación entre la cantidad de señal y el ruido, necesaria para completar la tarea, se conoce como umbral de coherencia de movimiento (MCT por sus siglas en inglés). El MCT se puede calcular variando la proporción entre señal y ruido sin variar el total de estímulos.

Para calcular el punto de balance se utiliza una configuración dicóptica que garantice que el ruido y la señal se presenten solamente a uno de los ojos (Fig. 3). En personas con visión binocular normal, la decisión de cual ojo recibe la señal o el ruido no influye significativamente en el MCT; sin embargo, en pacientes con ambliopía el desempeño será menor cuando se presente la señal al ojo ambliope, por el mecanismo de supresión. Tanto para el cálculo del MCT como para el punto de balance, se ha utilizado el procedimiento de escalera como método psicofísico.

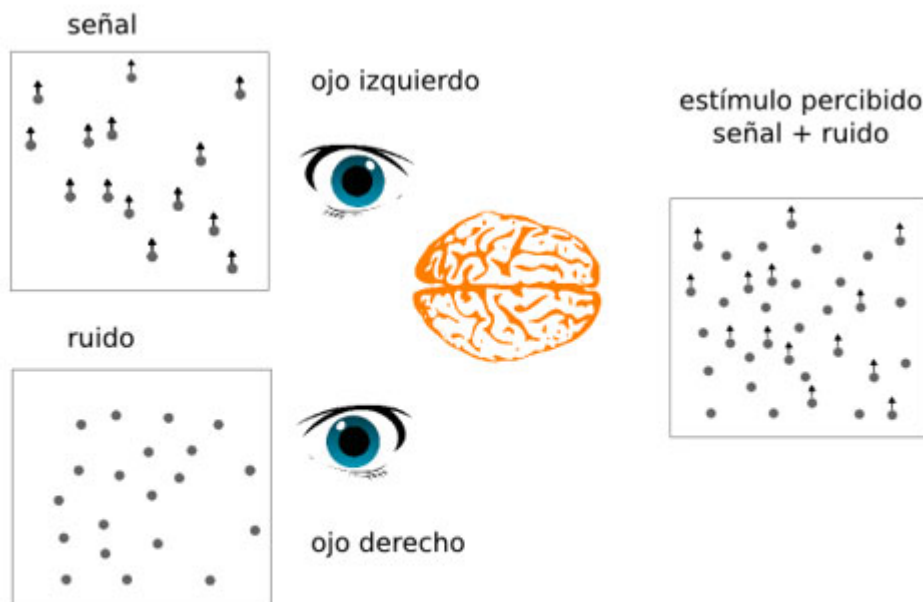


Fig. 3. Configuración dicóptica de los estímulos. Al ojo izquierdo se le presenta la señal y al ojo derecho el ruido. Ambos estímulos son percibidos luego del proceso de fusión.

Mayoritariamente el punto de balance se ha asociado al contraste relativo intraocular que permite alcanzar el mismo MCT, cualquiera que haya sido la configuración dicóptica^{10,19} (señal en el ojo ambliope, ruido en el ojo fijador o viceversa). Esta relación de desempeño en la identificación de la dirección coherente se ha denominado relación de umbral dicóptico. En definitiva, el grado de supresión se determina reduciendo el contraste del ojo fijador hasta que la relación de umbral dicóptico tenga un valor unitario, lo cual representaría la presencia de suma binocular.

En otro estudio,³ el punto de balance se define como el contraste relativo intraocular cuando la detección de la dirección coherente se realiza de forma binocular y dicóptica. El proceso de cuantificación incluye la evaluación del MCT y el cálculo del punto de balance en dos etapas diferentes. En la primera etapa, se calcula el MCT cuando se presenta tanto la señal como el ruido a ambos ojos. Luego, con una presentación dicóptica (la señal al ojo ambliope y el ruido al ojo adelfo), se mide el desbalance de contraste requerido para lograr el mismo MCT calculado en la etapa anterior. En la segunda etapa se establece el contraste al máximo al ojo ambliope y en cero al ojo fijador. Esta configuración inicial garantiza que solamente se perciba la señal. Luego se va incrementando el contraste del estímulo del ojo fijador mientras el paciente sea capaz de identificar la dirección coherente. El último valor de contraste, con el cual se realizó con éxito la tarea, constituye el punto de balance.

Reducción de la supresión

Luego de comprobarse la importancia del desequilibrio de contraste intraocular en el mecanismo de supresión, aparecieron evidencias de que la cuantificación intensiva de la supresión permitía la reducción de la supresión.¹⁹ En estas investigaciones el fortalecimiento de la visión binocular no solo permitió la reducción de la supresión, sino también mejoras de la visión monocular y la estereopsia en pacientes adultos. Estos resultados sentaron las bases del tratamiento antisupresión, sustentado en la idea de que la exposición prolongada a un desequilibrio de contraste dicóptico permitiría la reducción del desequilibrio de contraste intraocular y con esto la reducción de la supresión y el fortalecimiento de la combinación binocular. Posteriores investigaciones apoyaron este enfoque con resultados similares en ambliopes adultos con estrabismo y anisometropía.²⁰

La cuantificación intensiva es un tratamiento tedioso y requiere numerosas sesiones. Esto ha impedido que se extienda como actividad de rehabilitación, por ser propensa a problemas de aceptación que pueden comprometer la sistematicidad y culminación del tratamiento. Al igual que en los sistemas *I-BiT™*, en el tratamiento antisupresión predominan las actividades con videojuegos y vídeos clip.

Vídeos clip

En las terapias con vídeos clip la estrategia es obtener un duplicado con el contraste reducido en correspondencia con el punto de balance. Cada versión del vídeo clip se le presenta exclusivamente a uno de los ojos, la original al ojo ambliope y la modificada al ojo fijador. En principio no es necesario garantizar la visión estereoscópica, pero la utilización de vídeos clip 3D pudiera incidir positivamente en la recuperación de la estereopsia. *Gargantini* y otros²¹ se refieren a esta estrategia como *3D video rebalancing* y se auxilian de un *frameserver*²² para lograr el procesamiento sin la necesidad de crear archivos temporales.

Videojuegos

En los videojuegos se aplica el mismo principio utilizado en la cuantificación de la supresión. Es necesario establecer un desequilibrio dicóptico que permita reducir la

supresión lo suficiente para lograr la combinación binocular. Al ojo ambliope se le presenta información al máximo contraste posible, mientras al ojo fijador se le presenta con un contraste reducido. El punto de balance calculado en la etapa de cuantificación de la supresión se utiliza como el contraste relativo inicial de la información presentada al ojo fijador. Durante el tratamiento es necesario variar el contraste del ojo fijador para lograr el efecto terapéutico, teniendo en cuenta el desempeño del jugador y la esperada mejoría de las funciones visuales. Para el ojo ambliope siempre se utiliza el mismo contraste, fijado al inicio del tratamiento.

Como en todo videojuego, para mantener el interés del jugador es necesario ajustar el nivel de dificultad del juego a las habilidades del jugador. En un tratamiento antisupresión, el nivel de dificultad del videojuego también está determinado por el grado de supresión del paciente; por lo tanto, es necesario ajustar la dificultad propia del videojuego y el contraste. *Long To* y otros¹⁴ ajustan manualmente el contraste a partir de mediciones del punto de balance realizadas de forma intercalada con las sesiones de rehabilitación. Estas mediciones periódicas permiten ajustar con precisión el contraste; sin embargo, no son adecuadas cuando el tratamiento se realiza en el hogar. *Hess* y otros¹³ también modifican el contraste de forma manual, entre 10 y 20 %, en dependencia del desempeño en el juego y del criterio del paciente sobre si el juego puede jugarse satisfactoriamente. En otra estrategia el contraste se incrementa automáticamente a razón de 10 % cada 24 horas, si el jugador mantuvo un desempeño estable.²² *Birch* y otros²³ siguen esta última estrategia, pero si no se alcanza el criterio de desempeño se reduce el contraste en un 10 %.

La utilización de videojuegos autoadaptables permitiría ajustar el contraste automáticamente, a partir del análisis del desempeño en el juego y el estado de las funciones visuales. Sin embargo, para lograr un ajuste preciso sería necesario realizar mediciones continuas del punto de balance y configurar el videojuego de forma manual con el valor obtenido. Por lo tanto, sería conveniente medir el punto de balance y la agudeza visual en el propio videojuego. Otro reto sería adecuar estas pruebas al género y discurso narrativo específico de cada videojuego. La satisfacción de estos requisitos permitiría realizar los tratamientos sin la supervisión continua de los especialistas o de los padres en el caso de pacientes infantiles.

Al menos dos estrategias se identificaron para realizar el desequilibrio dicóptico. Una consiste básicamente en presentar los elementos del videojuego (quizás los más significativos) con mayor contraste al ojo ambliope (*Fig. 4*). La otra estrategia se sustenta en la integración de los principios del tratamiento antisupresión con los principios de los sistemas *I-BiTTM*. Un ejemplo de aplicación de la primera estrategia se puede encontrar en el videojuego *Coco3D³*, donde los objetos 3D se presentan con alto contraste al ojo ambliope y con bajo contraste al ojo fijador. En esta investigación se propone un sistema, válido para cualquier videojuego 3D, que permite a partir de un modelo 3D de un objeto obtener dos modelos con diferentes contrastes.



Fig. 4. Dos versiones de un mismo modelo 3D de una locomotora. La locomotora de la izquierda con bajo contraste se presenta al ojo fijador, mientras la locomotora de la derecha se presenta al ojo ambliope.

La segunda estrategia consiste en establecer un desequilibrio dicóptico a un videojuego I-BiTTM. Los elementos principales del videojuego se presentan al ojo ambliope con alto contraste; algunos elementos de poco interés se presentan al ojo fijador con bajo contraste y la mayoría de la información a ambos ojos para potenciar la fusión. Para los elementos comunes se han utilizado dos variantes: presentarlos a ambos ojos con el mismo contraste o tener en cuenta el punto de balance. Asumiendo la importancia del desequilibrio de contraste intraocular en la supresión, sería aconsejable presentar los elementos comunes con bajo contraste al ojo fijador y con alto contraste al ojo ambliope, pues favorecería aún más la fusión y el fortalecimiento de la visión binocular.

Esta estrategia fue utilizada por Long To y otros¹⁴ con una versión del videojuego Tetris para dispositivos Apple iPod 4 (Fig. 5). En esta misma investigación se describe otra variante, en la cual los bloques que caen se dividen en tres partes: una sección con alto contraste solamente visible para el ojo ambliope, otra sección con bajo contraste solamente visible para el ojo fijador y la sección del medio visible para ambos ojos.

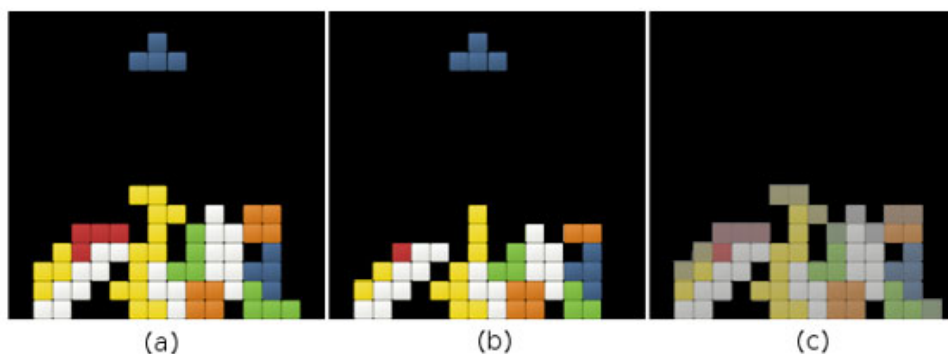


Fig. 5. Desequilibrio dicóptico en un videojuego del estilo Tetris. a) Se necesita la cooperación de ambos ojos para percibir todos los bloques del juego; b) al ojo ambliope se le presentan con alto contraste los bloques que caen; c) al ojo fijador se le presentan con bajo contraste los bloques de la superficie del suelo. El resto de los bloques se le presenta a ambos ojos teniendo en cuenta el punto de balance. Las imágenes corresponden al videojuego Quadrapassel y se utilizaron solo para demostrar una de las estrategias utilizadas por To y otros.

Estudios clínicos

Todavía son limitadas las evidencias que demuestren la efectividad del enfoque binocular de tratamiento de la ambliopía basado en RV. En la [tabla 1](#) se presentan 9 investigaciones que realizan estudios clínicos, las cuales representan menos del 40 % de todas las investigaciones que proponen sistemas para la aplicación del enfoque binocular. En general se utilizan muestras muy pequeñas que limitan la fidelidad de la comprobación estadística de los resultados. La mayoría de los experimentos se han realizado en ambliopes con historial de tratamientos fallidos y rechazados. En el caso de los estudios con sistemas *I-BiT™* se han realizado exclusivamente en niños, mientras que los tratamientos antipresión han sido aplicados tanto en niños como en adultos.

El tratamiento se ha realizado durante pocas semanas, entre 4 y 12, en sesiones de 30 a 60.

Los estudios con sistemas *I-BiT™* se limitan a comprobar la influencia del tratamiento en la agudeza visual del ojo ambliope. En todos estos estudios, la mayoría de los pacientes (incluso pacientes con ambliopía severa), lograron mejorías de la agudeza visual. También la mayoría de los pacientes, a quienes se les realizó un seguimiento después del tratamiento, mantuvieron o mejoraron la agudeza visual que tenían al finalizar el tratamiento. Aunque la mejoría fue muy variable entre individuos, incluyendo pacientes que recuperaron completamente la visión, en general la mejoría significativa se logró en las primeras 4 semanas, tiempo muy inferior al requerido por la oclusión para lograr los mismos resultados.

Aunque en los estudios con tratamientos antipresión se utilizaron dos variantes de tratamiento: cuantificación de la supresión intensiva y videojuegos, en todos se reportó reducción significativa de la supresión, mejoría significativa de la agudeza visual y solo en el estudio realizado con niños²³ no se reportó mejoría significativa de la estereopsia. Es necesario realizar más estudios con infantes para obtener evidencias sobre el comportamiento de la estereopsia en este tipo de tratamiento. En los experimentos, al igual que con los sistemas *I-BiT™*, los resultados se obtuvieron en poco tiempo y variaron bastante por individuos; pero se logró en varios casos lograr combinación binocular en condiciones normales de visión y establecer la estereopsia en personas que no la poseían antes del tratamiento. Por otra parte, la identificación de una correlación positiva entre la agudeza visual antes y después del tratamiento, sugiere la factibilidad de este tipo de tratamiento para pacientes con ambliopía severa. También los resultados reflejan una relación positiva entre el grado de supresión y la agudeza visual, lo cual apoya la teoría de la ambliopía como problema binocular; sin embargo, se necesitan más evidencias porque dos estudios exponen resultados contradictorios sobre si esta relación es estadísticamente significativa. Quizás la diferencia radique en que en uno de estos el tratamiento consistió en la cuantificación intensiva de la supresión. En cuanto al plan de tratamiento, al parecer lo más importante es la intensidad con que este se realice, más allá de la duración de cada sesión y el tiempo total de tratamiento o que se realice en días consecutivos.²² Todos estos resultados tienen mayor significación si se tiene en cuenta que la mayoría de los experimentos se realizaron en adultos, en los cuales el nivel de plasticidad es menor.

Tabla 1. Resumen de los estudios clínicos con sistemas I-BiT™ y tratamientos antisupresión

Estudio-Muestra	Tratamiento	Resultados
<p>Estudio piloto para evaluar la efectividad del tratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 niños. rango de edades: 5-7 años. tratamientos previos rechazados o fallidos. 	<p>Tratamiento con un sistema I-BiT™</p> <ul style="list-style-type: none"> 2-3 sesiones semanales por 6 semanas. seguimiento de 11-19 meses después de finalizar el tratamiento. 20 min de video clip. 10 min videojuego. Esteroscopio. 	<ul style="list-style-type: none"> 5/6 con mejoría significativa de la agudeza visual (42 % de mejoría proporcional). 3/5 con agudeza visual mantenida o mejorada en el seguimiento.
<p>Estudio de efectividad como tratamiento secundario</p> <ul style="list-style-type: none"> 12 niños. rango de edad: 6-10 años. todos los tratamientos fallidos o rechazados. 	<p>Tratamiento con un sistema I-BiT™</p> <ul style="list-style-type: none"> sesión semanal por 12 semanas. 20 min de video clip. 5 min videojuego. casco de RV. 	<ul style="list-style-type: none"> 11/12 mejoría significativa de la agudeza visual (35 % de mejoría proporcional). mejoría significativa en las semanas 2-3.
<p>Estudio de efectividad como tratamiento primario</p> <ul style="list-style-type: none"> 19 niños. edad: 4-10 años. 	<p>Tratamiento con un sistema I-BiT™</p> <ul style="list-style-type: none"> sesión semanal por 12 semanas. 25 min video clip. 5 min videojuegos. Esteroscopio. 	<ul style="list-style-type: none"> 17/19 con mejoría de la agudeza visual (34 % de mejoría proporcional). mejoría significativa en las primeras 4 semanas
<p>Estudio piloto para evaluar la efectividad del tratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 pacientes adultos con ambliopía estrábica. edades: 33, 44 y 45 años. ninguno presenta estereopsia. 	<p>Cuantificación intensiva</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 días a la semana por 3 semanas (350 mediciones semanales). 	<p>En todos los pacientes.</p> <ul style="list-style-type: none"> reducción de la supresión mejoría de la agudeza visual. restablecimiento de la estereopsia.
<p>Estudio para evaluar la efectividad del tratamiento en adultos</p> <ul style="list-style-type: none"> 9 pacientes adultos con ambliopía estrábica y mixta. promedio de edad: 99,6 años. rango de edad: 24-49 años. 4/9 tratamiento previo con oclusión. 7/9 no presentan estereopsia. 	<p>Cuantificación intensiva</p> <ul style="list-style-type: none"> varias semanas. 	<ul style="list-style-type: none"> 6/9 reducción de la supresión hasta lograr combinación binocular en condiciones normales de visión. mejoría significativa de la agudeza visual. mejoría significativa de la estereopsia. sin correlación el grado de supresión y la agudeza visual. correlación positiva entre la agudeza inicial y final. correlación positiva entre la intensidad del tratamiento y la reducción de la supresión.
<p>Estudio para evaluar la efectividad del tratamiento en adultos</p> <ul style="list-style-type: none"> 9 adultos con ambliopía estrábica y anisometropía. promedio de edad: 35,5 años. 6/9 no presentan estereopsia. 	<p>Tratamiento antisupresión con un sistema I-BiT™</p> <ul style="list-style-type: none"> promedio de 15,7 horas. promedio de 7,07 horas semanal. promedio de 14,2 sesiones. iPod touch con lámina lenticular. 	<ul style="list-style-type: none"> reducción significativa de la supresión en función del tratamiento. mejoría significativa de la agudeza visual. mejoría significativa de la estereopsia.
<p>Estudio para evaluar la efectividad del tratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> 10 adultos con ambliopía estrábica y mixta. promedio edad: 33,8 años. 	<p>Tratamiento antisupresión</p> <ul style="list-style-type: none"> sesión semanal por 9 semanas. 0,5-2 h videojuego. iPod touch con lámina lenticular. 	<ul style="list-style-type: none"> reducción significativa de la supresión. mejoría significativa de la agudeza visual y la estereopsia. relación significativa entre el total de sesiones y la reducción de la supresión y la mejoría de la agudeza visual. relación significativa entre la reducción de la supresión y la mejoría de la agudeza visual. relación significativa entre la mejoría de la agudeza visual y la mejoría de la estereopsia.
<p>Comparación entre tratamiento monocular y dicóptico con videojuego</p> <ul style="list-style-type: none"> 18 adultos. 	<p>Dos grupos con tratamientos diferentes</p> <ul style="list-style-type: none"> grupo 1: antisupresión con videojuego. grupo 2: monocular con videojuego. 9 pacientes en cada grupo. 1 hora diaria por dos semanas. después de dos semanas el grupo 2 realiza tratamiento antisupresión. casco de RV. 	<ul style="list-style-type: none"> ambos grupos con mejoría significativa de la agudeza visual. grupo 1 con significativa mejoría de la estereopsia y reducción de la supresión. grupo 1 con significativa mayor mejoría de la agudeza visual y de la estereopsia, y significativa mayor reducción de la supresión. grupo 2 con mejoría significativa de la agudeza visual y de la estereopsia, y reducción significativa de la supresión después de realizar tratamiento antisupresión.
<p>Estudio piloto para evaluar la efectividad del tratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> 9 pacientes con ambliopía estrábica y mixta. promedio de edad: 5,4 años. rango de edad: 4-8 años. 	<p>Tratamiento con un sistema I-BiT™</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 semanas. seguimiento 4 semanas después (semana 10). 10 min videojuego por sesión. 20 min de videos clip. tecnología de obturación activa. 	<ul style="list-style-type: none"> 9/9 con mejoría de la agudeza visual. 4/9 con agudeza visual estable o mejor en la semana 10 que en la 6. 7/9 con mejor agudeza visual en la semana 10 que antes del tratamiento.
<p>Estudio para evaluar la efectividad del tratamiento desde el hogar</p> <ul style="list-style-type: none"> 14 pacientes adultos. rango de edad: 13-50 años. promedio de edad: 32,7 años. 	<p>Tratamiento antisupresión</p> <ul style="list-style-type: none"> 1h diaria de videojuego. 30-40 días. iPod touch con tecnología anaglifa. 	<ul style="list-style-type: none"> mejoría significativa de la agudeza visual y la estereopsia. reducción significativa de la supresión.
<p>Estudio para evaluar la efectividad del tratamiento en niños de preescolar</p> <ul style="list-style-type: none"> 50 pacientes. rango de edad: 3-7 años. 	<p>Dos grupos con tratamientos diferentes.</p> <p>grupo 1: videojuego, grupo 2: antisupresión con videojuego.</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 niños en el grupo 1. 45 en el grupo 2. 4 h semanal por 4 semanas. iPad y tecnología anaglifa. 	<ul style="list-style-type: none"> grupo 1 sin mejoría significativa de la agudeza visual. grupo 2 con mejoría significativa de la agudeza visual. grupo 2 sin mejoría significativa de la estereopsia. significativa mayor agudeza visual en los niños que jugaron por más de 8 h, en comparación con los que jugaron de 0-4 h

En la actualidad numerosas evidencias apoyan la idea de que la ambliopía es en esencia un problema binocular y que la supresión juega un papel clave; esto ha permitido desarrollar nuevos tratamientos binoculares con el apoyo de la RV. Con el empleo de los sistemas *I-BiT™* se logra mejorar la agudeza visual de pacientes con ambliopía severa y con los tratamientos antisupresión, además de la agudeza visual, también se modifican positivamente la visión binocular y la estereopsia. Estos últimos también han demostrado ser efectivos en adultos donde el nivel de plasticidad es menor. Es de significar que con estos tratamientos las mejorías se logran en un tiempo mucho menor al requerido por los tratamientos tradicionales y se reducen los problemas de aceptación. Debe considerarse, por tanto, un enfoque binocular que combine ambas estrategias, como complemento de los tratamientos clásicos y como alternativa en pacientes adultos y niños con historial de tratamientos rechazados o fracasados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Birch EE. Amblyopia and Binocular Vision. *Progr Ret Eye Res.* 2013;33:67-84.
2. Rastegarpour A. A computer-based anaglyphic system for the treatment of amblyopia. *Clin Ophthalmol.* 2011;5:1319-23.
3. Vitali A, Facchetti G, Gargantini A. An Environment for Contrast-Based Treatment of Amblyopia Using 3D Technology. In: *International Conference on Virtual Rehabilitation*; 2013. p. 76-9.
4. Mitchell DE, Duffy KR. The case from animal studies for balanced binocular treatment strategies for human amblyopia. *Ophthalmol Opt.* 2014;34(2):129-45.
5. Hess RF, Thompson B. New insights into amblyopia: Binocular therapy and noninvasive brain stimulation. *J AAPOS.* 2013;17(1):89-93.
6. Sireteanu R. The Binocular Visual System in Amblyopia. *Strabismus.* 2000;8(1):39-52.
7. Sengpiel F, Jirrmann KU, Vorobyov V, UT E. Strabismic suppression is mediated by inhibitory interactions in the primary visual cortex. *Cereb Cort.* 2006;16(12):1750-8.
8. Thompson B, Mansouri B, Koski L HRF. Brain plasticity in the Adult: modulation of function in amblyopia with rTMS. *Curr Biol.* 2008;18(14):1067-71.
9. Baker DH, Meese TS, Mansouri B, Hess RF. Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48(11):5332-8.
10. Mansouri B, Thompson B, Hess RF. Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia. *Vis Res.* 2008;48(28):2775-84.
11. Li J, Thompson B, Lam CSY, Deng D, Chan LY, Machara G, et al. The role of suppression in amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(7):4169-76.
12. Gargantini A. Using 3d vision for the diagnosis and treatment of amblyopia in young children. New York: *International Conference on Health Informatics. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*; 2011.
13. Hess R, Thompson B, Black J, Maehara G, Zhang P, Bobier W, et al. An iPod treatment for amblyopia: An updated binocular approach. *Optometry.* 2012;83(2):87-94.

14. To L, Thompson B, Blum JR, Maehara G, Hess RF, Cooperstock JR. A Game Platform for Treatment of Amblyopia. *IEEE Trans Neur Syst Rehabil Eng.* 2011;19(3):280-9.
15. Waddingham PE, Cobb SV, Eastgate RM, Gregson RM. Virtual reality for interactive binocular treatment of amblyopia. In: 6th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies; 2006. p. 201-8.
16. Eastgate RM, Griffiths GD, Waddingham PE, Moody AD, Butler TKH, Cobb SV, et al. Modified virtual reality technology for treatment of amblyopia. *Eye.* 2006;20(3):370-4.
17. Herbison N, Coob S, Gregson R, Ash I, Eastgate R, Purdy J, et al. Interactive binocular treatment (I-BiT) for amblyopia: results of a pilot study of 3D shutter glasses system. *Eye.* 2013;27(9):1077-83.
18. Wei H, Zhao Y, Dong F, Saleh G, Ye X, Clapworthy G. A Cross-platform approach to the treatment of amblyopia. New York: 13th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2013.
19. Hess RF, Mansouri B, Thompson B. A Binocular Approach to Treating Amblyopia: Antisuppression Therapy. *Opt Vis Sci.* 2010;87(9):697-704.
20. Hess RF, Mansouri B, Thompson B. A new binocular approach to the treatment of Amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. *Restor Neurol Neuroscie.* 2010;28(6):793-802.
21. Gargantini A, Bana M, Fabiani F. Using 3D for Rebalancing the Visual System of Amblyopic Children. New York: Internacional Conference on Virtual Rehabilitation. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2011.
22. Hess RF, Babu RJ, Clavagnier S, Black J, Bobier W, Thompson B. The iPod binocular home-based treatment for amblyopia in adults: efficacy and compliance. *Clin Experim Optome.* 2014;97(5):389-98.
23. Birch EE, Li SL, Ms RMJ, Bs SEM, La AD, Bs C, et al. Binocular iPad treatment for amblyopia in preschool children. *J AAPOS.* 2015;19(1):6-11.
24. Li J, Thompson B, Deng D, Chan LYL, Yu M, Hess RF. Dichoptic training enables the adult amblyopic brain to learn. *Curr Biol.* 2012;23(8):308-9.

Recibido: 15 de marzo de 2016.

Aprobado: 21 de junio de 2016.

Yanet Cristina Díaz Núñez. Hospital Docente Clínicoquirúrgico "Carlos Manuel de Céspedes". Bayamo, Granma, Cuba. Correo electrónico: yanetcristinad@grannet.grm.sld.cu

^a En este contexto se refiere a que el ojo izquierdo perciba elementos que estaban pretendidos para el ojo derecho y viceversa.

^b Programa de computadora que permite transferir datos de vídeo a otro programa.