



**MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ**

**TREBALL FINAL DE MÀSTER**

---

## **El color en el material escolar**

**Francesc Bofill Gracià**

Departament d'Òptica i Optometria  
Directora: Aurora Torrents

**22.06.2010**



## **MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ**

La Sra. Aurora Torrents Gómez, com a directora del treball

CERTIFICA

Que el Sr. Francesc Bofill Gracià ha realitzat sota la seva supervisió el treball "El color en el material escolar" que es recull en aquesta memòria per optar al títol de màster en optometria i ciències de la visió.

I perquè consti, signo aquest certificat.

Sra. Aurora Torrents Gómez  
Directora del treball

**Terrassa, 7 de Juny de 2010**



## MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

# El color en el material escolar

### RESUMEN

Este trabajo pretende estudiar el uso del color como recurso para la resolución de ejercicios en los libros de P5 (ciclo infantil), de primero y de segundo curso de primaria, ya que aproximadamente un 8% de la población masculina presenta anomalías en la percepción cromática y un uso inadecuado del color puede representar un impedimento para su aprendizaje.

Los objetivos principales son:

- Contactar con centros educativos catalanes para conocer qué libros utilizan.
- Examinar diversos libros para calcular el porcentaje de páginas con ejercicios que precisan una buena discriminación cromática para ser resueltos.
- Analizar colorimétricamente los colores presentes en los libros.
- Comprobar si una muestra de ejercicios clasificados como dificultosos para una persona discromatópsica resultan, efectivamente, difíciles de resolver.
- Contactar con algunas editoriales para dar a conocer propuestas de mejora del material escolar.

Las conclusiones principales son:

- Que el porcentaje medio de páginas erróneas hallado en los libros de matemáticas analizados es del 8%.
- Que el binomio rojo-verde es frecuentemente encontrado en diversos ejercicios y desaconsejable por la confusión que ocasiona a un niño con problemas de percepción cromática.
- Que diversas editoriales han mostrado una buena predisposición a solucionar este problema.

“Dietro di lui oscillava una portatina chiusa ai quattro lati da stoffe dai colori sgargianti.”  
Alessandro Baricco, *Seta*.

M'agradaria agrair la col·laboració per a la realització d'aquest treball als CEIP La Roda, CEIP Guerau de Peguera i CEIP Estel, a l'Abacus Sant Boi, al Pere Macià de l'Editorial Santillana, a la Carme Queralt de l'Editorial Cruïlla, a la Rosa Comabella de l'Editorial Edebé, a la María Sagrario Millán i l'Héctor C. Abril del GOAPI i a l'Aurora.

El treball està dedicat al Josep, al Moisés i a l'Esther: moltes gràcies.

## Contenido

1. Introducción .....	2
1.1 Introducción al estudio de la visión del color .....	2
1.2 Planteamiento del trabajo: objetivos.....	3
2. Marco teórico .....	5
2.1 Genética de la visión del color .....	5
2.2 Principios de colorimetría .....	5
2.3 Clasificación de las anomalías de la visión del color .....	9
2.4 Dimensiones perceptuales del color en función de los ftopigmentos presentes.....	12
2.5 Evaluación clínica de la visión del color .....	14
3. Método y resultados .....	17
3.1. Determinación de la frecuencia de libros utilizados en los colegios catalanes .....	17
3.2. Análisis colorimétrico de los libros.....	25
3.3. Contacto con las editoriales .....	34
4. Discusión .....	37
5. Conclusiones y propuestas.....	41
6. Bibliografía .....	43
7. Apéndices.....	46
• Listado de libros analizados. ....	46
• Listado de colegios: .....	49

## 1. Introducción

### 1.1 Introducción al estudio de la visión del color

Toda la información que recibe el sistema visual humano sobre el color de los objetos depende de la longitud de onda ( $\lambda$ ) reflejada por éstos, del tipo de luz que incide sobre dichos objetos, del observador y, muchas veces, del entorno en el que se encuentra el objeto y de la  $\lambda$  de objetos observados anteriormente.

La visión en color ha interesado a la comunidad científica desde hace más de dos siglos a partir de los trabajos de Young en el año 1802, quien supuso que todos los colores que el ser humano percibe son la mezcla aditiva en diferentes proporciones de tres colores principales: rojo, verde y azul. Este supuesto fue la base de lo que se conoció como la **teoría tricromática** que, aunque no fue capaz de explicar de forma satisfactoria algunos fenómenos relacionados con la percepción cromática, es un referente básico de la percepción visual. Esta teoría fue comprobada experimentalmente muchos años después por Helmholtz en 1856 y por Maxwell en 1861 <sup>(1)</sup>.

Gracias a las tecnologías actuales, como la densiometría y microespectrometría, sabemos que existen tres tipos de células encargadas de la percepción cromática (conos) y que cada una de ellas presenta un máximo de absorción para diferentes  $\lambda$  del espectro visible: a 498nm, 534nm y 564nm, respectivamente. Estas células que se localizan sobre todo en el área central de la retina, son las encargadas de la visión cromática y nos permiten ver durante el día.

En 1878 Hering propuso la **teoría de los procesos oponentes**, que permitía explicar por qué resulta imposible imaginar un color rojo verdoso o un azul amarillento. La teoría propone separar las sensaciones cromáticas en dos pares de señales oponentes: amarillo/azul y verde/rojo, además de la señal claro/oscuras <sup>(2,3)</sup>.

Ambas teorías serían conciliadas gracias a los trabajos de Hurvich y Jameson o Boynton, entre otros, quienes sugieren que la visión tricromática aúna dos procesos diferentes: una fase inicial tricromática (retiniana) y otra fase posterior oponente (neural), tal y como se cree en la actualidad.

En cuanto a la evaluación clínica de la visión cromática, existen técnicas desde 1866. Holmgren recogió las ideas de Helmholtz y diseñó un método de evaluación de defectos congénitos basado en emparejar hilos y botones. Gracias a este test, fue posible determinar si el sujeto tenía ceguera al rojo, al verde o al azul. Más adelante aparecieron otros tipos de pruebas para determinar qué tipo de deficiencia tiene un sujeto determinado de manera más exacta y que se verán más adelante.

Con todo ello, es fácil inferir que si algún componente tricromático de la retina está afectado, el sujeto podrá presentar una alteración en la percepción del color. Estas alteraciones no tienen actualmente tratamiento y es importante que el sujeto y su entorno conozcan dicha anomalía para poder orientar la carrera profesional hacia labores en las que la percepción cromática no sea un requisito indispensable. Por ejemplo, profesiones como piloto de avión, conductor de tren o electricista precisan de una visión cromática perfecta. Esta razón nos lleva a recomendar en todo momento una evaluación cromática lo más temprana posible junto con la evaluación refractiva que, en algunos estudios de chequeos visuales en población infantil, a veces se lleva a cabo <sup>(4, 5, 6)</sup> pero en otras ocasiones, no <sup>(7)</sup>.

Sabemos que a partir de los 4-5 años aprendemos a relacionar el estímulo percibido con la palabra que lo define, así que podemos estudiar la visión cromática en niños a partir de dicha edad empleando el test adecuado para su desarrollo cognitivo <sup>(8)</sup>. Por lo tanto, a un niño de 5 años ya le podemos administrar algún tipo de prueba que nos informe del estado de su visión cromática, ya que la existencia de algún tipo de defecto puede representar, en algunos casos, un impedimento para el

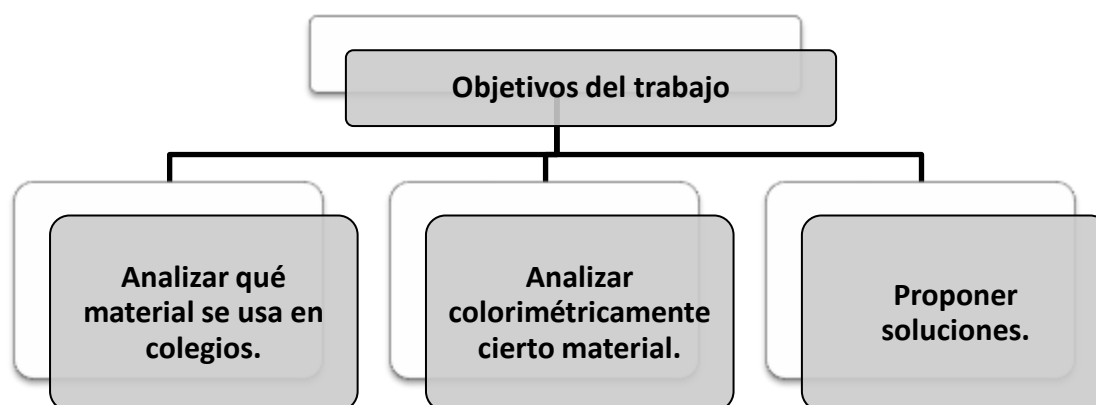
desarrollo normal cognitivo, aunque no se hayan obtenido resultados claros en este sentido <sup>(9, 10)</sup>. El color está tan presente en nuestra vida cotidiana que su percepción incorrecta puede suponer un impedimento en el día a día <sup>(11)</sup>; por ejemplo, a la hora de desempeñar ciertos empleos (electricista, piloto de avión,...) o a la hora de conducir <sup>(12, 13)</sup>. Incluso ya han aparecido algunos trabajos que proponen mejoras viarias para aumentar la seguridad en carretera para sujetos con problemas de visión cromática <sup>(14)</sup>.

De aquí que creamos muy importante el detectar estos problemas, especialmente en la población infantil ya que, aunque no tienen solución, conocer su existencia puede permitir la orientación profesional de la persona hacia un puesto de trabajo en el que el color no sea importante <sup>(15, 16)</sup>.

En lo que se refiere a las proporciones de defectos visuales, sabemos que en torno a un 8% de los sujetos masculinos pueden tener algún grado de anomalía cromática y que en las mujeres esta probabilidad decae hasta un 0.46% <sup>(17, 18, 19)</sup>. Aunque algunos estudios presentan datos que no suelen ser tan generosos, con porcentajes algo más bajos; en torno al 6.89% <sup>(20)</sup>, al 5% <sup>(21,22)</sup> o al 3.82% <sup>(23)</sup>.

## 1.2 Planteamiento del trabajo: objetivos

El color es un recurso muy utilizado en el material escolar, pero si algún niño presenta problemas de discriminación cromática, su aprendizaje puede verse dificultado si tal material requiere una correcta visión del color para ser resuelto. Este problema es especialmente importante en los cursos en los que el alumno aprende a leer. En base a esta idea, el objetivo principal del trabajo es analizar el material escolar utilizado en diversos colegios catalanes en los niveles de P5, 1º y 2º curso para comprobar si se hace un buen uso del color como recurso didáctico. Además, se propondrán algunas mejoras en dicho material y se contactará con algunas de las editoriales para que mejoren algunos aspectos de éste, si ello fuera necesario. Para poder llegar a nuestro objetivo nos proponemos dividir el proceso en varias etapas: la primera será conocer qué libros son los más utilizados por los centros de educación infantil y primaria (CEIP) y analizar, para una muestra de libros de diferentes editoriales, el número de páginas que utilizan el color como medio para resolver un determinado ejercicio y que, aparentemente, pueden resultar dificultosos para una persona con problemas de percepción cromática. En la segunda parte se llevará a cabo un estudio colorimétrico de algunas láminas de dicho material para comprobar si los colores pueden ser confundidos y, por último, se contactará con las editoriales de los libros para proponer algunas mejoras en el material didáctico.



Paralelamente, se ha llevado a cabo un estudio observacional sobre la incidencia de las alteraciones cromáticas en una muestra de niños de último curso de ciclo infantil (P5), de primero y de segundo curso de primaria de varios CEIP.



También se ha realizado un estudio en el que se han presentado algunos ejercicios de los considerados difíciles a un grupo de personas con problemas de visión cromática para analizar hasta qué punto son capaces de resolverlos.

Por último, se indagará si el profesorado de los CEIP es consciente de las consecuencias que puede tener para el niño con problemas de percepción cromática el uso del color a la hora de resolver algunos ejercicios.

El presente estudio tiene como antecesor otro trabajo realizado en 1996 por Fernández Vélez y que lleva por título *Eficiencia en la discriminación cromática mediante filtros coloreados en niños dicromáticos*. El objetivo principal de aquél estudio fue intentar compensar mediante filtros las anomalías cromáticas para ver si, de alguna manera, los niños mejoraban la ejecución de ciertos ejercicios. Para ello, la autora seleccionó algunos libros de texto de la época dirigidos a población infantil. El presente trabajo guarda algunos puntos comunes con aquél pero, como se ha descrito en los objetivos, es sustancialmente diferente.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Genética de la visión del color

Gracias a los estudios en el campo de la genética se ha podido saber la localización de los genes responsables de la percepción cromática y cómo y por qué algunos defectos son más frecuentes en el sexo masculino que en el femenino.

Hoy día sabemos que el gen que codifica la proteína (llamada *opsina*) para percibir el color azul se encuentra en el cromosoma 7, que el gen que se encarga de sintetizar la opsina de los bastones se encuentra en el cromosoma 3 y que el gen encargado de sintetizar las opsinas de los rojos y verdes se encuentra en la pareja 23 que es la pareja cromosómica sexual. Este hecho quiere decir que mientras que las deficiencias de tipo azul son de carácter autosómico, las deficiencias de tipo rojo o verde son de herencia ligadas al sexo <sup>(24)</sup>.

Por esto, debemos tener presente que los sujetos de sexo masculino van a tener más probabilidades de padecer en algún grado un tipo de estas anomalías, al rojo o al verde. Esto es debido a que el gen defectuoso se localiza en un lugar determinado del cromosoma "X" y éste, al no tener homólogo (ya que el cromosoma "Y" es más corto) el defecto acaba por manifestarse <sup>(25)</sup>. Parece ser que en torno a un 8% de la población masculina y cerca de un 0.46% de la femenina tiene anomalías de visión cromática.

En el caso de las deficiencias al azul, como se localizan en cromosomas que no determinan el sexo del paciente (autosómicos) siempre tienen una pareja dominante capaz de impedir la manifestación de la deficiencia.

Este tipo de deficiencias tienen carácter recesivo; esto quiere decir que el sujeto puede llevar el gen defectuoso y no presentar la deficiencia. Este último caso sería el de las mujeres: en muchas ocasiones ellas son portadoras de la deficiencia pero en raras ocasiones la manifiestan <sup>(26)</sup>.

Los trabajos clásicos sobre genética molecular llevados a cabo por Nathans y colaboradores pueden darnos una idea del porqué de la existencia de dichas deficiencias. Mediante técnicas de hibridación de DNA, se ha podido demostrar que los aminoácidos que componen las opsinas de los conos L y M son muy similares (cerca del 96% son iguales). Además éstas difieren bastante del contenido en aminoácidos de las opsinas de los conos azules y de los bastones (sólo coinciden en un 43%). Quizás esta elevada coincidencia, junto con el hecho de que estén localizados en la pareja 23 cromosómica, haga de las deficiencias al rojo y verde de las más frecuentes <sup>(27,28)</sup>.

### 2.2 Principios de colorimetría

El color, como tal, no es una característica intrínseca de la materia sino que es una sensación que depende de la interpretación que se realiza a nivel de la corteza visual de los fotones captados por los fotorreceptores. En nuestro caso, en condiciones fotópicas, los conos se encargan de captar la  $\lambda$  reflejada por los objetos y el procesamiento neuronal se encarga luego de que percibamos un color. Más adelante veremos por qué son los conos capaces de percibir distintas tonalidades y no los bastones. Pero antes debemos tener presente que el color como sensación subjetiva sólo existe en el ojo y en el cerebro del observador humano, por lo que no es una característica propia del objeto. Esta condición obliga a que cuando se habla de color se tengan en cuenta la luz, el observador y el objeto.

La Colorimetría se encarga de la especificación de los colores de una manera objetiva a partir de sus características; es decir, es la ciencia que se encarga de crear espacios de representación donde las diferentes tonalidades estén definidas de manera unívoca. Por lo tanto, el objetivo de la Colorimetría es muy concreto, pero no siempre es fácil de conseguir.

Un color percibido determinado puede ser caracterizado por tres parámetros o atributos psicofísicos: el tono, la luminosidad y la saturación.

El tono se relaciona con la longitud de onda dominante ( $\lambda_d$ ), definida como aquella  $\lambda$  del visible para la cual la sensibilidad espectral es máxima. Un tono percibido cuya longitud de onda dominante sea 420nm será catalogado como color azul.

La luminosidad, por su parte, es la cantidad de luz que parece reflejar el objeto en cuestión. Por ejemplo, el color amarillo es más luminoso que el azul marino. Sería la impresión subjetiva de la luminancia.

Y, por último, la saturación o pureza cromática define la intensidad del color y es inversamente proporcional a la cantidad de blanco que contiene éste. Permite definir colores intensos y pálidos. Por ejemplo, un rojo es más saturado que un rosa.

Normalmente los colores más luminosos dan la sensación de ser poco saturados, aunque se trate de atributos diferentes.

Esta manera de especificar un color es la base de lo que se conoce como **Trivariancia Visual**. Existen dos tipos de mezclas que nos permiten obtener casi todos los estímulos cromáticos del espectro. Estas mezclas son las aditivas y las sustractivas, y cada una de ellas tiene sus propios primarios. Los colores primarios son tres tonos diferentes que permiten obtener a partir de su mezcla casi cualquier otro color, pero para que tres estímulos puedan ser considerados primarios, se debe cumplir una condición: que ninguno de los tres sea la mezcla de los otros dos.

Una mezcla aditiva es una mezcla de colores obtenida mediante la suma de luces. Se parte del negro (ausencia de luz) y se van añadiendo primarios hasta conseguir el blanco. Mezclando rojo y verde se obtiene amarillo, magenta si se mezclan azul y rojo, o cian al mezclar aditivamente azul y verde (figura 1).

En el caso de las mezclas aditivas, la razón que llevó a fijar dichos primarios en un rojo, un verde y un azul fue la conveniencia de escoger una longitud de onda de un extremo del visible (azul), otra correspondiente a la parte media de éste (verde) y otra situada en el otro extremo (rojo). Fijémonos que de otra manera no sería posible llegar a conseguir otros colores del espectro mezclando únicamente tres longitudes de onda.



Figura 1 ([http://www.glosariografico.com/mezcla\\_aditiva](http://www.glosariografico.com/mezcla_aditiva)): mezclas aditivas.

En una mezcla sustractiva, por el contrario, partimos del blanco y vamos restando progresivamente luz mediante filtros (que son primarios), hasta llegar al negro. En este caso, los primarios son el cian, el amarillo y el magenta (figura 2). De esta manera podemos obtener: verde mezclando cian y amarillo, azul mezclando magenta y cian y, por último, rojo mezclando magenta y amarillo. En el centro de la figura, donde coinciden todos los primarios, se obtiene el negro.



Figura 2([http://www.gusgsm.com/principios\\_impresion\\_color](http://www.gusgsm.com/principios_impresion_color)): mezclas sustractivas.

En un experimento de igualación de un color mediante mezcla aditiva, se proyecta un campo circular dividido en dos mitades: una fija contiene el color que se deberá igualar y en la otra es posible variar la cantidad de azul, rojo y verde (figura 3).

Se le da al sujeto tiempo necesario para que vaya modificando la cantidad de los primarios hasta que las dos mitades sean percibidas como iguales. En este momento, podemos definir los *valores triestímulo* como las cantidades de los 3 primarios necesarias para que, mezcladas aditivamente, den como resultado el color a igualar.

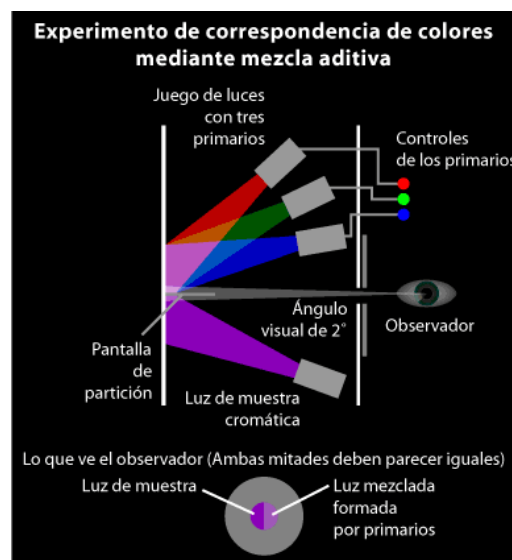


Figura 3 (<http://www.gusgsm.com/book/export/html/1>): ejemplo de mezcla aditiva para evaluar la percepción cromática.

De esta manera, podemos representar la ecuación tricromática (ecuación 1):

$$Y(C) = Y_c(R) + Y_c(G) + Y_c(B)$$

Esta manera de caracterizar un color fue adoptada por la Commission Internationale d'Éclairage (CIE) en 1931 y es conocido como Sistema RGB. Dicho sistema recoge toda la representación de colores que podemos percibir como combinación de tres primarios, definidos como un rojo de 700nm, un verde de 546.1nm y un azul 435.8nm <sup>(29)</sup>.

La CIE ideó un experimento para conocer los valores triestímulos que un observador patrón requeriría igualando colores espectrales puros a partir de un blanco equienergético. De este modo, tales cantidades de primario estarían tabuladas y ello permitiría que diferentes experimentadores utilizaran los mismos datos referentes al observador sin necesidad de realizar físicamente las igualaciones mediante los dos semicampos (figura 3). El resultado de tal experimento, una vez tabulado y representado gráficamente, son las denominadas *funciones de igualación del color*.

El sistema RGB (figura 4) tiene algunos inconvenientes: ningún valor triestímulo representa la luminosidad y puede dar lugar a valores triestímulo negativos, lo que implica que algunos colores son imposibles de igualar mediante mezclas aditivas de esos 3 primarios. La solución es que uno de los primarios se sume al color problema en el mismo semicampo. Por estas y otras razones, la CIE definió el sistema XYZ <sup>(30)</sup>.

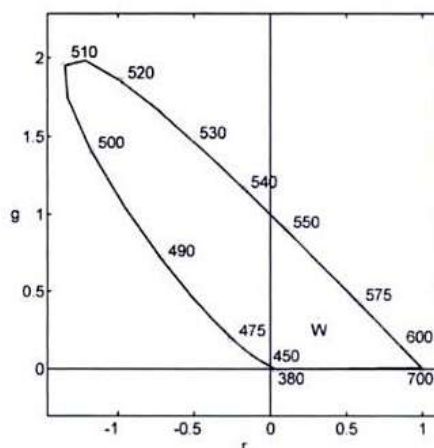


Figura 4 (*Fundamentos de colorimetría*, ISBN: 84-370-5420-6): diagrama cromático RGB, nótese que existen valores negativos y positivos.

En el sistema XYZ la luminosidad se caracteriza mediante la variable Y y todos los colores pueden ser igualados mediante mezcla aditiva de 3 primarios. Sin embargo, en el sistema XYZ los primarios son irreales: sólo existen matemáticamente.

El paso de espacio RGB a XYZ se realiza de esta manera (ecuación 2):

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{380}^{780} P_{0\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \\
 Y &= k \sum_{380}^{780} P_{0\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \\
 Z &= k \sum_{380}^{780} P_{0\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda
 \end{aligned}$$

De estas fórmulas debemos saber que:  $P_{0\lambda}$  es la potencia radiante espectral de la fuente de luz,  $\rho_{\lambda}$  (o  $\tau_{\lambda}$ ) es la información referente al objeto (si éste es opaco o transparente) y que  $\bar{x}_{\lambda}$ ,  $\bar{y}_{\lambda}$  y  $\bar{z}_{\lambda}$  son las funciones de igualación, es decir, la respuesta del observador patrón en el sistema XYZ.

La  $k$  depende de la fuente de iluminación y permite que el valor máximo de  $Y$  sea 100 (ecuación 3):

$$k = \frac{100}{\sum_{380}^{780} P_{o\lambda} \cdot \overline{y_{\lambda}} \cdot \Delta\lambda}$$

De esta manera, en los valores triestímulos aparecen los tres factores que nos permiten calcular un color determinado: luz, objeto y observador.

Existen dos observadores patrón definidos por la CIE para el sistema XYZ: el de 1931 o de campo restringido (2º) y el de 1964 o de campo extenso (10º). El de campo extenso se creó porque la percepción del color es diferente si el tamaño del campo aumenta y se utiliza cuando las medidas de las muestras son superiores a 2º.

Como a la hora de catalogar un color es difícil hacerse una idea de éste a partir de sus valores triestímulo ( $X, Y, Z$ ), es posible transformarlos en las denominadas coordenadas cromáticas ( $x, y$ ) y representarlas en un diagrama cromático (figura 5). El locus espectral representa las coordenadas cromáticas de los colores espectrales puros. La manera de obtener las coordenadas cromáticas se representa en la tabla 1 y, junto con el valor triestímulo  $Y$  que informa sobre la claridad, ya es posible especificar un color de manera unívoca en el espacio XYZ<sup>(31)</sup>.

Tabla 1. Coordenadas cromáticas en el espacio XYZ.

$x = \frac{X}{X+Y+Z}$
$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$

En el centro del locus espectral se sitúa el blanco  $y$ , a su alrededor, los colores menos saturados. A medida que nos acercamos al locus espectral aparecen los colores más intensos o puros.

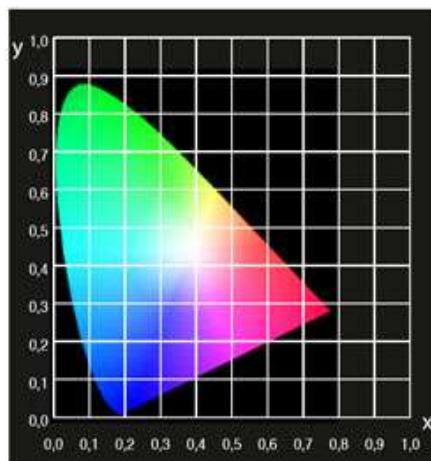


Figura 5 (<http://www.gugsm.com/book/export/html/428>): diagrama cromático del sistema XYZ.

## 2.3 Clasificación de las anomalías de la visión del color

Una primera aproximación para clasificar las diferentes anomalías cromáticas es estudiar su origen. En función de éste, se definen las anomalías congénitas y las adquiridas.

Una anomalía cromática congénita se presenta desde el nacimiento, tiene un tipo de defecto y una gravedad parecida en ambos ojos, es constante durante toda la vida, es fácil de clasificar durante la evaluación, suelen ser mayoritariamente un defecto tipo rojo-verde, no tienen la agudeza visual ni el campo visual afectados y son más comunes en hombres.

Por otro lado, una anomalía adquirida se caracteriza por aparecer después del nacimiento, no tiene por qué aparecer en ambos ojos, el defecto depende de la progresión de la causa originaria, los resultados obtenidos durante la evaluación suelen ser difíciles de clasificar, normalmente son defectos en el eje azul-amarillo, pueden tener la agudeza visual o el campo visual o ambos reducidos y afectan tanto a hombres como a mujeres. Este tipo de defectos cromáticos suelen ser secundarios a patologías sistémicas u oculares, como la diabetes <sup>(32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39)</sup> o debidos a la edad <sup>(40, 41)</sup>, aunque también se han descrito casos de alteraciones en la visión del color por intoxicación de diversos principios activos como la Cloroquina o el Etambutol.

Una persona sin defectos cromáticos posee tres tipos distintos de conos en su retina denominados S, M y L (figura 6). Cada uno de ellos contiene un fotopigmento distinto.

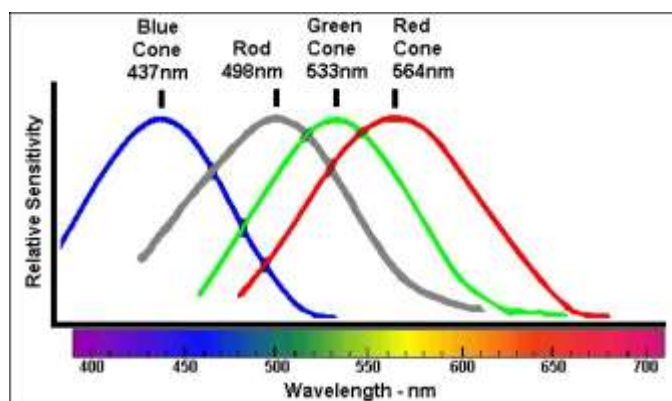


Figura 6 (<http://www.deltagearinc.com/FlashlightFacts.htm>): curvas de sensibilidad de los diferentes fotopigmentos.

Los tricrómatas normales son capaces de reproducir prácticamente cualquier color a través de la suma en proporciones adecuadas de los tres colores primarios aditivos (rojo, verde y azul). La persona que no puede realizar dicha combinación o que necesita más cantidad de luz de una parte del espectro que de otra padece de *discromatopsia*. Las discromatopsias se dividen en *anopías* y *anomalías*, correspondiendo las primeras a la falta de uno de los tres tipos de conos en la retina (sujetos dicrómatas) y las segundas, a la presencia de tres tipos de conos, pero siendo dos de ellos muy similares en sus espectros de absorción (tricrómatas anómalos). La discriminación cromática de éstos últimos se asemeja bastante a la de los dicrómatas, aunque es algo mejor. Los dicrómatas se denominan protanopes si el cono ausente es de tipo L, deuteranopes si falta el cono M o tritanopes si no poseen conos S. Los tricrómatas anómalos se denominan protanómalos, deuteranómalos o tritanómalos en función de cuál sea el cono ( $L'$ ,  $M'$  o  $S'$ ) cuyo espectro está desplazado respecto al tricrómatas normal <sup>(42)</sup>. La figura 7 muestra los espectros de absorción de los fotopigmentos presentes en la retina de los tricrómatas anómalos.

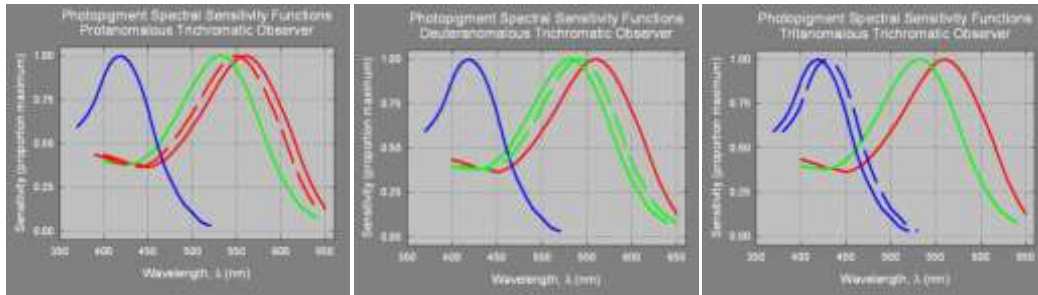


Figura 7 (<http://www.psych.ndsu.nodak.edu/mccourt/Psy460/Color%20Vision/Color%20Vision.html>): espectros de absorción de protanómalos, deuteranómalos y tritanómalos, respectivamente.

Los tricromatas anómalos presentan líneas de confusión en el diagrama cromático (figura 8) Estas líneas marcan todos los colores que son percibidos como iguales <sup>(43, 44)</sup>. En función de cuál sea el tipo de fotorreceptor ausente en las anomalías congénitas, las líneas de confusión tenderán a converger hacia un punto distinto: el denominado punto de confusión, cuyas coordenadas cromáticas son:  $x_p=0.747$  e  $y_p=0.253$  para el protanope, y  $x_d=1.08$  e  $y_d=-0.08$  para el deuteranope <sup>(45)</sup>. El número de líneas de confusión parece ser de 17 en el protanope y de 27 en el deuteranope. Además, aparece el punto de confusión o punto neutro, que es la  $\lambda$  que un dicromata confunde con un blanco o un gris.

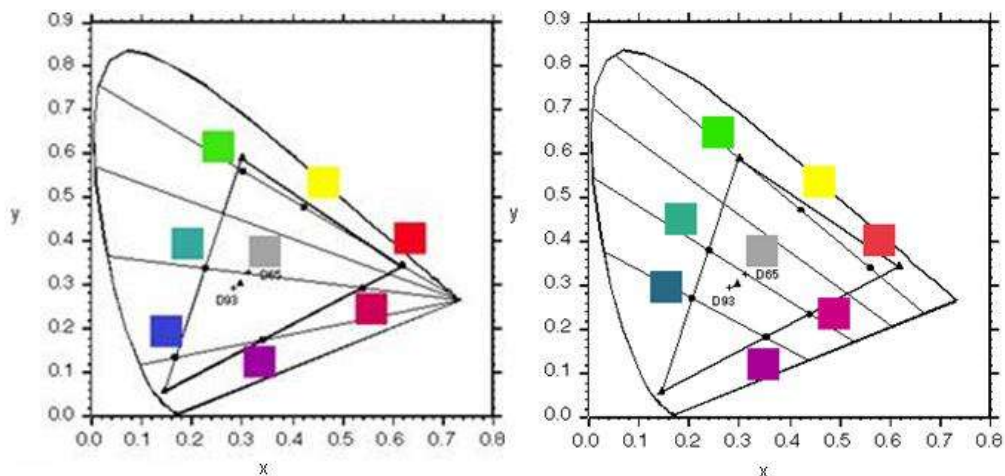


Figura 8 ([http://alexlogan.com/nasa/indiv\\_diffs.html](http://alexlogan.com/nasa/indiv_diffs.html)): líneas de confusión del protanope y del deuteranope, respectivamente

Tal como se indicó en la introducción, el porcentaje de anomalías congénitas presentes en la población que se obtiene de manera más frecuente en la bibliografía gira alrededor del 8% de los hombres. Pero la frecuencia de los defectos no es la misma; parece ser que las anomalías en general son más frecuentes que las anopías. Para la población masculina, la deuteranomalía representa un 5% y la protanomalía, deuteranopía y protanopía un 1%, respectivamente <sup>(46)</sup>. La tritanomalía o la tritanopía son realmente inusuales y casi siempre de tipo adquirido, como se ha comentado anteriormente.

Tabla 2. Porcentajes de anomalías cromáticas en la población masculina (adaptado de Birch, 1993 <sup>(46)</sup>).

Tipo de defecto cromático	Prevalencia en población masculina
Deuteranomalía	5%
Protanomalía	1%
Deuteranopía	1%
Protanopía	1%
<b>Total</b>	<b>8%</b>



## 2.4 Dimensiones perceptuales del color en función de los fotorreceptores presentes

El principio de la visión cromática implica que los fotones captados por los fotorreceptores se transformen en impulsos eléctricos que el cerebro codificará como estímulos cromáticos. Vamos a determinar qué atributos psicofísicos del color somos capaces de percibir en función del número de fotorreceptores diferentes que existan en la retina. El caso más sencillo es el del monocrómata, llamado así porque sólo tiene un tipo de fotorreceptor (normalmente, bastones). Su curva de sensibilidad será la de los bastones cuyo pico está en torno a los 500nm (figura 9). Si le presentamos dos estímulos de luz monocromática diferentes, uno de 500nm y otro de 575nm, de 1000 fotones cada uno, teniendo en cuenta la curva de sensibilidad, este pigmento absorberá 100 fotones de 500nm y 15 fotones de 575nm. Puesto que la cantidad de fotones absorbidos de cada  $\lambda$  es diferente, el sujeto será capaz de diferenciar ambos estímulos en claridad o luminosidad <sup>(47)</sup>.

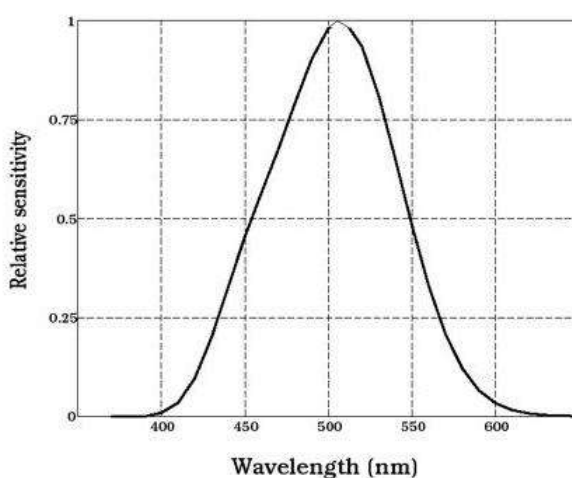


Figura 9 (<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/color/color.html>): curva de sensibilidad espectral de los bastones.

Imaginemos que la luz monocromática de 500nm la dejamos a la misma intensidad (1000 fotones), pero aumentamos la de 575nm a 6667 fotones. Ahora el sujeto experimentará la sensación de ver los dos estímulos iguales aún siendo de  $\lambda$  diferentes; este hecho es el resultado de que la cantidad de fotones absorbida por los bastones es la misma para ambas  $\lambda$ .

Nótese que en este caso tenemos estímulos diferentes en cuanto a intensidad y en cuanto a la  $\lambda$ , pero el sujeto sólo podrá informar de la sensación de **luminosidad** de cada uno de ellos.

Imaginemos ahora que tenemos un sujeto dicrómata; un sujeto que tiene dos tipos distintos de fotorreceptores en su retina.

Lo más común es que las curvas de sensibilidad de los fotorreceptores se superpongan (figura 10).

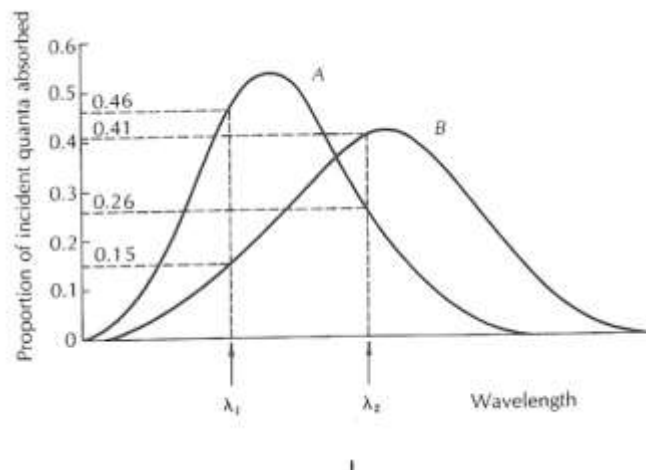


Figura 10 (*Visual Perception*, ISBN: 0155949365): curvas de sensibilidad de dos pigmentos.

Presentamos dos luces monocromáticas de  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  con la misma intensidad de de fotones (1000). La tabla 3 muestra la cantidad de fotones absorbida por cada fotopigmento (condición 1). El sujeto será capaz de discriminar ambos estímulos en lo que se refiere a claridad. Sin embargo, al intentar igualar el número de fotones absorbidos por cada fotorreceptor modificando las cantidades iniciales de energía, no es posible conseguirlo más que para cada fotorreceptor por separado (tabla 3, condiciones 2 y 3).

Tabla 3. Fotones enviados y absorbidos por cada fotopigmento de los representados en la figura 13.

<i>condición</i>	$\lambda_1$		$\lambda_2$			
	Fotones incidentes	Fotones absorbidos	Fotones absorbidos	Fotones incidentes	Fotones absorbidos	Fotones absorbidos
		A	B		A	B
1	1000	460	150	1000	260	410
2	1000	460	150	1770	460	725
3	1000	460	150	366	95	150

Así, el sujeto dicrómata parece ser capaz de discriminar algún atributo psicofísico más del color, aparte de la claridad, y que está ligado a la  $\lambda$ .

Como se ha visto en el punto 2.3, los dicrómatas presentan **líneas de confusión** sobre el diagrama cromático. Ello implica que un dicrómata es capaz de diferenciar al menos algunos tonos, a pesar de que la percepción cromática que tendrá de ellos distará mucho de la de los observadores con visión cromática normal.

Pero el dicrómata, aún pudiendo discriminar ciertos colores, percibe cualquier mezcla de colores igual a un color espectral puro, por lo que no puede diferenciar la saturación. Para poder distinguir entre colores saturados y colores pastel es necesario que actúen simultáneamente tres tipos de fotopigmentos distintos, lo que ocurre en los tricrómatas normales. Los tricrómatas anómalos también pueden distinguir saturaciones, aunque de un modo más reducido de lo normal al tener dos de sus fotopigmentos con curvas de absorción casi idénticas.

En resumen, los monocromatas sólo pueden distinguir la luminosidad de los colores, los dicrómatas pueden distinguir también algunos tonos y, finalmente, los tricrómatas perciben la saturación, además de las dos dimensiones perceptuales anteriormente citadas.

## 2.5 Evaluación clínica de la visión del color

Respecto a la evaluación clínica de la visión del color existen varias pruebas que tienen como objetivo primordial la detección de variaciones en la percepción cromática en comparación con una población estándar y su tipología. Últimamente han aparecido algunos tests un tanto novedosos en cuanto a la forma de presentación ya sea en proyectores <sup>(48)</sup> o en pantallas TFT <sup>(49, 50)</sup> aunque a grandes rasgos veremos ahora su clasificación.

Dichas pruebas se pueden clasificar en tres grupos <sup>(51)</sup>:

- a) Test de detección o “screening” que permiten identificar anomalías de manera rápida.
- b) Test de discriminación.
- c) Test de visión cromática o, más conocidos como, anomaloscopios.

A continuación desarrollaremos un poco cada grupo.

- a) Test de detección o “screening” que permiten identificar anomalías de manera rápida.

Las pruebas de detección o de “screening” son fáciles de realizar para el sujeto, ocupan poco tiempo y pueden administrarse a niños. El ejemplo más claro de este tipo de test son las láminas pseudoisocromáticas. Dichas láminas representan la prueba más utilizada para detectar anomalías en la visión del color.

Las láminas pseudoisocromáticas representan una imagen compuesta por pequeños círculos de diferentes colores sobre un fondo formando una figura (figura 11). La composición cromática de las láminas es elegida de manera que un sujeto con problemas de percepción cromática sea incapaz de descifrar la figura de dicha lámina, para ello se escoge un color de fondo que caiga dentro de la intersección de las líneas de confusión, normalmente protanopes y deuteranopes, y el color de las figuras caen sobre las líneas de confusión de éstos <sup>(52)</sup>. La prueba de láminas pseudoisocromáticas más usada y más validada es el test de Ishihara. Otras menos conocidas son: el American Optical Company Plate o el Tritan Plate F3.



Figura 11 (<http://www.institutoaisenberg.com/esp/estudios/estudios14.html>): test de láminas pseudoisocromáticas de Ishihara.

El test de Ishihara es una prueba que permite detectar un defecto congénito rojo-verde debido a su alta sensibilidad <sup>(53,54)</sup>.

En su versión completa consta de 38 láminas: las 25 primeras representan números y las 13 restantes caminos, siendo idóneas para personas que no saben los números (niños o analfabetos). Además en el mercado es posible encontrar versiones abreviadas de 24 o 14 láminas <sup>(55)</sup>. Si en la realización del test un niño presenta más de tres respuestas erróneas, se sospecha de discromatopsia, aunque debemos tener en cuenta que algunas veces los niños con visión cromática normal cometen fallos <sup>(56, 57)</sup>.

Sin embargo, el test de Ishihara no distingue entre tricrómatas anómalos y dicrómatas; no detecta defectos amarillo-azul y tiene una alta sensibilidad (90-95%) para detectar defectos congénitos, pero con una relativa baja especificidad.

#### b) Test de discriminación.

Dentro del segundo grupo de pruebas clínicas para detectar deficiencias en la visión del color tenemos las pruebas de discriminación cromática. Estas pruebas se basan en la ordenación de piezas de diferentes de colores. El test de referencia en este grupo de pruebas lo representa el Farnsworth-Munsell (figura 12). El inconveniente de estos test es que consumen mucho tiempo, con lo que no son muy idóneos para realizar chequeos y no están recomendados para ser administrados a niños muy pequeños.



Figura 12 (<http://www2.wit.ie/Research/ResearchGroupsCentres/Groups/MPRG/Gallery/LabPhotos/>): test de Farnsworth-Munsell de 100 tonos.

#### c) Anomaloscopios.

Los anomaloscopios son más utilizados en investigación y en Aeronáutica para determinar el estado de la visión cromática de los aspirantes a pilotos <sup>(58)</sup>. El anomaloscopio de Nagel, el más utilizado, permite detectar anomalías en el eje rojo-verde. Existen otros anomaloscopios como el de Neitz o el de Besançon.

El anomaloscopio de Nagel (figura 13) presenta un campo circular partido en dos mitades donde una muestra una radiación amarilla de 589nm y la otra es una mezcla de rojo (670nm) y verde (546nm). El sujeto debe igualar los semicampos hasta que ambas partes presenten un tono uniforme. La luminancia es la misma en las dos mitades.



Figura 13 ([http://daltonien.free.fr/daltonien/article.php3?id\\_article=63](http://daltonien.free.fr/daltonien/article.php3?id_article=63)): anomaloscopio de Nagel.

Los resultados permiten clasificar a los sujetos discromatópicos: los protanómalos necesitan más rojo en su mezcla de color y los deuteranómalos más verde que los tricrómatas normales. Por otro lado, los dos tipos de dicrómatas perciben iguales ambos semicampos, por lo que no les es posible realizar la prueba a igualdad de luminancia entre ambos semicampos.

### 3. Método y resultados

#### 3.1. Determinación de la frecuencia de libros utilizados en los colegios catalanes

La primera parte de nuestro estudio consistió en determinar la frecuencia de libros utilizados (nombre del libro y editorial) por los CEIP catalanes. En primer lugar, realizamos una visita a 3 centros para tener una primera idea de cuáles eran los libros que más utilizaban el color como recurso para resolver ejercicios. Los colegios visitados fueron el CEIP La Roda (Terrassa), el CEIP Guerau de Peguera (Torrelles de Foix) y el CEIP Estel (Molins de Rei). Se constató que las asignaturas de matemáticas, lengua catalana y lengua castellana eran las que utilizaban mayoritariamente el color. Se aprovechó, también para determinar cuántos niños presentaban alguna discromatopsia en tales centros.

Se accedió a la página web de la Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya gestionada por la Generalitat de Catalunya (<http://www.xtec.es/>) con la finalidad de obtener los datos de contacto de los diferentes CEIP de toda la geografía catalana. Se enviaron un total de 300 correos electrónicos solicitando a los centros que nos refirieran qué libros de texto utilizaban, si es que era el caso, para impartir las asignaturas de matemáticas, lengua catalana y lengua castellana.

El hecho de contactar con los diferentes centros resultó ser un proceso arduo y poco exhaustivo, por lo que se decidió contactar con la Directora General d'Ordenació i Innovació Educativa del Departament d'Educació i Universitats de la Generalitat de Catalunya (señora M. Isabel Darder Giménez-Zadaballisson), para ver si ellos disponían de datos oficiales sobre los libros más utilizados en los CEIP catalanes. La respuesta del gabinete fue que no se disponía de tal información, pero que quizás la Asociación Nacional de Editores de Libros y Material de Enseñanza (ANELE) la tuviera. El contacto con ANELE (<http://www.anele.org/>) no aportó la información deseada, pero se halló un directorio de las diferentes editoriales que resultó ser de gran utilidad para la última etapa de nuestro estudio.

De los 300 correos electrónicos enviados, contestaron 54 pero, en total, se obtuvo la información de 88 escuelas: a las 54 anteriores hay que sumar 31 escuelas que muestran el listado de libros utilizados en su página web y las tres escuelas visitadas (Ver Apéndices). De las 88 escuelas del total, 16 de ellas no usaban ningún libro de texto con lo que la lista final contiene los libros de texto usados en 72 centros de primaria.

Las figuras 13-19 muestran los histogramas de frecuencia de libros utilizados en las diversas asignaturas y cursos analizados. Entre paréntesis figura la editorial de cada libro en concreto. Para el caso de la asignatura de matemáticas para P5 se incluye una carpeta de fichas de conocimiento general que trabajan esta materia de manera particular y que no se especifican como material de matemáticas de manera específica.

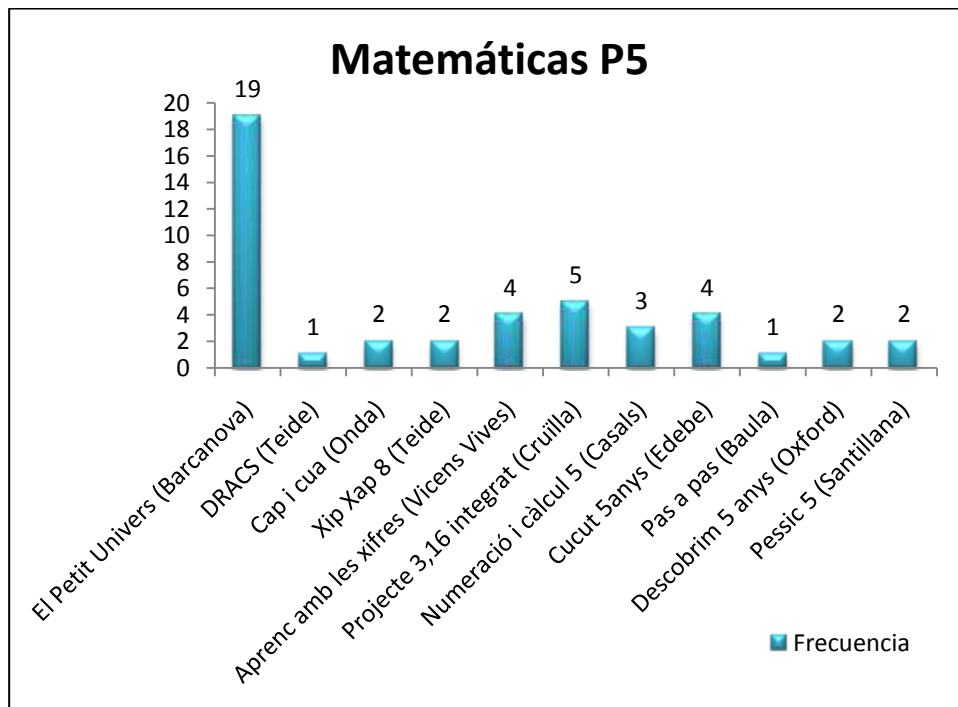


Figura 13: distribuci3n de material per matemàtiques de P5 (incluïdo en carpeta de temàtiques diverses).

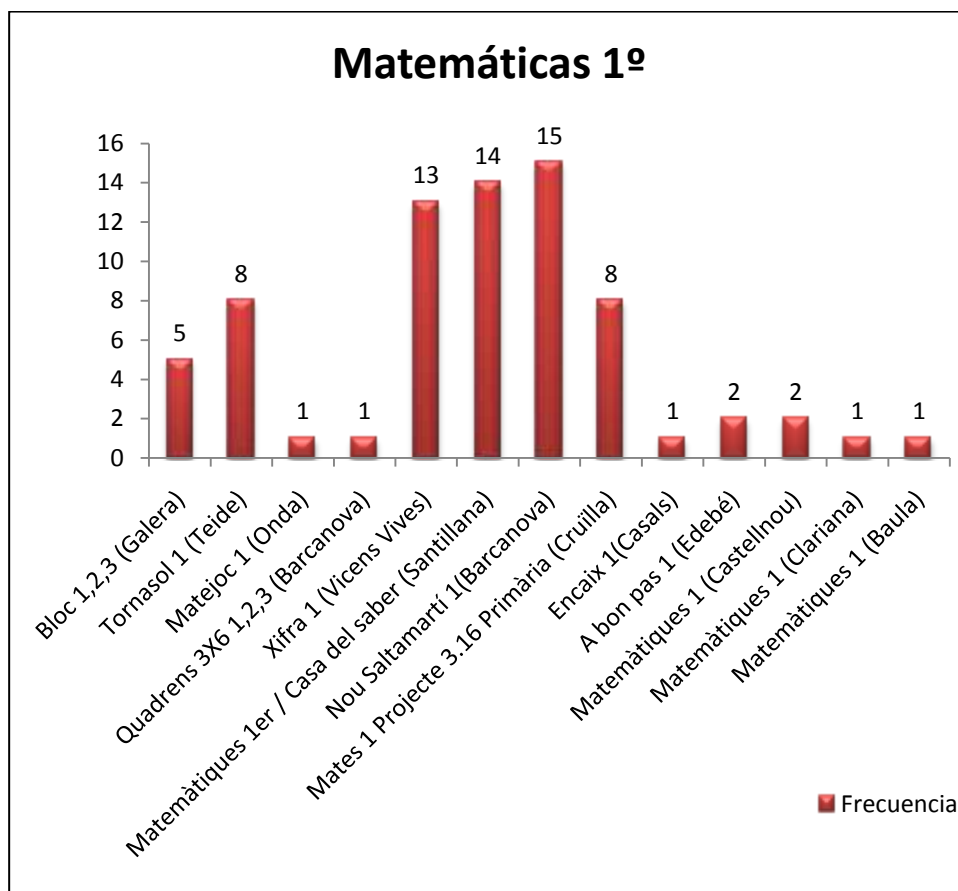


Figura 14: distribuci3n de llibres utilitzats en 1º per la assignatura de matemàtiques.

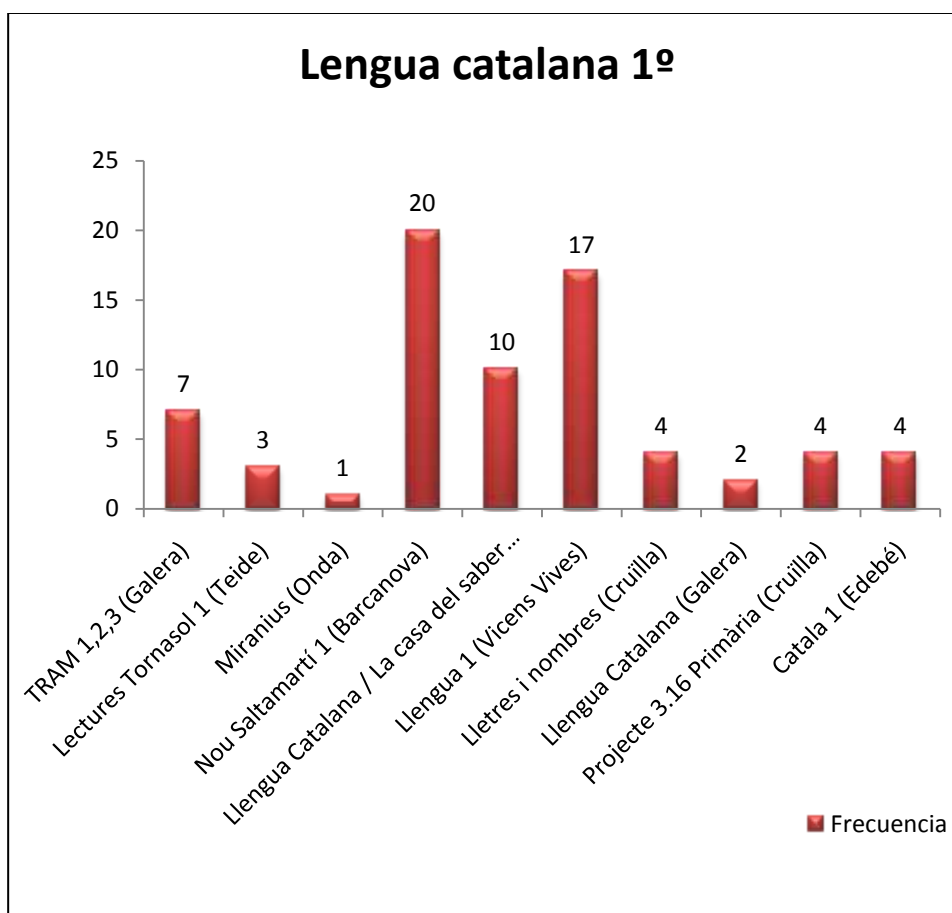


Figura 15: distribución de libros utilizados en 1º para la asignatura de lengua catalana.

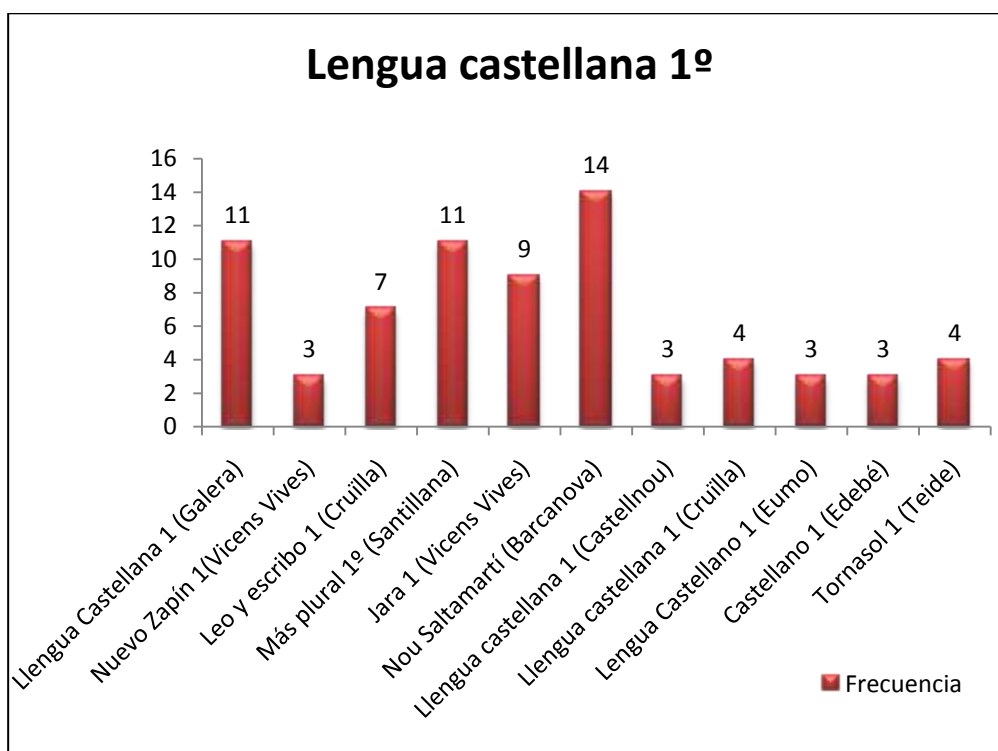


Figura 16: distribución de libros utilizados en 1º para la asignatura de lengua castellana.



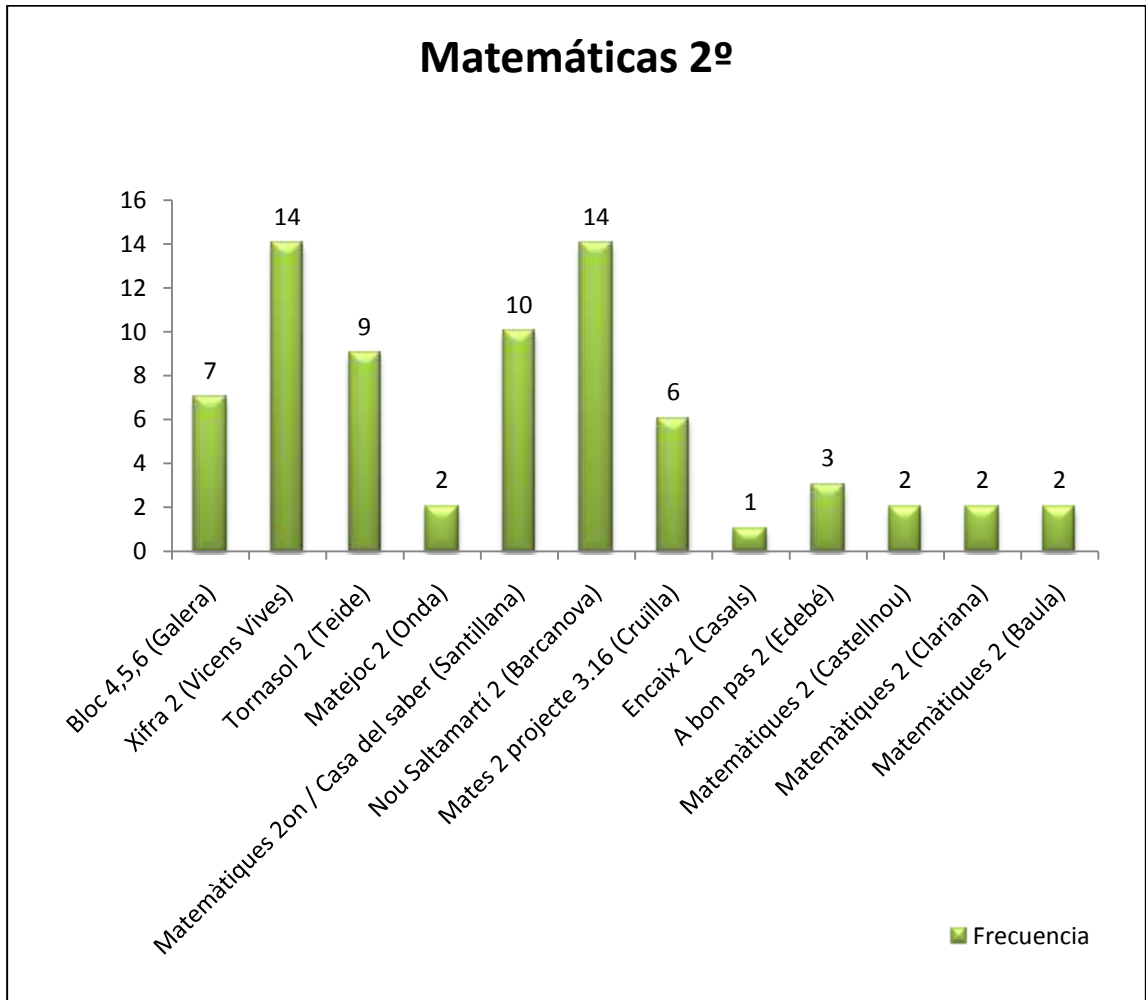


Figura 17: distribución de libros utilizados en 2º para la asignatura de matemáticas.

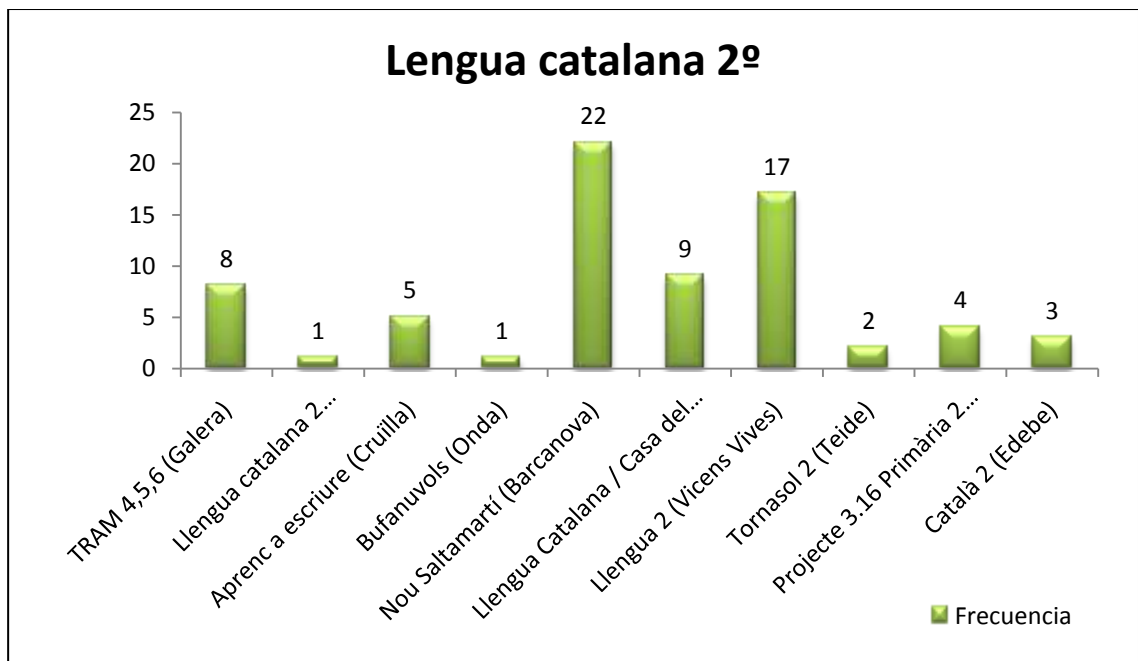


Figura 18: distribución de libros utilizados en 1º para la asignatura de lengua catalana.

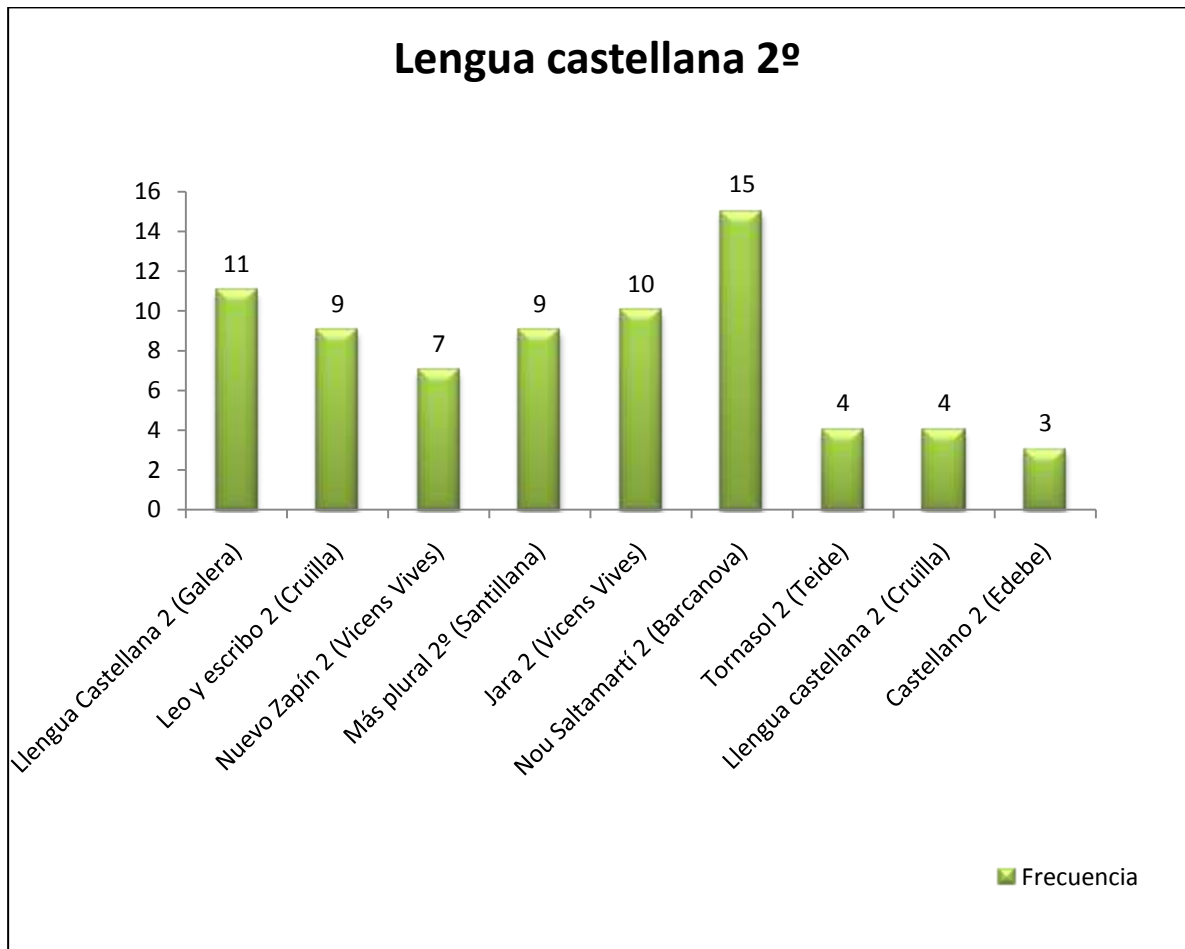


Figura 19: distribución de libros utilizados en 1º para la asignatura de lengua castellana.

Para poder analizar el mayor número de libros de texto comercializados, se contactó con un distribuidor de material escolar (Abacus) que nos permitió la consulta de todo el material escolar de que ellos disponían, concretamente se analizaron 30 libros de los tres niveles y de editoriales diferentes (Ver Apéndices).

Las gráficas que se presentan a continuación muestran qué porcentaje de páginas tienen ejercicios que pueden ser dificultosos o imposibles de realizar por un niño discromatópsico. La manera de proceder para tal objetivo fue marcar como página errónea cualquiera que tuviera un ejercicio basado en el color para su realización de manera correcta y en el cual el niño debiera discriminar al menos tres tonalidades diferentes o dos tonalidades, en el caso de que estas dos fueran rojo y verde. De esta manera, una página correcta fue aquella que no contenía ejercicios basados en el color para su realización o, que si los tenía, eran dos colores cualesquiera, sin mezclar rojo, amarillo o verde. De esta manera se presentan, para cada nivel, el porcentaje de libros que contienen páginas que, bajo la condición antes descrita, son a nuestro parecer erróneas.

Las figuras 20-26 muestran la frecuencia de páginas erróneas halladas para cada libro de los analizados. Para el caso de matemáticas de P5 ocurre lo mismo que en el caso de las frecuencias; se trata de libros que trabajan las matemáticas conjuntamente con otros conocimientos.

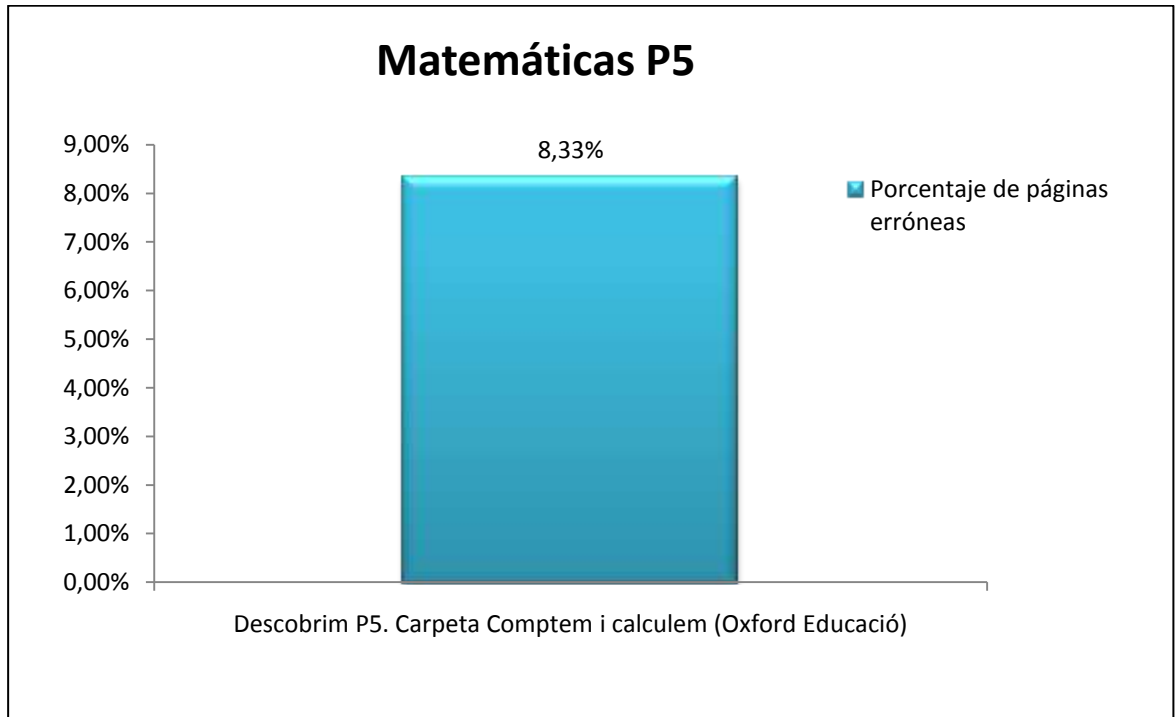


Figura 20: porcentaje de páginas erróneas en material de matemáticas de P5.

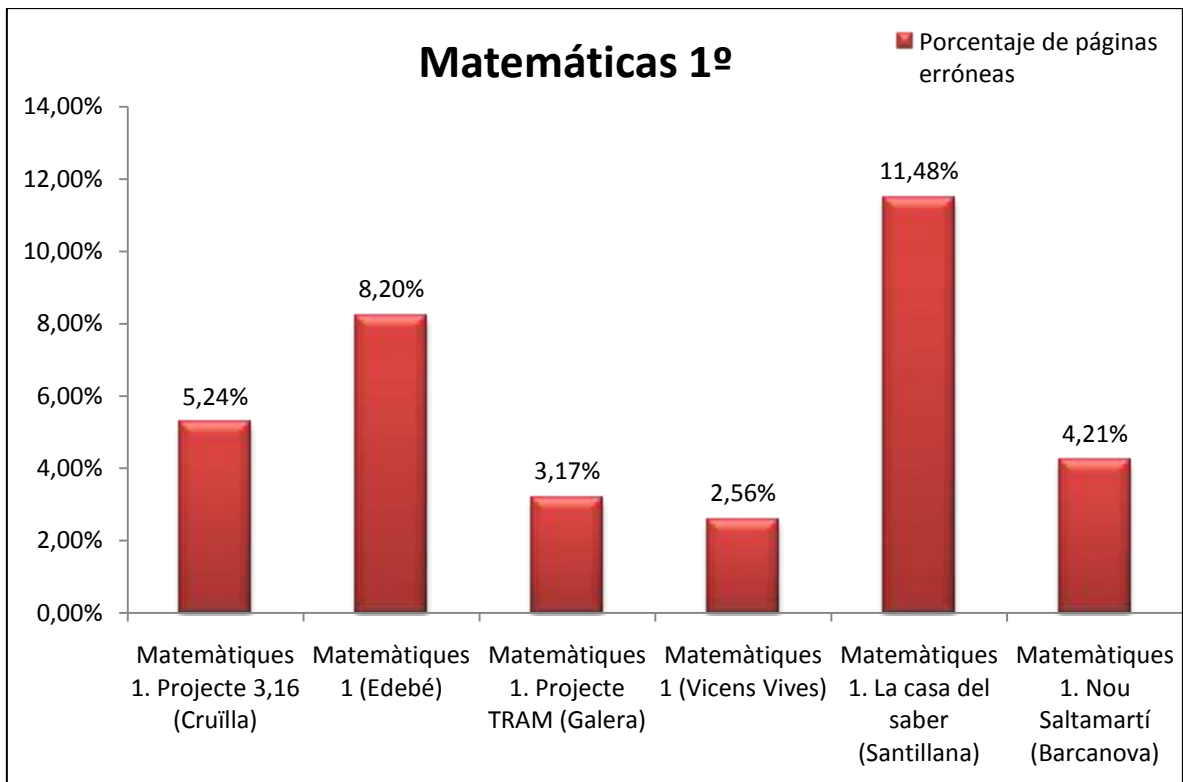


Figura 21: porcentaje de páginas erróneas en libros de matemáticas de 1º.

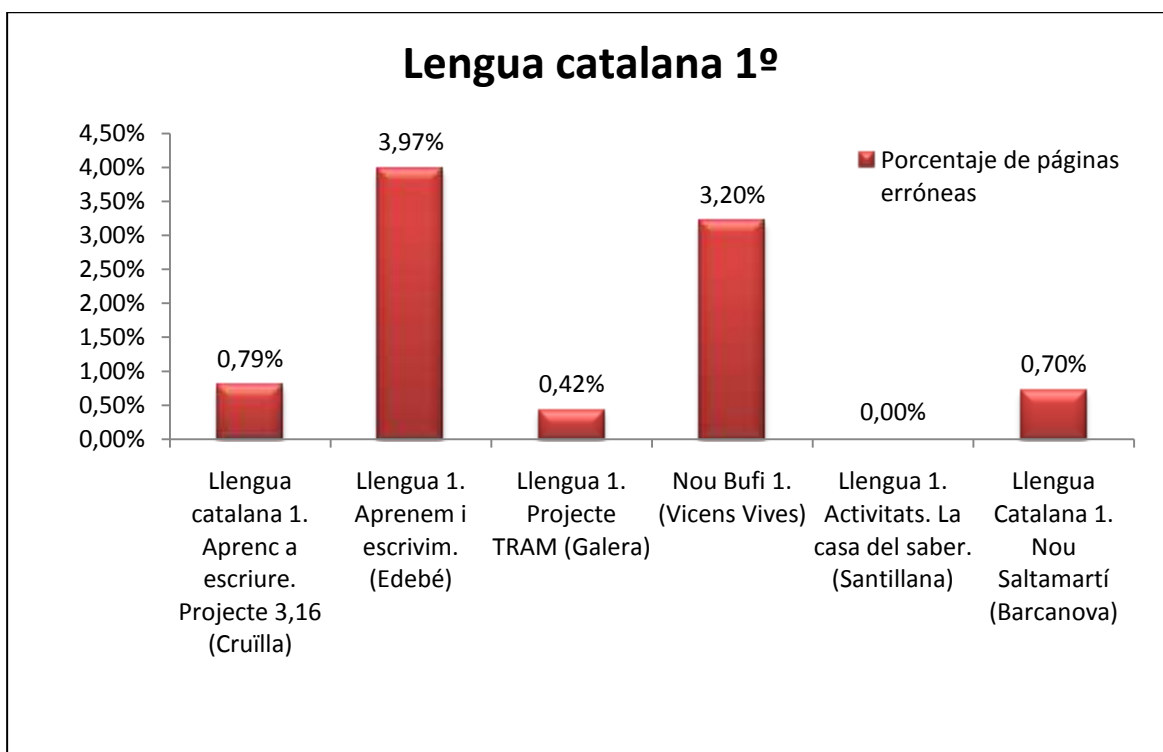


Figura 22: porcentaje de páginas erróneas en libros de lengua catalana de 1º.

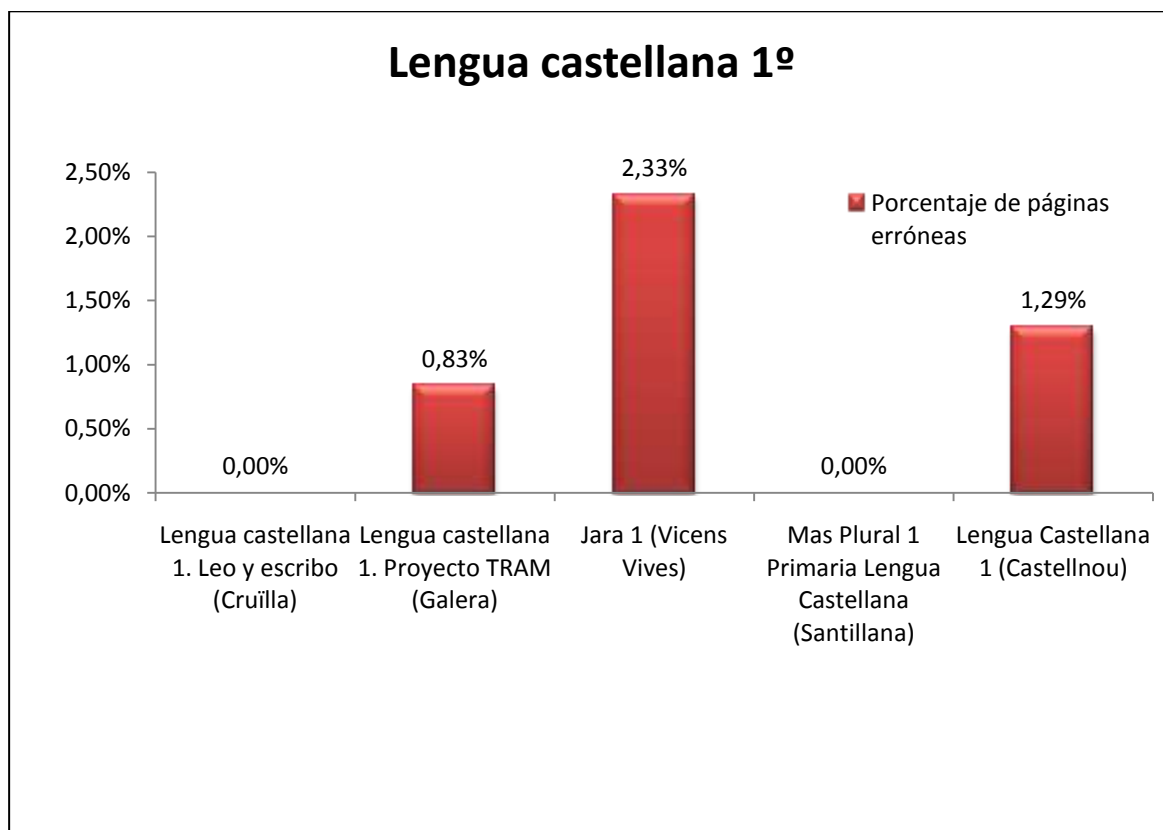


Figura 23: porcentaje de páginas erróneas en libros de lengua castellana de 1º.

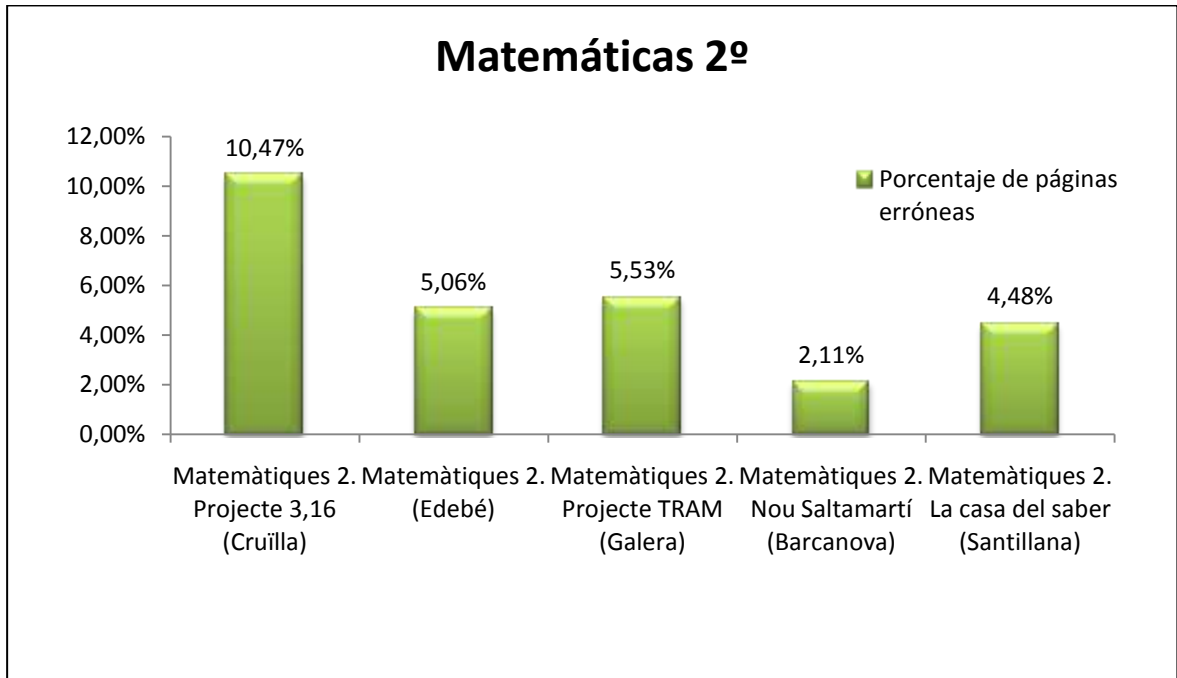


Figura 24: porcentaje de páginas erróneas en libros de matemáticas de 2º.

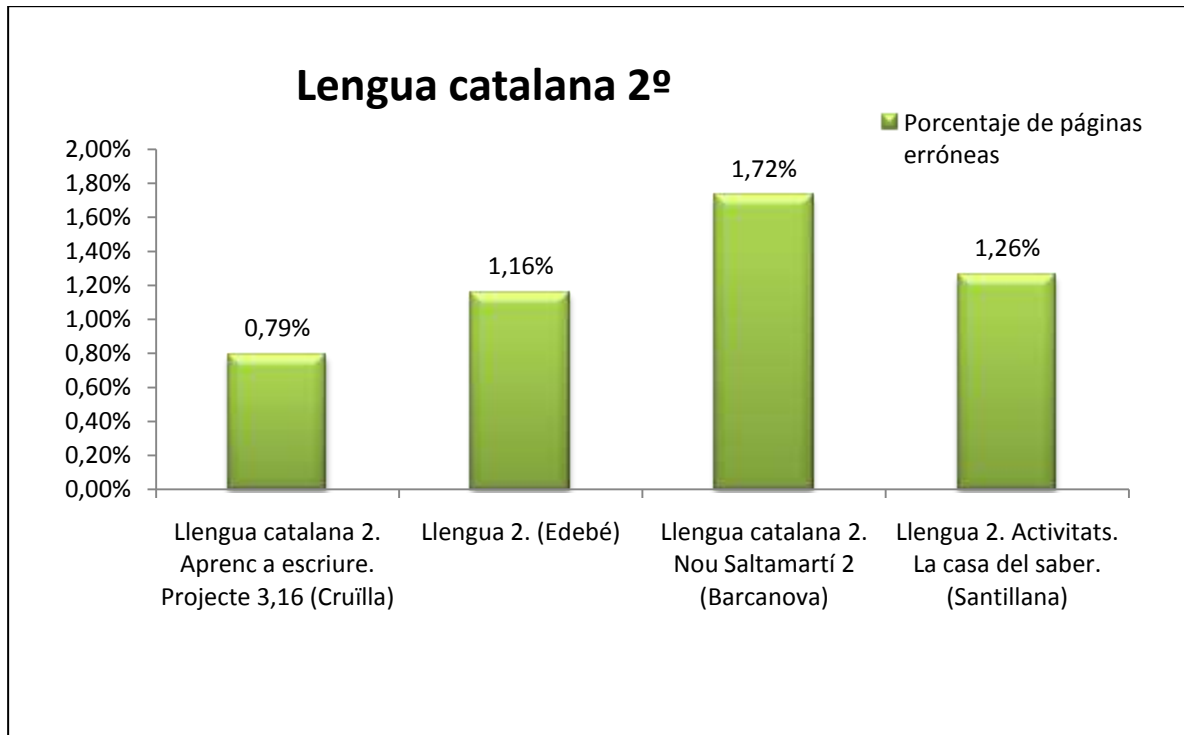


Figura 25: porcentaje de páginas erróneas en libros de lengua castellana de 2º.

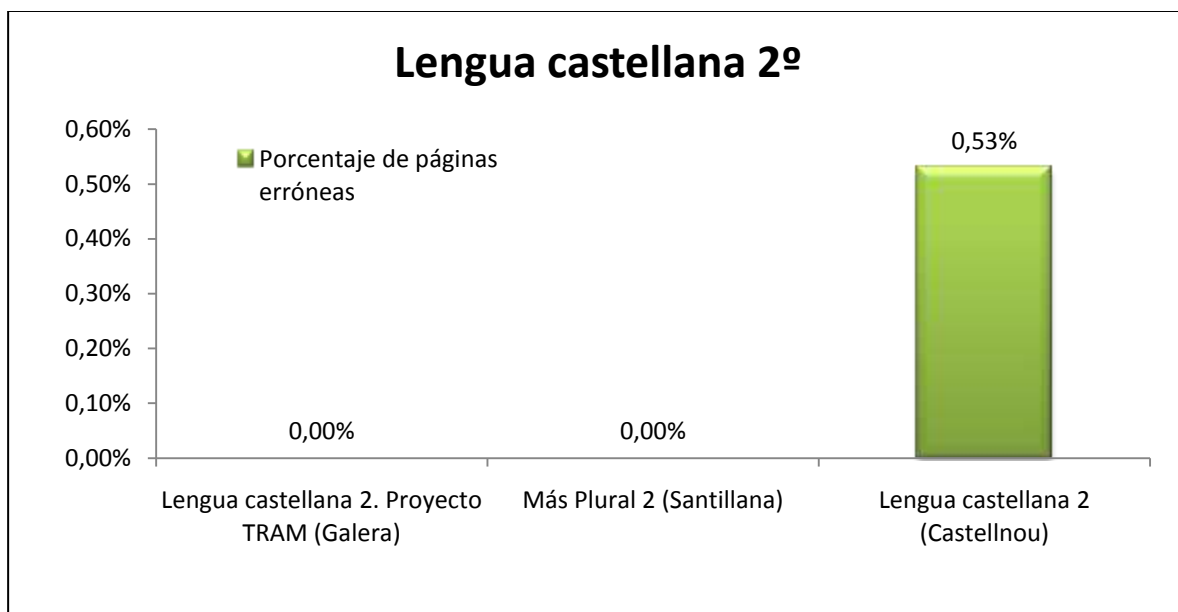


Figura 26: porcentaje de páginas erróneas en libros de lengua castellana de 2º.

Del análisis realizado se deduce que el mayor porcentaje de páginas incorrectas se halla en los libros de matemáticas.

### 3.2. Análisis colorimétrico de los libros

En cuanto a la segunda parte de nuestro estudio, se eligieron algunos de los libros usados por los colegios. La tabla 4 muestra las páginas y ejercicios seleccionados para cada libro.

Tabla 4. Ejercicios analizados colorimétricamente.

LIBRO	EDITORIAL	CURSO	PÁGINAS-EJERCICIOS
<i>Nou Saltamartí</i>	Barcanova	1º	26, ej.11
<i>Nou Saltamartí</i>	Barcanova	2º	35, ej.5 y 145, ej. 13
<i>Matemàtiques</i>	Santillana	1º	140, ej. 14
<i>Matemàtiques</i>	Santillana	2º	58, ej. 14 y 65, ej. 3
<i>Lengua Castellana</i>	Castellnou	1º	14, ej.2
<i>Descobrim</i>	Oxford	P5	23

Los libros analizados son los que fueron prestados por el CEIP La Roda y por Grup Promotor Santillana. Se ha intentado seleccionar material de diversas editoriales y de diversos cursos para obtener la mayor variedad posible.

Se analizaron con un espectralímetro modelo SpectraScan® 715 de Photoresearch, situado en el Laboratorio del Grup d'Òptica Aplicada i Processament d'Imatges (GOAPI) en la EUOOT. Este instrumento registra los valores triestímulo en el espacio XYZ de un objeto bajo una fuente de iluminación determinada. Se utilizó iluminante D65 y observador patrón CIE 1931 (2º).

El análisis colorimétrico se realizó en algunos ejercicios, ya que muchos colores se repiten en diversos ejercicios a lo largo del mismo libro. En total, se analizaron 8 páginas de seis libros (tabla 4).

Las figuras 27-34 muestran los ejercicios seleccionados y el diagrama cromático de cada uno de ellos donde se muestran las coordenadas cromáticas de los colores analizados. En los diagramas cromáticos aparecen también algunas líneas de confusión trazadas de forma aproximada, en rojo para el protanope y en verde para el deuteranope, así como el punto de confusión del protanope, representado con una marca en el lado derecho del diagrama ( $x_p=0.747$ ,  $y_p=0.253$ ). El punto de confusión del deuteranope ( $x_d=1.08$  e  $y_d=-0.08$ ) no aparece porque, al estar muy alejado de los límites del diagrama cromático, comprometería la representación de las gráficas.

Página 26, ejercicio 11 de *Nou Saltamartí 1* (ISBN: 978-84-489-2015-9) de matemáticas de Editorial Barcanova (figura 27).



Figura 27a: ejercicio en el cual el niño debe reconocer cada figura y pintar los cubos del mismo color.

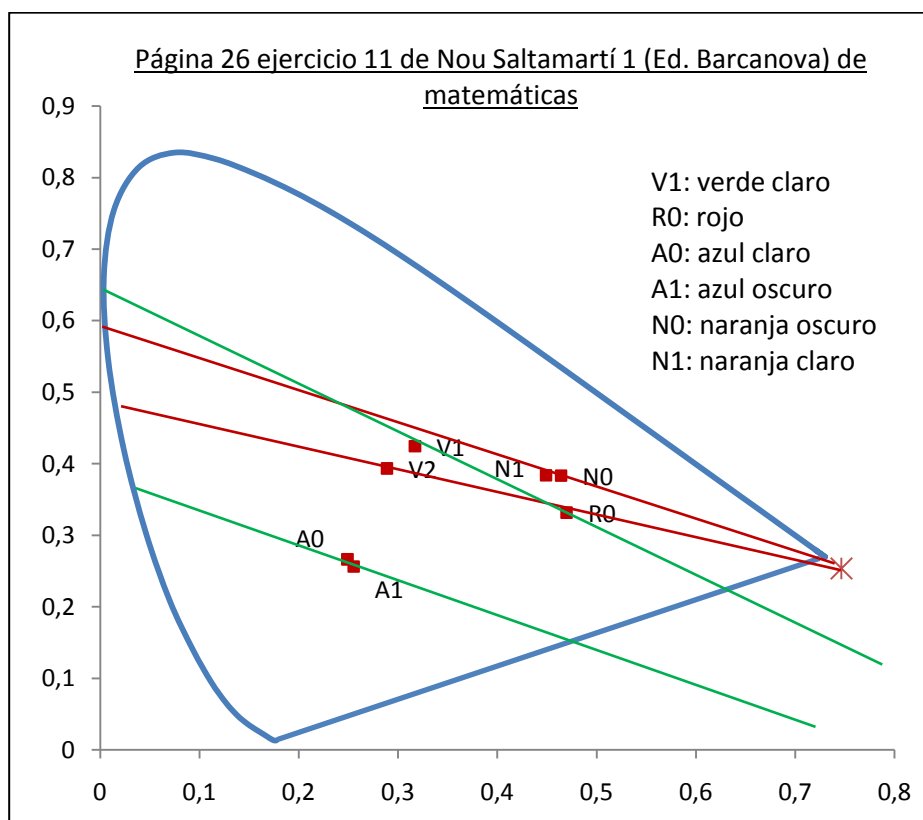


Figura 27b: diagrama cromático y líneas de confusión.

Página 35, ejercicio 5 de *Nou Saltamartí 2* (ISBN: 978-84-489-2018-0) de matemáticas de Editorial Barcanova (figura 28).

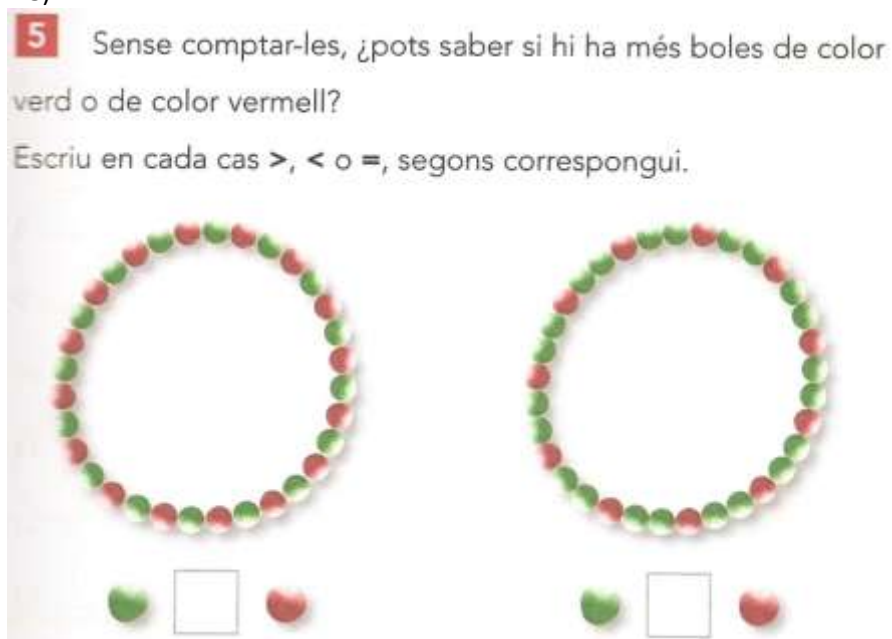


Figura 28a: ejercicio en el cual el niño debe reconocer si hay más bolas verdes o rojas.

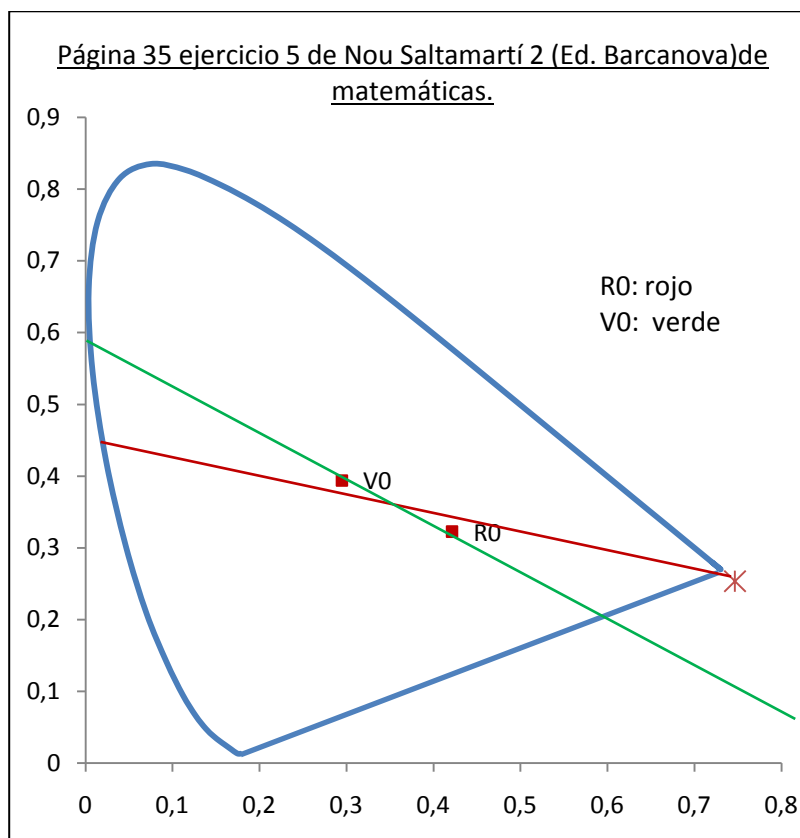


Figura 28b: diagrama cromático y líneas de confusión.



### 13 Fixa-t'hi bé i continua:



Figura 29a: ejercicio en el cual se propone seguir la serie.

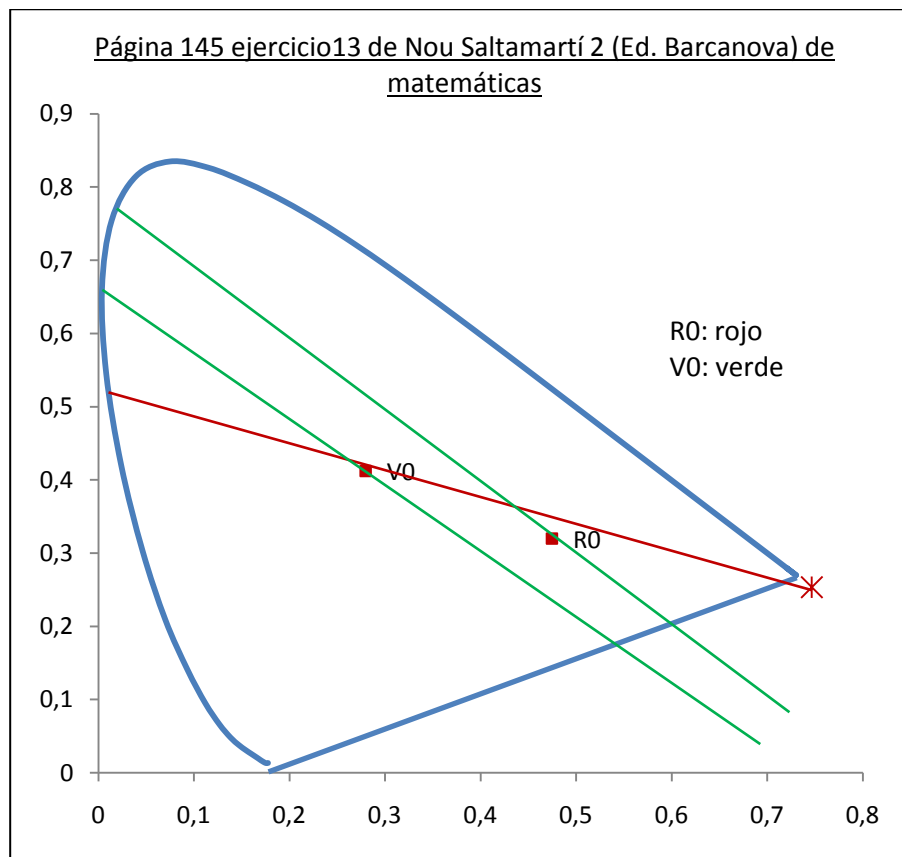


Figura 29b: diagrama cromático y líneas de confusión.

Página 140, ejercicio 14 de *Matemàtiques 1* (ISBN: 978-84-791-8182-6) de Editorial Santillana (figura 30).

14 *Escriu cap a on gira la ruleta i pinta l'última.*

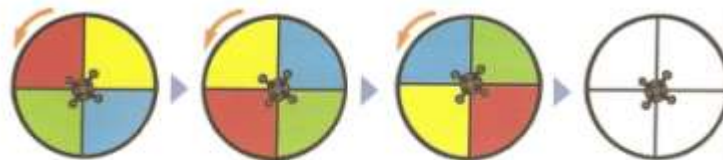


Figura 30a: ejercicio en el cual se propone pintar los cuatro colores de manera consecutiva, nótese que el verde y el rojo están contiguos.

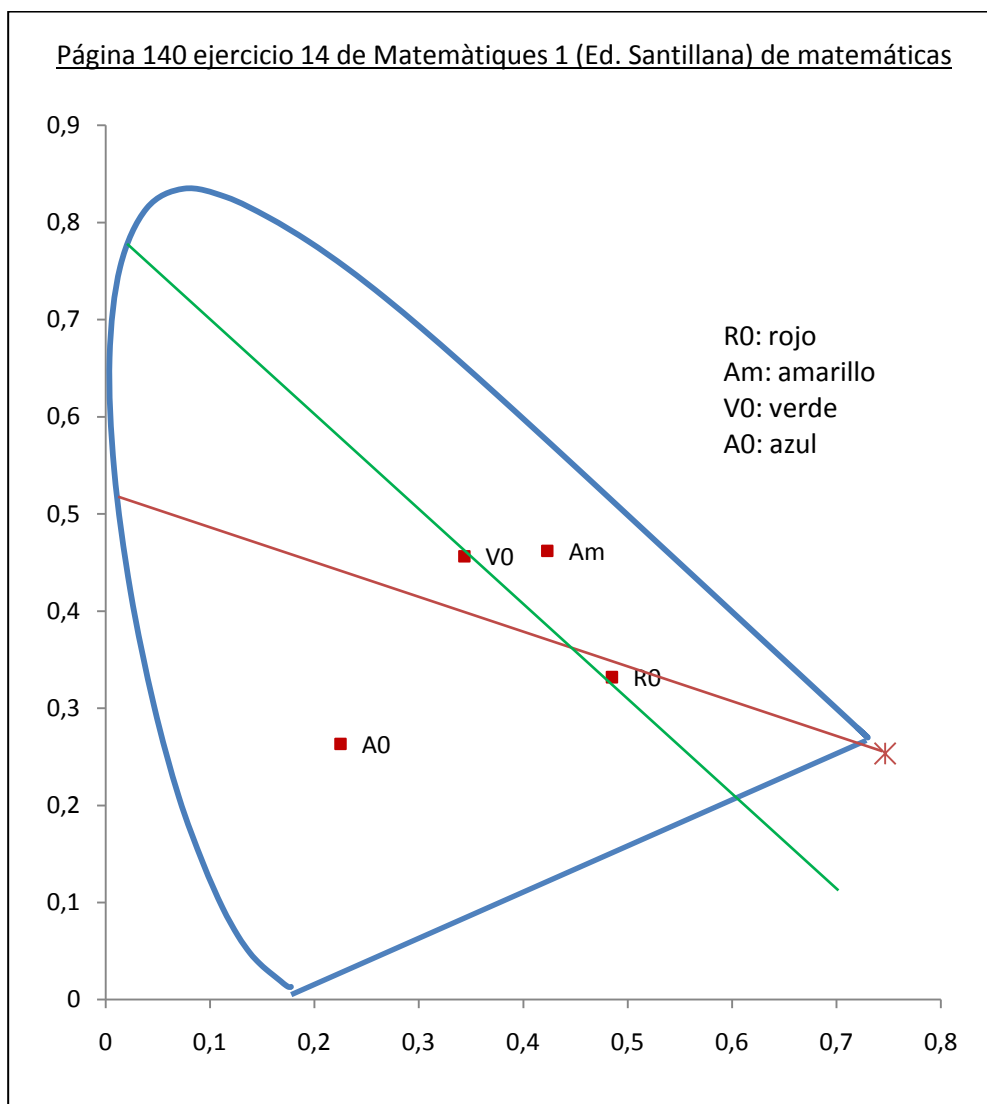



Figura 30b: diagrama cromático y líneas de confusión.

**14** Pinta la part de la dreta igual que la part de l'esquerra.  
Després acaba les frases.



La figura vermella té forma de \_\_\_\_\_.

La figura taronja té forma de \_\_\_\_\_.

La figura groga té forma de \_\_\_\_\_.

La figura blava té forma de \_\_\_\_\_.

Figura 31a: ejercicio en el cual debemos pintar cada figura de su color y definirla.

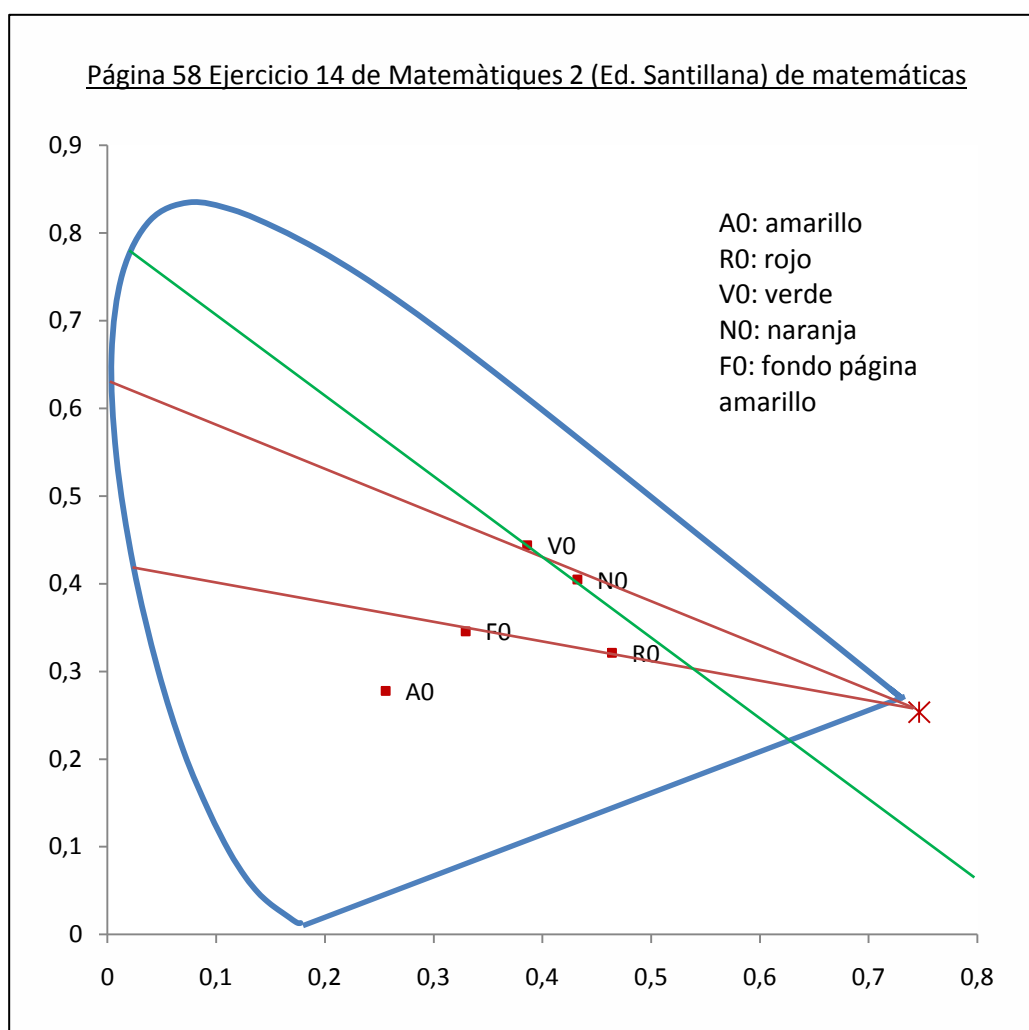


Figura 31b: diagrama cromático y líneas de confusión.

3 Fixa't en els nombres de les boles i calcula les operacions.

● + ● + ●	● + ● + ●	● + ● + ●
□	□	□
□	□	□
○ □	○ □	○ □
□	□	□

Figura 32a: ejercicio en el cual se debe elegir cada bola del color correspondiente y realizar una operación matemática.

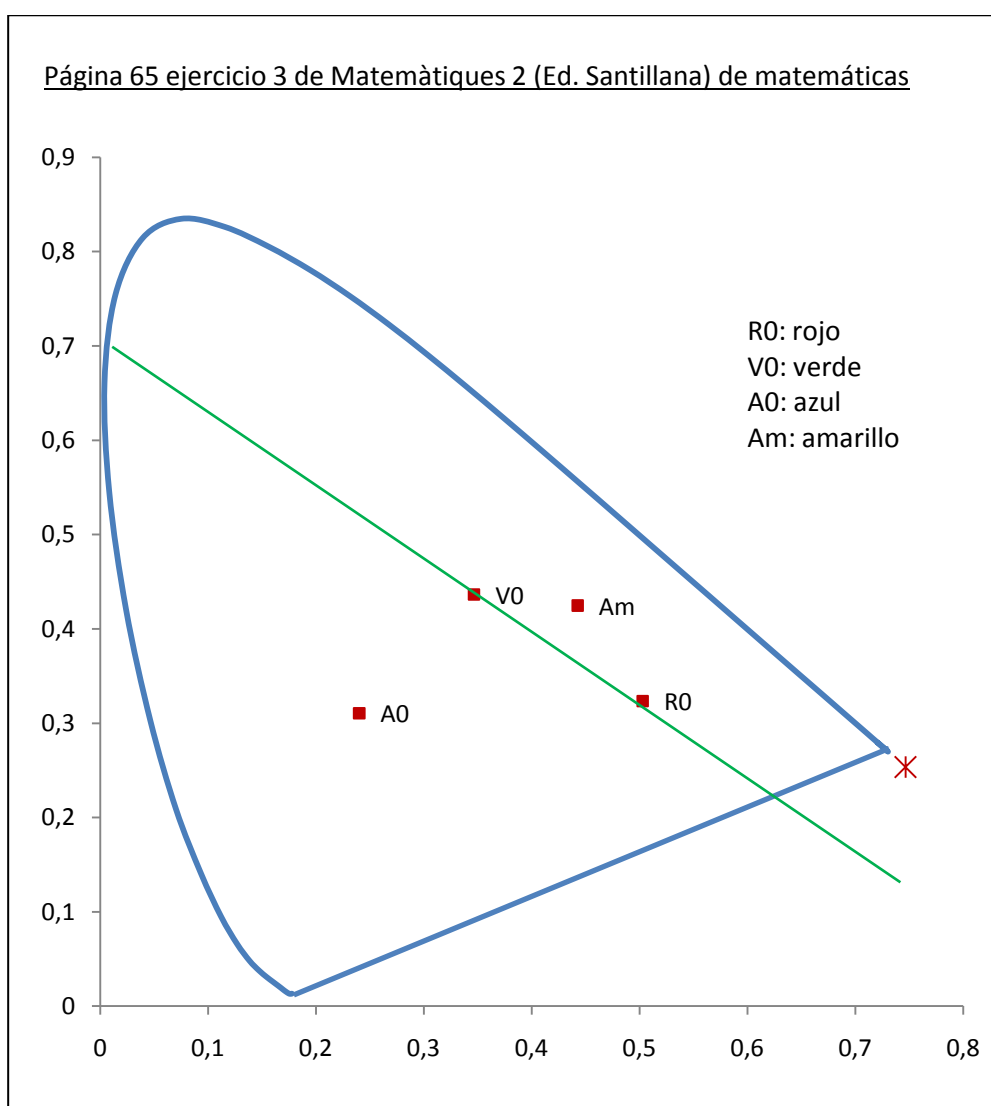


Figura 32b: diagrama cromático y líneas de confusión.



Figura 33a: ejercicio en el que se debe colorear tanto el traje del oso como la ventana y relacionarlo con el nombre del color pintado del mismo.

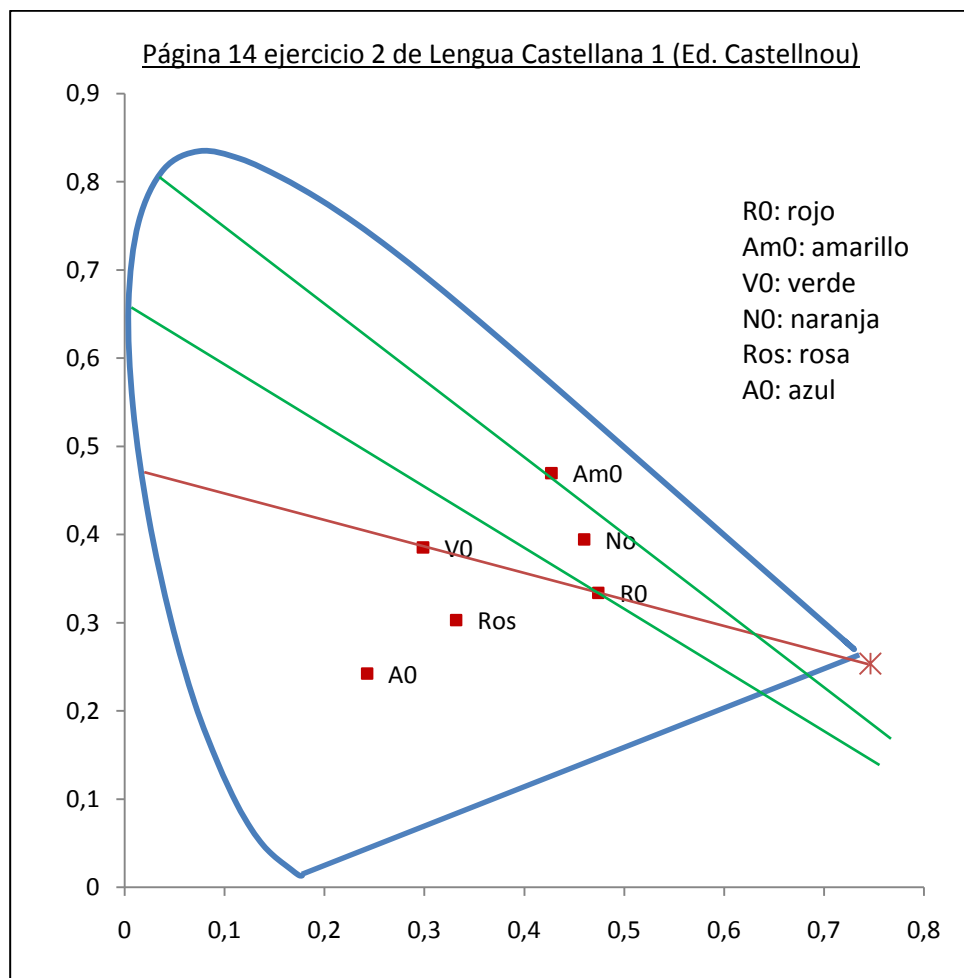


Figura 33b: diagrama cromático y líneas de confusión

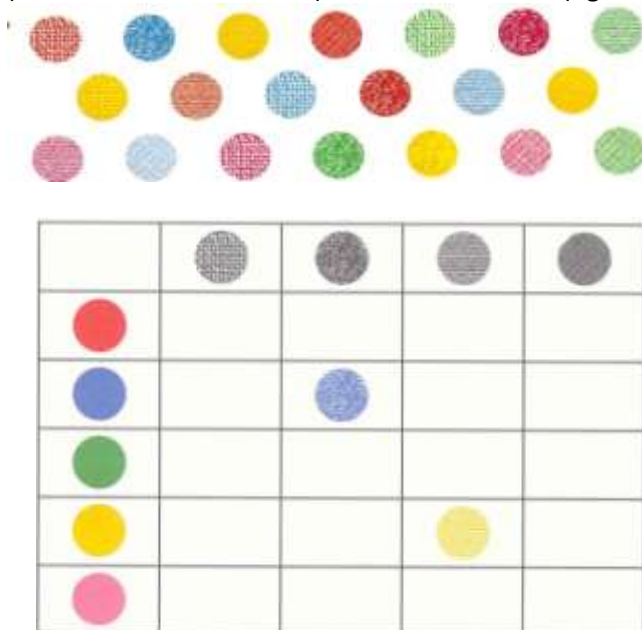


Figura 34a: pegatinas y ejercicio de relacionar colores, nótese que algunos tienen diferentes texturas y que no todas las tonalidades de un tono son iguales.

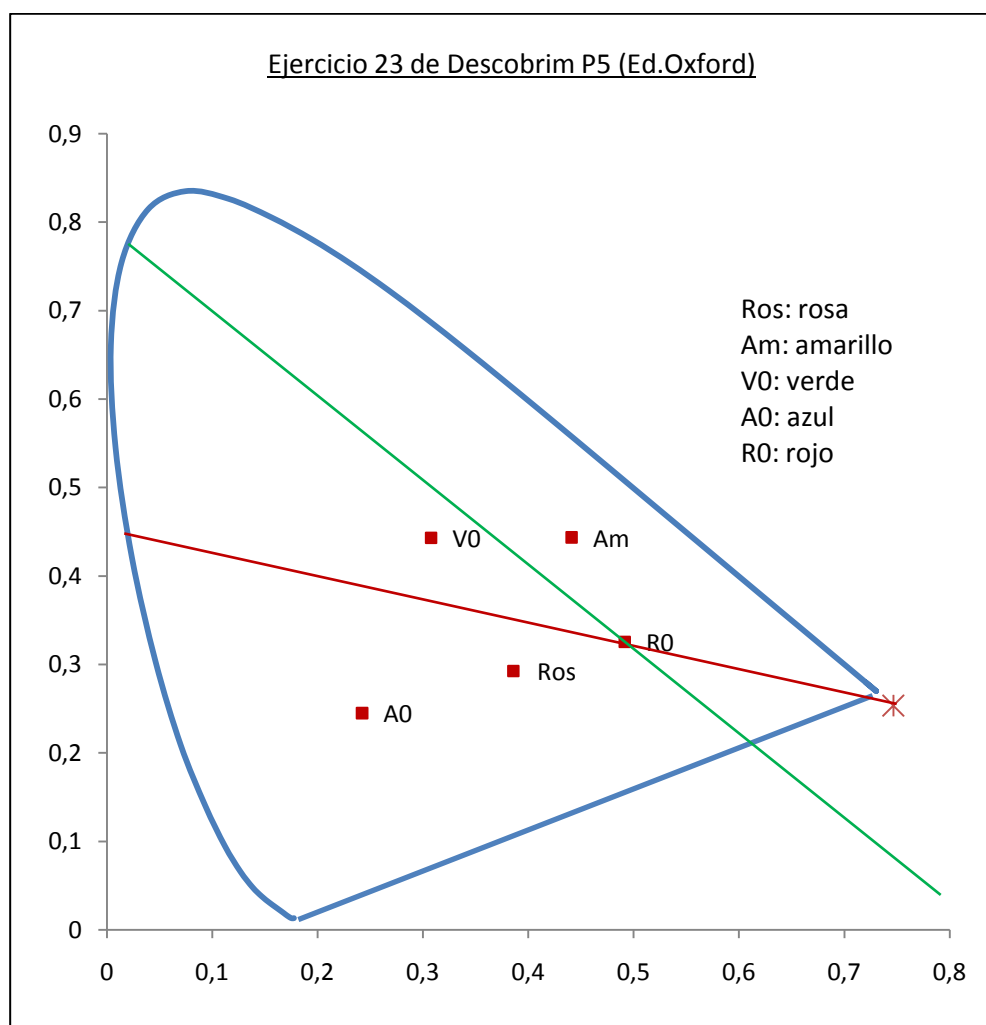


Figura 34b: diagrama cromático y líneas de confusión.

### 3.3. Contacto con las editoriales

De los resultados mostrados anteriormente se decidió que todo libro con un porcentaje superior al 5% de ejercicios dificultosos podría considerarse mejorable. Aún así, se decidió comunicar los porcentajes obtenidos a todas las editoriales implicadas.

Por tanto, se contactó por correo electrónico o por teléfono con las editoriales Santillana, Edebé, Cruïlla, La Galera, Barcanova, Vicens Vives, Teide, Casals, Eumo y Castellnou, aunque sólo las 4 primeras presentan porcentajes elevados de ejercicios dificultosos en Matemáticas.

El día 17 de mayo nos entrevistamos con Pere Macià, director de ediciones de Editorial Santillana. Más tarde, el día 19 de mayo, nos reunimos con Carme Queralt, editora de publicaciones escolares de Editorial Cruïlla. Y, por el último, el día 26 de mayo de 2010, con Rosa Comabella, directora de área de Ciencias y Tecnología de Editorial Edebé para darles a conocer nuestras impresiones. Además, Editorial Casals y Editorial Text-La Galera contestaron que estaban muy interesadas en conocer el estudio, pero la reunión se aplazó hasta julio de 2010. Por su parte, el resto no contestó.

Además de los objetivos generales del estudio, se han realizado otras tareas para complementar toda la información recogida. Una de éstas era un estudio observacional de las anomalías cromáticas en una población infantil, concretamente en el colectivo de niños de los colegios de donde obtuvimos cooperación.

La muestra seleccionada, por tanto, para dicho estudio son niños de varios centros de la demarcación de Barcelona: CEIP Guerau de Peguera (Torrelles de Foix), CEIP La Roda (Terrassa) y CEIP Estel (Molins de Rei). En total representan 131 niños con edades comprendidas entre los 5 y los 8 años y si atendemos al total de niños por colegios fueron: 23, 75 y 33 para el CEIP de Guerau de Peguera, CEIP La Roda y CEIP Estel, respectivamente. Los alumnos en total que pasaron el test de Ishihara fueron 44, 43 y 44 para P5, 1º y 2º de primaria, respectivamente. Las pruebas se llevaron a cabo en el mismo colegio entre el día 21 de enero y el 2 de marzo de 2010, durante horas lectivas y siempre por la mañana (figura 35).

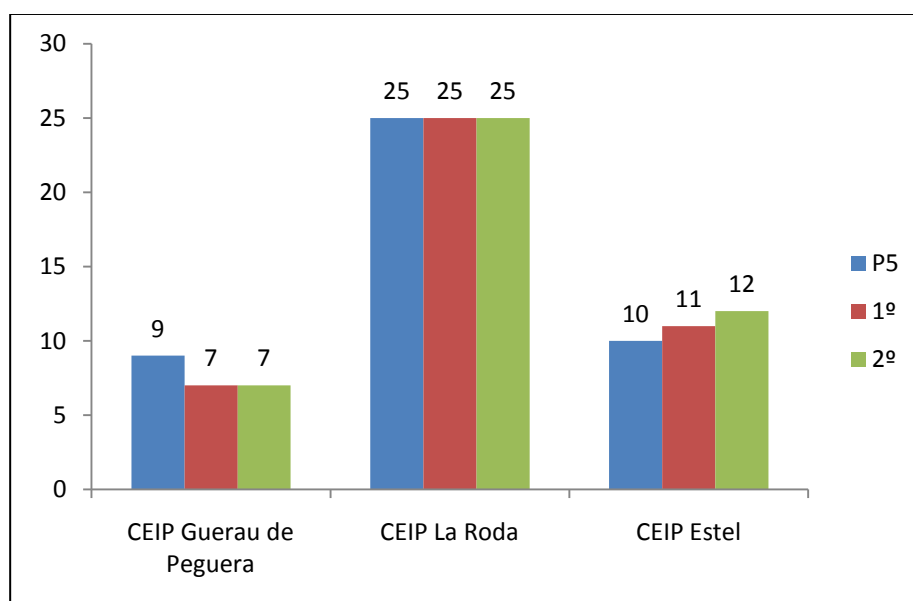


Figura 35: distribución de la muestra a la que se le examina la visión al color. En el eje Y se representan el total de niños.

El test de las láminas pseudoisocromáticas de Ishihara se pasó a los niños de la siguiente manera:

- Antes de comenzar, medimos la iluminación ambiental y confirmamos que es mayor de 200lux.
- Situamos al paciente sentado cómodamente e iluminamos el test correctamente de manera que evitemos la aparición de reflejos o brillos que puedan impedir una observación cómoda y con la fuente de iluminación que incida lateralmente.
- Se le explica al paciente que lo que vamos hacer es evaluar la visión al color.
- Pasamos la prueba de forma binocular ya que la evaluación es para detectar defectos congénitos <sup>(59)</sup>.
- Colocamos las láminas a una distancia de unos 50cm evitando que el sujeto lleve ningún tipo de lentes tintadas.
- Empezamos por la primera lámina y damos unos 3 segundos por lámina para que identifique el número correspondiente.
- Es recomendable pasar por todas las láminas, desde las primeras con los números más camuflados hasta las últimas encargadas de determinar si el problema es más protan (rojo) o deutan (verde).
- Anotamos los resultados en la hoja de resultados para su posterior análisis.

La tabla 5 resume el número de alumnos examinados en cada CEIP y los anómalos hallados.

Tabla 5. Sujetos examinados y casos de anomalías encontrados.

CEIP	P5	1º	2º	Total	Anómalos hallados
Guerau de Peguera	9	7	7	23	0
La Roda	25	25	25	75	2
Estel	10	11	12	33	1

En el caso del CEIP La Roda, encontramos que en la muestra seleccionada teníamos un niño con visión defectuosa en rojo de forma aguda en 1º y un niño con defectos en verde de forma aguda en 2º. Se encontró, además, otro niño deutan agudo que fue remitido para un examen de color mediante un anomaloscopio, pero se trató de un caso de simulación de anomalía, por lo que quedó descartado.

En el caso del CEIP Estel, se halló un solo un niño con visión defectuosa de manera leve para el rojo.

En cuanto al porcentaje de la muestra total, mediante la administración a todos los individuos y de manera global, concluimos que la frecuencia de anomalías cromáticas no se corresponde con la encontrada en la bibliografía. Debemos tener en cuenta que nuestra muestra era muy pequeña y de ninguna manera es significativamente estadística del total de alumnos inscritos en centros educativos en Catalunya (un total de 231.247 de sexo masculino de los 446.694 niños, datos oficiales del *Institut Català d'Estadística*, <http://www.idescat.cat/>).

Otra de las tareas realizadas en este trabajo ha consistido en la presentación de las páginas analizadas colorimétricamente a sujetos que tuvieran algún tipo de problema de percepción cromática. Los ejercicios considerados inadecuados fueron presentados a 6 observadores daltónicos, con la finalidad de comprobar su rendimiento debido a su pobre discriminación cromática.



A cada uno de los sujetos le fue presentado el test de Ishihara y un anomaloscopio de Nagel para determinar el tipo de anomalía cromática. La tabla 6 muestra los diversos tipos de anomalía que presentaban cada uno de los sujetos.

Tabla 6. Grupo de individuos a los que se les pide realizar los ejercicios seleccionados.

OBSERVADOR	EDAD	TIPO DE DISCROMATOPSIA
1	54	Deuteranómalo
2	15	Deuteranómalo
3	43	Protanómalo
4	32	Protanope
5	18	Deuteranope
6	13	Deuteranope

A cada uno de ellos se les presentaron 8 páginas de diversos libros en las que aparecían ejercicios que requieren de una buena percepción cromática para resolverlos (tabla 4).

Los colores utilizados en estas páginas fueron analizados colorimétricamente para obtener las coordenadas cromáticas. La presentación de los ejercicios se realizó en una sala con una iluminación ambiental superior a 400 lx bajo luz natural o fluorescentes tipo luz día.

Para cada uno de los ejercicios se anotó si la persona podía realizar el ejercicio sin dificultad alguna, si lo realizaba pero mostrando dificultades (mayor tiempo para determinar si los colores eran iguales o no, por ejemplo) o si le era imposible de realizar.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos por cada observador para cada ejercicio. La letra A indica apto, la letra B indica dificultades en su resolución y la letra C indica imposibilidad de resolver el ejercicio.

Tabla 7. Respuestas de los seis sujetos con discromatopsia a los que se les pidió que respondieran a los ejercicios analizados La letra A indica que es apto, la B la dificultad en la resolución y la C su imposibilidad.

OBSERVADOR	1	2	3	4	5	6	7	8
	Figura 27	Figura 28	Figura 29	Figura 30	Figura 31	Figura 32	Figura 33	Figura 34
1	C	B	C	A	A	B	A	A
2	B	B	A	A	A	A	B	A
3	C	B	C	A	A	C	A	A
4	C	C	C	C	C	C	C	C
5	C	C	C	B	C	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	B	C

## 4. Discusión

Por lo que se refiere a la primera parte del estudio, la mayor parte de los centros utilizan como material didáctico libros de texto aunque no los usan en las primeras etapas de escolarización. Concretamente, de los 88 colegios estudiados, 16 escuelas no utilizan libros de texto sino que basan sus aprendizajes en varios proyectos llevados a cabo por los mismos docentes. En cuanto a los libros usados en P5, 43 colegios no utilizan ninguno en esta etapa. Así, se ha obtenido información de 45 colegios en matemáticas de P5 y de 72 para los cursos de 1º y 2º para las asignaturas de matemáticas, lengua catalana y lengua castellana, respectivamente.

En cuanto a los porcentajes de páginas erróneas de los libros observados debemos hacer otra serie de reflexiones. El libro de matemáticas de P5 observado (figura 20), *Descobrim P5. Carpeta Comptem i calculem* (Oxford Educació, ISBN: 978-84-673-4709-8), obtiene un porcentaje relativamente alto (8.33%) debido a que su número de páginas es muy bajo y la cantidad de páginas con ejercicios dificultosos es relativamente alta.

En el caso de la asignatura de matemáticas de 1º de primaria (figura 21) observamos que *Matemàtiques 1. La casa del saber* (Santillana, ISBN: 978-84-7918-182-6) con un 11.48% es el libro que contiene más ejercicios dificultosos, seguido de *Matemàtiques 1* (Edebé, ISBN: 978-84-236-8532-5) con un 8.20%. El resto se queda en torno muy por debajo. Concretamente, *Matemàtiques 1. Projecte 3,16* (Cruïlla, ISBN: 978-84-661-1509-4) con un 5.24%, *Matemàtiques 1. Nou Saltamartí* (Barcanova, ISBN: 978-84-489-2015-9) con un 4.21%, *Matemàtiques 1. Projecte TRAM* (La Galera, ISBN: 978-84-412-1329-6) con un 3.27% y *Matemàtiques 1* (Vicens Vives, ISBN: 978-84-316-1033-3) con un 2.56%.

Para la lengua catalana de 1º (figura 22) nos encontramos con porcentajes más bajos en general. El mayor porcentaje pertenece a *Llengua 1. Aprenem i escrivim* (Edebé, ISBN: 978-84-236-8285-0) con un 3.97%, seguido de *Nou Bufi 1* (Vicens Vives, ISBN: 978-84-316-6616-3) con un 3.20%. El resto de los libros va de 0.79% (*Llengua catalana 1. Aprenc a escriure. Projecte 3,16* de Cruïlla, ISBN: 978-84-661-1504-9) a 0% (*Llengua 1. Activitats. La casa del saber* de Santillana, ISBN: 978-84-7918-177-2) pasando por un 0.42% (*Llengua 1. Projecte TRAM* de La Galera, ISBN: 978-84-412-1331-9).

Y para el caso de lengua castellana de 1º (figura 23) tenemos unos porcentajes bajos respecto a los de matemáticas y parecidos a los de lengua catalana. Según se puede observar, *Jara 1* (Vicens Vives, ISBN: 978-84-316-1167-5) obtiene el porcentaje más alto con un 2.33%, seguido de *Lengua Castellana 1* (Castellnou, ISBN: 978-84-980-4470-6) con un 1.29% y el resto va de 0.83% (*Lengua castellana 1. Proyecto TRAM* de La Galera, ISBN: 978-84-412-1337-1) a 0% (*Lengua castellana 1. Leo y escribo* de Cruïlla, ISBN: 978-84-661-1506-3 y *Mas Plural 1 Primaria Lengua Castellana* de Santillana, ISBN: 978-84-294-0669-6).

Pasando al siguiente curso podemos observar que la asignatura de matemáticas de 2º (figura 24) vuelve a obtener unos altos porcentajes de ejercicios dificultosos pero que no llega a los niveles de los encontrados en 1º. El valor más alto es de 10.47% y corresponde a *Matemàtiques 2. Projecte 3,16* (Cruïlla, ISBN: 978-84-661-1519-3) y el resto se queda por debajo. Tenemos que *Matemàtiques 2. Projecte TRAM* (La Galera, ISBN: 978-84-412-1330-2) con un 5.53%, *Matemàtiques 2.* (Edebé, ISBN: 978-84-236-8651-3) con un 5.06%, *Matemàtiques 2. La casa del saber* (Santillana, ISBN: 978-84-7918-197-0) con un 4.48 y, por último, *Matemàtiques 2. Nou Saltamartí* (Barcanova, ISBN: 978-84-489-2018-0) con un 2.11%.

En cuanto a lengua catalana de 2º (figura 25) tenemos que los porcentajes vuelven a bajar siendo el mayor de ellos de 1.72% para *Llengua catalana 2. Nou Saltamartí* (Barcanova, ISBN: 978-84-489-1987-0). En cuanto al resto tenemos valores de 1.26% (*Llengua 2. Activitats. La casa del saber* de Santillana, ISBN: 978-84-7918-189-5) a 0.79% (*Llengua catalana 2. Aprenc a escriure. Projecte 3,16* de Cruïlla, ISBN: 978-84-661-1514-8) pasando por 1.16% (*Llengua 2* de Edebé, ISBN: 978-84-236-8380-2).

Y por último, en la asignatura de lengua castellana (figura 26), se observaron tres libros con porcentajes muy bajo de ejercicios dificultosos. Un 0.53% para *Lengua castellana 2* (Castellnou, ISBN: 978-84-980-4471-3) y un 0% para los dos restantes, *Lengua castellana 2. Proyecto TRAM* (La Galera, ISBN: 978-84-412-1338-8) y *Más Plural 2* (Santillana, ISBN: 978-84-294-3793-5), respectivamente.

Esto permite asegurar que el color como herramienta de aprendizaje se utiliza más en la asignatura de matemáticas que en el resto.

La segunda parte de nuestro estudio (análisis colorimétrico de algunos libros) pone de manifiesto las siguientes impresiones.

En cuanto a la página 26 (ejercicio 11) de *Nou Saltamartí 1* de Barcanova (figura 27) podemos observar que, al aparecer una gran cantidad de colores, es más probable que dos colores caigan sobre la misma línea de confusión, como es el caso. Si nos fijamos en las líneas de confusión del protanope, éste podrá confundir y, por lo tanto, ver como tonos iguales, el verde oscuro y el rojo, V2 y R0, respectivamente. Pero en el caso del deuteranope podemos comprobar cómo podría ver iguales dos pares de colores: el azul claro (A0) y el azul oscuro (A1) y el verde claro (V1) y el rojo (R0), respectivamente. Debemos ser conscientes que en este caso, tanto si el sujeto es protanope como deuteranope, el rojo representa un impedimento para realizar el ejercicio porque lo puede confundir con otro tono, en este caso, con diferentes verdes.

En el caso de la página 35 (ejercicio 5) de *Nou Saltamartí 2* de Barcanova (figura 28), las líneas de confusión para el protanope no coinciden con los dos colores escogidos, ya que no caen sobre la misma línea, pero que sí que coinciden para el deuteranope; esto nos lleva a afirmar que el sujeto que lo sea confundirá ambos colores (rojo y verde).

Para la página 145 (ejercicio 13) de *Nou Saltamartí 2* de Barcanova (figura 29) tenemos que las líneas de confusión de protanopía se queda cerca pero la de deuteranopía no se superponen. Esto puede hacer que el sujeto protanope vea los colores parecidos aunque en este caso, en principio, no los llegaría a confundirlos, aún así se considerará como una lámina problemática.

Por otro lado, la página 140 (ejercicio 14) de *Matemàtiques 1* de Santillana (figura 30) representada en la gráfica nos informa de que en el caso del protanope no tenemos ninguna posibilidad de confusión pero que en el caso del deuteranope claramente sí. Otra vez se observa cómo el rojo (R0) y el verde (V0) podrían ser visto como iguales por una persona deuteranope.

La página 58 (figura 31) de *Matemàtiques 2* de Santillana presenta problemas tanto para el protanope como para el deuteranope. Si nos fijamos en las líneas representadas para el defecto protan como éste podría confundir el fondo naranja (F0) con el rojo (R0) con lo que esa parte del ejercicio pasaría desapercibida para él. Para el deuteranope tenemos que éste no diferenciaría entre el verde del ejercicio (V0) y el naranja de éste (N0).

En cuanto a la página 65 (ejercicio 3) de *Matemàtiques 2* de Santillana (figura 32). En este caso podemos observar que el sujeto protanope no encontraría impedimentos para realizar el ejercicio pero en el caso del deuteranope sí tendría problemas; la razón es que confundiría el rojo (R0) y el verde (V0) de ejercicio.

Por lo que se refiere a la Página 14 (ejercicio 2) de *Lengua Castellana 1* de Castellnou (figura 33) tenemos que, a pesar de la gran cantidad de colores utilizados, los que realmente implican alguna dificultad son otra vez el rojo (R0) y el verde (V0) en el caso de que el sujeto sea protanope ya que, como se puede observar, estos dos tonos caen sobre la misma línea de confusión.

Y, por último, la página 23 de *Descobrim P5* de Oxford Educació (figura 34) no presentaría en principio ningún problema para un niño con problemas de percepción cromática pero sí las pegatinas escogidas para tal ejercicio representadas en la imagen. En estas se pueden observar varios tonos donde se pueden confundir los tonos rojos, rosas y naranjas incluso para un tricrómatas normal.

Como impresión general del conjunto de representaciones, debemos remarcar que la combinación rojo/verde utilizada en muchos libros de texto para niños no facilita la tarea para el niño dicrómatas en ningún caso, sino que más bien la puede llegar a imposibilitar.

Estos ejercicios fueron presentados a un grupo de personas con problemas de percepción cromática. Tal y como indica la tabla 7, los sujetos 4, 5 y 6 han presentado las mayores dificultades a la hora de resolver los ejercicios. En el mejor de los casos, 7 ejercicios de 8 no han podido realizarse. Estos observadores son dicrómatas y su visión cromática es, por tanto, bastante reducida. Los sujetos 1, 2 y 3 son tricrómatas anómalos. Estos observadores han podido resolver bastantes ejercicios, aunque algunos de ellos les han resultado dificultosos. El observador 2 los ha resuelto todos, aunque en 3 de 8 ha presentado dificultades, mientras que los observadores 1 y 3 no han sido capaces de resolver 2 o 3 ejercicios sobre el total, además de haber presentado dificultades en otros. En total, el color ha supuesto un impedimento en la resolución de la mitad de los ejercicios seleccionados para los sujetos tricrómatas anómalos.

Por lo que se refiere al nivel de concordancia entre los resultados del análisis colorimétrico de los ejercicios y la dificultad en su resolución por parte de sujetos con discromatopsia, parece que los observadores hallan mayor dificultad mayor, si cabe, a la que se desprende del análisis colorimétrico. Los observadores tricrómatas anómalos analizados (observadores 1, 2 y 3 de la tabla 7) han podido realizar casi todos los ejercicios aunque con alguna dificultad, presentando imposibilidad en 3 láminas (figuras 27, 29 y 32). Estas láminas eran las que, mediante el análisis colorimétrico, indicaban que podrían dar lugar a la confusión de estímulos.

Pero si se presta atención al sujeto protanope (observador 4 de la tabla 7), se puede observar que le fue imposible realizar los 8 ejercicios cuando, si tenemos en cuenta el análisis colorimétrico, sólo debería presentar problemas para los ejercicios de las figuras 27, 29, 31 y 33. Ello puede ser debido a la imprecisión de las líneas de confusión trazadas sobre los diagramas cromáticos.

Por otro lado, los 2 sujetos deuteranopes sólo pueden realizar un ejercicio cada uno y con dificultad (figuras 30 y 33, respectivamente). Pero, comparando de nuevo estos resultados con los proporcionados por el análisis colorimétrico, se puede ver que el sujeto deuteranope debería haber fallado sólo en las figuras 27, 28, 30, 31 y 32. Obsérvese que, además, uno de los ejercicios teóricamente imposible de solucionar (figura 30), ha podido ser realizado por un sujeto deuteranope.

Estos resultados indican que, en función del grado de la deficiencia, los niños podrán presentar mayor o menor dificultad a la hora de resolver los ejercicios. Pero, en todo caso, es obvio que la utilización del color supone un impedimento en su ejecución.

En cuanto a la tercera parte de nuestro estudio, el contacto con las editoriales, no todas respondieron a nuestro correo electrónico, pero que las que lo hicieron se mostraron receptivas a solucionar esta problemática.

Ediciones Grup Promotor-Santillana se interesó por los resultados del estudio y solicitaron una copia de éste cuando fuera presentado. En cuanto a Ediciones Cruïlla, también mostraron mucho interés en las conclusiones. Además, la editora que nos recibió había ejercido de profesora anteriormente y sabía de la existencia de niños con discromatopsia, pero nunca había relacionado esta condición con alguna dificultad para realizar ciertos ejercicios propuestos en los diversos libros de texto. Ediciones Edebé también se comprometió a cambiar el código de colores para que los ejercicios fueran accesibles a niños con la problemática tratada en el trabajo. En general, todas las editoriales con las que tuvimos una reunión se mostraron conformes a incluir nuestras propuestas para futuras ediciones de libros de texto.

El estudio observacional de anomalías de percepción cromática en la población infantil analizada indica que, de los 131 niños observados, sólo 3 presentaron dificultades para percibir de manera correcta el color. En principio, este resultado (2.3%) no respaldaría el porcentaje de discromatopsias presentes en la población masculina indicado en la introducción. En este sentido, hay que ser cauto a la hora de afirmar si el porcentaje obtenido es extrapolable en general, ya que nuestra muestra no es estadísticamente significativa dada la cantidad de niños escolarizados en infantil y primaria en Catalunya (231.247 niños). En cuanto a los porcentajes descritos por Birch en la tabla 2, en nuestro caso el mayor porcentaje de anomalías fueron de tipo protan (2 casos) y no deuter (sólo 1), como esta autora afirma.

En cuanto a la opinión del cuerpo docente sobre el conocimiento de la existencia de problemas de percepción cromática, se ha recabado la opinión de 7 profesores y profesoras de 4 colegios diferentes respecto el uso del color en los libros de texto. La totalidad de los docentes encuestados conocía la existencia de este tipo de anomalías. Alguno de ellos había detectado una alteración en la nomenclatura de los colores por parte de algunos alumnos, pero no habían pensado que ello pudiera ser debido a una discromatopsia. Además, tampoco habían establecido una relación entre las dificultades en la ejecución de determinados ejercicios con este tipo de anomalías. A todos ellos les pareció sumamente interesante este trabajo y se mostraron interesados en saber si las editoriales estarían dispuestas a solucionar este problema.

## 5. Conclusiones y propuestas

Las conclusiones que se pueden obtener una vez realizado todo el trabajo se pueden englobar bajo diferentes niveles:

- De los 300 correos electrónicos enviados a diferentes colegios, se obtuvo información sobre los libros de texto de 54 CEIP (18%). Además de los 3 visitados y de los 31 consultados en la Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya gestionada por la Generalitat de Catalunya (<http://www.xtec.es/>). Por lo tanto, se consiguió el listado de libros de 88 centros.
- Un total de 16 CEIP no utilizan ningún libro de texto en ninguno de los cursos sujetos a estudio (P5, 1º y 2º) y 43 no usan ninguno en P5.
- A la vista de las gráficas de frecuencia de las gráficas presentadas en el apartado de *Métodos y resultados* podemos ver cómo pueden convivir diferentes libros de la misma editorial, esto se puede deber o al proyecto de “socialización de libros”, con esto se consigue que los libros sean usados por varios alumnos durante algunos años. Esto ocurre en todos los niveles excepto para la asignatura de matemáticas de 2º.
- La utilización del color es mayor en los libros de matemáticas que en el resto de las asignaturas evaluadas (lengua catalana y castellana). En este caso, se eligen estas tres porque los profesores nos indican que son las asignaturas en las cuales el uso del color se realiza de manera más frecuente.
- Concretamente, en la asignatura de matemáticas encontramos un porcentaje de páginas erróneas del 8% en la muestra analizada; los porcentajes van de 11.5% de Grup Promotor Santillana al 4% de Edebé.
- En cuanto al análisis colorimétrico de un conjunto de páginas de diversos libros, éste nos deja unas impresiones, como mínimo, interesantes. Una de ellas que el binomio rojo-verde presente en la mayoría de las láminas puede llevar a confusión por parte tanto del sujeto deuteranope (figuras 27, 28, 30, 32) como del protanope (figuras 27, 29 y 33). Pero en otros casos, tal y como se pudo observar, el deuteranope puede confundir un verde con un tono naranja (figura 31) e incluso dos azules (figura 27). Y en el caso del protanope, éste podría confundir un fondo naranja con un tono rojo (figura 31). Con todo ello, debemos tener en cuenta que la combinación rojo-verde es, a grandes rasgos, desaconsejable aunque existen otras que también podrían evitarse.
- En cuanto a las entrevistas llevadas a cabo con las tres editoriales (Grup Promotor Santillana, Cruïlla, Edebé) debemos constatar el compromiso que han tomado para incluir las propuestas que incluyamos en este trabajo para mejorar los libros de texto, por lo que a esta problemática se refiere.
- En cuanto a los sujetos discromatópicos, se pueden constatar que presentan problemas para realizar ciertos ejercicios, tal y como se ha comprado, incluso de manera más aguda que lo que el análisis colorimétrico sugeriría.

Las propuestas que se sugieren son varias y dependen del grado de cambio que cada editorial quiera realizar en su material didáctico. Hay que tener en cuenta que los posibles cambios no deben comprometer el reconocimiento de colores por parte de los tricrómatas normales y, además, el coste de tales cambios debe ser razonable.

La primera que sugerimos quizás es la menos “invasiva” y dejaría los libros tal cual están, aunque somos conscientes de que cada cierto tiempo éstos suelen cambiarse en su totalidad. Se sugiere la inclusión de una marca (como podría ser un asterisco) en las páginas con ejercicios dificultosos y una nota al principio del libro que indique al docente que esos ejercicios pueden resultar difíciles de resolver por parte de alumnos con problemas de percepción cromática.

Otra posibilidad, que ya ha ido apareciendo a lo largo del trabajo y que conllevaría cambiar de una manera más global el libro de texto, es la de evitar ejercicios que contengan el binomio rojo-verde a la

vista de las gráficas del apartado 3. Estos colores pueden ser confundidos por protanopes y deuteranopes. Se propone el uso de colores cuyas coordenadas cromáticas estén situadas sobre líneas de confusión lo suficientemente separadas de protanopes y deuteranopes (recordemos que las anomalías de tipo tritan son realmente infrecuentes y de tipo adquirido). Los candidatos principales son el gris, el azul y el amarillo, con diversas saturaciones. Sin embargo, los gráficos que incluyen estos tres colores aparecen muy apagados para los tricrómatas. Por ello, se recomienda el uso de otra dimensión gráfica para combinar con el color, como puede ser la posición, la forma de los símbolos o la textura. En el caso de las señales de tráfico, el STOP se distingue de otras señales de peligro no sólo por su color, sino también por la forma. Por otro lado, se desaconseja incorporar más de tres tonos en un ejercicio, ya que esto puede conducir a la confusión de tonalidades fácilmente, tal y como hemos visto.

Antes de acabar sería necesario comentar brevemente algunas de las limitaciones que creemos que puede tener el presente trabajo. Por un lado, debemos ser conscientes de que la cantidad de libros revisados para saber si existe un porcentaje excesivo de páginas con ejercicios con color problemáticas debiera haber sido mayor para el caso de P5, nivel en el cual sólo pudimos observar uno. En muchos centros no tienen ningún tipo de material comercializado para trabajar con los alumnos de este nivel y trabajan por proyectos y con material propio.

Además, de los 300 correos enviados sólo 54 centros respondieron, lo que representa un 18%. Hubiera sido mejor obtener datos de más colegios. Aún así, la cantidad de centros que han participado es aceptable.

Otra limitación, debida al tiempo al cual se le debe dedicar al trabajo y que podría constituir la base de un trabajo ulterior, es la cantidad de láminas sometidas al análisis colorimétrico. En este trabajo se estudian concretamente ocho páginas de algunos de los libros utilizados en los diferentes centros que han participado en el trabajo pero también se podría pensar, de manera legítima, que la cantidad de ejercicios analizados es insuficiente. Todo esto es en parte razonable, pero debemos tener en cuenta que los colores dentro de un libro en concreto se repiten en diversos ejercicios, con lo que tampoco sería necesario analizar todas las tonalidades parecidas porque, en la mayoría de los casos, son las mismas. Un paso más adelante de este trabajo sería aumentar el número de láminas examinadas, haciéndolo extensible a un mayor número de libros.

Por otra parte, la respuesta de las editoriales nos ha sorprendido gratamente, ya que nos hemos entrevistado con 3 y en julio se acudirán a 2 más. Esto representa que, de las diez editoriales contactadas, será posible llegar hasta 5, lo cual es un logro.

## 6. Bibliografía

1. Pokorny, J. et al. Congenital and acquired colour vision deficiencies. Saunders (W.B.) Co Ltd (USA): 1979. ISBN: 978-0808912033.
2. Kandel, E.R. et al. *Neurociencia y conducta*. Prentice Hall (Madrid): 1999. ISBN: 84-89660-05-0.
3. Carlson, N.R. *Fisiología de la conducta*. Ariel (Barcelona): 1999. ISBN: 84-344-0884-8.
4. Thomson, W.D.; Evans, B. *A new approach to vision screening in schools*. Ophthalmic and Physiological Optics: 1999, 19: 196-209.
5. Cummings, G.E. *Vision screening in junior schools*. Public health: 1996, 110: 369-372.
6. Ciner, E. et al. *A survey of vision screening policy of preschool children in the United States*. Survey of Ophthalmology: 1999, 43: 445-457.
7. Hartmann, E. E. et al. *Preschool vision screening: summary of a task force report*. Ophthalmology: 2001, 108: 479-486.
8. Reese, H. W et al. *Advances in child development and behavior*. Volume 12. Academic Press (United States of America): 1978. ISBN: 0120097125.
9. Pardo Fernández, P.J. et al. *Daltonismo y rendimiento escolar en la educación infantil*. Revista de Educación: 2003; 330; 449-462.
10. Lampe, J.M. et al. *Summary of a Three-Year Study of Academic and School Achievement between Color-Deficient and Normal Primary Age Pupils: Phase Two*. Journal of School Health: 1973; 43(5); 309-311.
11. Tagarelli, A. et al. *Colour blindness in everyday life and car driving*. Acta ophthalmologica Scandinavica: 2004 Aug; 82(4):436-42.
12. Steward, J.M. et al. *What to do color vision defectives say about everyday tasks?* Optometry and vision science: 1989 May; 66(5):288-95.
13. Atchinson, D.A et al. *Traffic signal color recognition is a problem for both protan and deutan color-vision deficientes*. Human Factors: 2003 Fall; 45(3):495-503.
14. Whilliams, M.G. el al. *Color defective drivers and safety*. Optometry and vision science: 1992 Jun; 69(6):463-6.
15. Cumberland, P. et al. *Impact of congenital colour vision deficiency on education and unintentional injuries: findings from the 1958 British birth cohort*. British Medical Journal: 2004; Nov; 329: 1074-75.
16. Gordon, N. *Colour blindness*. Public Health: 2008, 112: 81-84.
17. Carlson, N.B. et al. *Clinical procedures for ocular examination*. Mc Graw-Hill (United States of America): 2004. ISBN: 0071370781.
18. Morgan, S. *The complete optometric assistant*. Butterworth-Heinemann (United Kingdom): 2008. ISBN: 9780750688888.
19. Rigaudière, F. et al. *Comprendre et tester les déficiences de la vision des couleurs de l'enfant, en pratique*. Journal Français d'Ophtalmologie: 2006, 29: 87-102.
20. Fernández Vélez, M. *Eficiencia en la discriminación cromática mediante filtros coloreados en niños dicrómatas*. Trabajo de final de carrera. UPC (EUOOT, Terrassa): 1996.
21. Castro Lobera et al. *Estudio epidemiológico de las discromatopsias congénitas escolares*. Rev San Hig Pub: 1992; 66: 273-279.
22. Holroyd, E. et al. *A re-appraisal of screening colour vision impairments*. Child Care Health: 1997; Sep; 23(5); 391-8.



23. Pap, M. et al. *Frequency of red/green colour blindness in twenty-seven Hungarian populations*. Journal of human evolution: 1983, 12: 775-778.
24. Nathans, J. *The genes for color vision*. Scientific American: 1989; 260 (2); 42-49.
25. Gegenfurtner, K.R. et al. *Color vision, from genes to perception*. Cambridge University Press (USA): 2001. ISBN: 978-0521004398.
26. Hood, S.M. et al. *Color discrimination in carriers color deficiency*. Vision research: 2006, 45: 2894-2900.
27. Nathans, J. *The evolution and physiology of human color vision: insight from molecular genetic studies of visual pigments*. Neuron: 1999, 24: 299-312.
28. Mollon, J.D. et al. *Normal and defective colour vision*. Oxford University Press (USA): 2003. ISBN: 978-0198525301.
29. Kaiser, P.K. et al. *Human Color Vision*. Optical Society of America (USA): 1996. ISBN: 978-1557524614.
30. Capilla, P., Artigas, J.M., Pujol, J.. *Fundamentos de colorimetría*. Universitat de la València (València): 2002. ISBN: 84-370-5420-6.
31. Artigas, J.M., Capilla, P., Felipe, A., Pujol, J. *Óptica Fisiológica. Psicofísica de la Visión*. Interamericana McGraw-Hill . ISBN: 9788448601157.
32. Apostol, S. et al. *Color vision in diabetics*. Oftalmologia: 1994, Jan-Mar; 38(1): 17-22.
33. Bresnick, G.H. et al. *Association of hue discrimination loss and diabetic retinopathy*. Archives Ophthalmology: 1985, Sep 103(9): 1317-24.
34. Fong, D.S. et al. *Impaired color vision associated with diabetic retinopathy: Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Report No.15*. American Journal of Ophthalmology: 1999, Nov; 128(5): 612-7.
35. Green, F.D. et al. *Colour Vision of diabetics*. British Journal of Ophthalmology: 1985, Jul; 69(7): 533-6.
36. Greenstein, V. et al. *Hue discrimination and S cone pathway sensitivity in early diabetic retinopathy*. Investigative Ophthalmology Vision Science: 1990, Jun; 31(6): 1008-14.
37. Jeddi, A. et al. *Methods for screening and surveillance of diabetic retinopathy*. Journal French Ophthalmology: 1994; 17(12): 769-73.
38. Kessel, L. et al. *Diabetic versus non-diabetic colour vision after cataract surgery*. British Journal of Ophthalmology: 1999; 83: 1042-1045.
39. Mantyjarvi, M. *Colour vision in diabetic patients after photocoagulation treatment. A five-year follow-up*. Acta Ophthalmologica (Copenh): 1993, Aug; 71(4): 514-8.
40. Bron, A.J. et al. *The ageing lens*. Ophthalmologica: 2000, Jan-Feb; 214(1): 86-104.
41. Haegerstrom-Portnoy, G. et al. *Seeing into old age: vision function beyond acuity*. Optometry and vision science: 1999, Mar; 76(3): 141-58.
42. Urtubia Vicario, C. *Neurobiología de la visión*. Edicions UPC (Barcelona): 1997. ISBN: 84-8301-163-8.
43. Oleari, C. et al. *Confusion points for constant-luminance planes for Trichromats, Protanopes and Deuteranopes*. Vision Research: 1996, 21: 3501-3505.
44. Catalán, M. et al. *Diseño de un test psicofísico para la detección de anomalías cromáticas*. Gaceta óptica: 2009, 440: 18-24.
45. Le Grand, Y. *Optique Physiologique. Tome II lumière et couleur*. Masson & cie (Paris): 1972.
46. Birch, J. *Diagnosis of Defective Colour Vision*. Oxford University Press (USA): 1993. ISBN: 978-0192623881.

47. Cornsweet, T. *Visual Perception*. Harcourt Brace Jovanovich (San Diego): 1970. ISBN: 0155949365.
48. Unay Gondogan, N. et al. *Projected color slides as a method for mass screening test for color vision deficiency (a preliminary study)*. International Journal of Neuroscience: 2005, 115: 1105-1117.
49. Pardo, P.J. et al. *A new colour vision test in a PC-based screening system*. Displays: 2000, 21: 203-206.
50. Pardo, P.J. et al. *Validity of TFT-LCD displays for color vision deficiency research and diagnosis*. Displays: 2004, 25: 159-163.
51. Martín Herranz, R. *Guía clínica para la exploración de la visión de los colores*. Suplemento a la revista gaceta óptica nº 362. Colegio Nacional de Ópticos-Optometristas (Madrid): 2002. ISBN: 84-931753-2-3.
52. Artigas, J.M., Capilla, P., Pujol, J. *Tecnología del color*. Universitat de la València (València): 2002. ISBN 8437054362.
53. Torrents, A., Lupón, M. *Validación de la segunda edición del test City University para visión cromática*. Ver y Oír: 1998; diciembre; 677-685.
54. Birch, J. *Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency*. Ophthalmic and Physiological Optics: 1997, 17: 403-408.
55. Borràs García, M.R. et al. *Optometría. Manual de exámenes clínicos*. Edicions UPC (Barcelona): 1996. ISBN: 84-8301-069-0.
56. Cosstick, M. et al. *Numerical confusion errors in Ishihara testing: findings from a population-based study*. American journal of ophthalmology: 2005, 140: 154-156.
57. Miyahara, E. *Errors reading the Ishihara pseudoisochromatic plates made by observers with normal colour vision*. Clinical & experimental optometry: 2008 Mar; 91(2):161-5.
58. Pérez Sastre, J.M. *¿Una persona daltónica puede pilotar aviones?* Mach.82 (Revista del SEPLA): 2007; 68-71.
59. Elliot, D.B. *Clinical procedures in primary eye care*. Butterworth (United Kingdom): 1997. ISBN: 0750655275.

## 7. Apéndices

- Listado de libros analizados.

Curso	Título/editorial	ISBN	Páginas total libro	Páginas erróneas	Total páginas	Porcentaje erróneo
<b>P5</b>	Descobrim P5. Comptem i calculem (Oxford educació)	978-84-673-4709-8	48	5, 17 en actividad 1 4, 21 en actividad 2	4	8,33%
<b>1º</b>	Matemàtiques 1. Projecte 3,16 (Cruïlla)	978-84-661-1509-4	191	29, 51, 57, 58, 94, 128, 144, 147, 167, 181	10	5,24%
	Matemàtiques 1 (Edebé)	978-84-236-8532-5	183	24, 25, 28, 42, 62, 66, 73, 80, 82, 86, 90, 92, 116, 124, 157	15	8,20%
	Matemàtiques 1. Projecte TRAM (La Galera)	978-84-412-1329-6	221	95, 106, 114, 119, 189, 211, 212	7	3,17%
	Matemàtiques 1 (Vicens Vives)	978-84-316-1033-3	195	28, 93, 97, 131, 157	5	2,56%
	Matemàtiques 1. La casa del saber (Grup Promotor Santillana)	978-84-7918-182-6	183	18, 33, 35, 44, 54, 57, 58, 61, 63, 83, 84, 169, 164, 161, 160, 151, 140, 110, 101, 86	21	11,48%
	Matemàtiques 1. Nou Saltamartí (Barcanova)	978-84-489-2015-9	190	13, 26, 30, 35, 42, 111, 128, 175	8	4,21%

	Llengua catalana 1. Aprenç a escriure. Projecte 3,16 (Cruïlla)	978-84-661-1504-9	127	103	1	0,79%
	Llengua 1. Aprenem i escrivim (Edebé)	978-84-236-8285-0	151	13, 43, 56, 76, 109, 116	6	3,97%
	Llengua 1. Projecte TRAM (La Galera)	978-84-412-1331-9	240	22	1	0,42%
	Nou Bufi 1 (Vicencs Vives)	978-84-316-6616-3	125	6, 23, 31, 58	4	3,20%
	Llengua 1. Activitats. La casa del saber (Grup Promotor Santillana)	978-84-7918-177-2	159	0	0	0,00%
	Llengua Catalana 1. Nou Saltamartí (Barcanova)	978-84-489-1982-5	142	113	1	0,70%
	Lengua castellana 1. Leo y escribo (Cruïlla)	978-84-661-1506-3	111	0	0	0,00%
	Lengua castellana 1. Proyecto TRAM (La Galera)	978-84-412-1337-1	120	54	1	0,83%
	Jara 1 (Vicencs Vives)	978-84-316-1167-5	129	51, 52, 53	3	2,33%

	Mas Plural 1 Primaria Lengua Castellana (Grup Promotor Santillana)	978-84-294-0669-6	103	0	0	0,00%
	Lengua Castellana 1 (Castellnou)	978-84-980-4470-6	155	14, 38	2	1,29%
<b>2º</b>	Matemàtiques 2. Projecte 3,16 (Cruïlla)	978-84-661-1519-3	191	14, 16, 21, 27, 51, 62, 64, 91, 93, 99, 104, 121, 129, 130, 145, 156, 159, 165, 171, 186	20	10,47%
	Matemàtiques 2 (Edebé)	978-84-236-8651-3	178	23, 25, 32, 46, 69, 84, 101, 113, 127	9	5,06%
	Matemàtiques 2. Projecte TRAM (La Galera)	978-84-412-1330-2	217	14, 17, 24, 29, 34, 37, 46, 71, 131, 175, 186, 194	12	5,53%
	Matemàtiques 2. Nou Saltamartí (Barcanova)	978-84-489-2018-0	190	19, 35, 145, 167	4	2,11%
	Matemàtiques 2. La casa del saber (Grup Promotor Santillana)	978-84-7918-197-0	201	9, 10, 58, 65, 78, 148, 153, 164, 191	9	4,48%
	Llengua catalana 2. Aprenc a escriure. Projecte 3,16 (Cruïlla)	978-84-661-1514-8	127	40	1	0,79%

	Llengua 2 (Edebé)	978-84-236-8380-2	173	30, 53	2	1,16%
	Llengua catalana 2. Nou Saltamartí 2 (Barcanova)	978-84-489-1987-0	174	20, 17, 26	3	1,72%
	Llengua 2. Activitats. La casa del saber (Grup Promotor Santillana)	978-84-7918-189-5	159	16, 87	2	1,26%
	Lengua castellana 2. Proyecto TRAM (La Galera)	978-84-412-1338-8	143	0	0	0,00%
	Más Plural 2 (Grup Promotor Santillana)	978-84-294-3793-5	103	0	0	0,00%
	Lengua castellana 2 (Castellnou)	978-84-980-4471-3	189	16	1	0,53%

- Listado de colegios:

Abat Oliva (Cornellà)
Agustí Bartra (Terrassa)
Angela Roca (Viladecans)
Anna Ravell (Barcelona)
Antoni Gaudí (Castelldefels)
Bages (Manresa)
Barceló i Matas (Palafrugell)
Bonavista (Castellar del Vallès)
Carme Auguet (Girona)
Castell de Farners (Santa Coloma de Farners)
Cèlia Artiga (Reus)
Cèsar August (Tarragona)
Ciutat de Reus (Reus)
<b>Consol Ferré (Amposta) no usa</b>
Cunit 2 (Cunit)
Doctor Trueta (Viladecans)
Dolors Piera (Vilafranca de Penedés)

Dr Josep Baltà i Elias (Vilafranca Penedés)
Eduard Toda (Reus)
El Margalló (Vilanova i la Geltrú)
<b>El Morrot (Olot) no usa</b>
El Portitxol (L'Estartit)
<b>El sol i la lluna (Castellar del Vallès) no usa</b>
Els Estanys (Platja d'Aro)
Els Pinetons (Ripollet)
Eramprunyà (Gavà)
Estel (Molins de Reis)
Font de l'Alba (Terrassa)
Frederic Godàs (Lleida)
Guerau de Peguera (T. Foix)
Idelfons Cerdà (Centelles)
Jacin Verdaguer (Santa Eugènia de Berga)
Jaume Balmes (Cervera)
Joan Ardèvol (Cambrils)
Joaquim Cusí (Figueres)
Joaquim Ruyra (Blanes)
Joc de la bola (Lleida)
Josep Andreu Charli Rivel (Cubelles)
Josep Dalmau i Carles (Girona)
La Closa (Esterrí d'Àneu)
La Roda (Terrassa)
<b>La Valira (La Seu d'Urgell) no usa</b>
La Vinyala (Sant Vicenç dels Horts)
La Vitxeta (Reus) no usa
L'Alzina (Molins de Rei)
<b>Les Pruneres (Martorelles) no usa</b>
<b>Les Savines (Cervera) no usa</b>
L'Estel (Granollers)
<b>Lledoner (Granollers) no usa</b>
Lloriana (Sant Vicenç de Torelló)
Lluís Viñas Viñolas (Mora d'Ebre)
<b>Manresa XI (Manresa) no usa</b>
Marcel·lí Moragas (Gavà)
Mare de Deu del Mont (Girona)
Mare de Deu del Montserrat (Castellbisbal)
Marià Galí Guix (Terrassa)
Maria Ossó (Sitges)
<b>Martinet (Cornellà de Llobregat) no usa</b>
Mas Clariana (Cambrils)
<b>Mas Maria (Cabrils) no usa</b>
Mestre Agustí Barberà (Amposta)
Mestre Pla (Castellar del Vallès)
Miquel Granell (Amposta)

<b>Mont-Roig (Balaguer) no usa</b>
<b>Pere Torrent (Lloret de Mar) no usa</b>
Pericot (Girona)
<b>Pi Verd (Palafrugell) no usa</b>
Pla de Dalt (Olot)
Pompeu Fabra (Anglès)
<b>Pont de l'arcada (Olesa de Bonesvalls) no usa</b>
Ponts (Ponts)
Puig Gairalt (Hospitalet de Llobregat)
Rocafond (Mataró)
Roser Capdevila (Polinyà)
Saavedra (Tarragona)
Salvador Vilarrassa (Besalú)
Sant Bernat (Olesa de montserrat)
Sant Cristòfor (Begues)
<b>Sant Esteve (Castellar del Vallès) no usa</b>
Sant Ignasi (Manresa)
Sant Jaume (Portbou)
Sant Vicenç (Mollet del Vallès)
Santa Eulàlia (Berga)
Santa Teresa (Mora d'Ebre)
<b>Solcunit (Cunit) no usa</b>
Vaixell Burriac (Vilassar de Mar)
Valldeflors (Tremp)
Verd (Girona)