

Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.

CIMAT

Evaluación de Objetos de Aprendizaje a través de Seguimiento Ocular

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería de Software

P r e s e n t a

**María Guadalupe Alvarado
Hernández**

Codirectores de tesis:

Dr. Carlos Alberto Lara Álvarez

Dr. Hugo Arnoldo Mitre Hernández

Zacatecas, Zac. Agosto de 2016

Dedico esta tesis a.

Mis padres: Gustavo Alvarado Urzúa y Ma. Guadalupe Hernández Esquivel, que siempre han apoyado mis decisiones y me otorgan su apoyo incondicional. Mis hermanos Carlos, Ángel y Gustavo, que en situaciones de dificultad me motivan a continuar y cumplir todas mis metas en la vida. A una persona especial, Sergio Daniel Bañuelos García, por apoyarme y estar a mi lado durante toda la maestría.

AGRADECIMIENTOS

A CIMAT Zacatecas por haberme brindado la oportunidad de ingresar a la maestría en ingeniería de software, en la cual pude poner a prueba mis habilidades y conocer personas que me han inspirado a seguir adelante por su trabajo y dedicación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) por haber solventado este trabajo de investigación y mis estudios durante dos años por medio de una beca, sin la cual no habría podido obtener este nuevo grado en mi carrera profesional.

Así mismo, agradezco a mis tutores, el Dr. Hugo Arnoldo Mitre Hernández y el Dr. Carlos Alberto Lara Álvarez por haberme guiado en este trabajo de tesis, durante el cual nos enfrentamos a diversas dificultades; sin embargo el trabajo se concluyó exitosamente gracias a su experiencia, esfuerzo y apoyo.

A mis compañeros de generación, especialmente a aquellos con los que tuve la oportunidad de convivir más cercanamente, de los cuales me llevo gratos recuerdos y nuevo conocimiento adquirido gracias a su apoyo y experiencia profesional. Estos dos años fueron muy agradables gracias a su presencia.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia por haber apoyado la decisión de obtener este grado profesional, del cual me siento orgullosa y sé que el esfuerzo invertido rendirá frutos en mi futuro.

Para el contenido de la tesis, se agradece al Instituto Educativo de Zacatecas (IEZ) por su colaboración con el experimento realizado en este trabajo. De igual manera a la escuela primaria “Pedro Coronel” por la participación de los niños.

RESUMEN

Existen diversos elementos que brindan soporte en el ámbito de la educación, entre ellos los recursos multimedia. Hoy en día, los educadores e investigadores están buscando la manera de integrar los avances tecnológicos en el área de interacción humano-computadora para resolver los problemas reales del proceso de enseñanza-aprendizaje. Se considera la tecnología de seguimiento ocular, un medio para alcanzar dicha finalidad.

Un objeto de aprendizaje (OA) es cualquier entidad que puede ser utilizada, reutilizada o referenciada para el aprendizaje soportado en tecnología; por lo tanto, tiene una estrecha relación con los recursos multimedia utilizados para el proceso de enseñanza.

Esta tesis presenta una técnica de evaluación de OA en tiempo real que utiliza los datos recolectados por un dispositivo de rastreo ocular. La evaluación cuantitativa de OA se puede usar para comparar diferentes opciones en función de su calidad y pertinencia.

En la literatura se han propuesto métodos de evaluación que consideran varios aspectos, entre ellos el diseño estético del OA; sin embargo, estos métodos no son automáticos ya que están basados en instrumentos y su aplicación por los expertos del área. Además, existen miles de OA en la web creados por entidades inexpertas en el diseño de elementos gráficos que conlleva la realización de este tipo de recursos. Este trabajo ofrece una alternativa que podría beneficiar a los creadores de OA sin experiencia, a los expertos que los evalúan y finalmente los usuarios de éstos, pues se generarían OA de mayor calidad.

La idea general de la propuesta consiste en considerar que todos los elementos gráficos deben aportar información y el usuario debería dedicar tiempo de observación; de tal manera, que una medida basada en entropía del tiempo de observación puede ser útil. Además, la medida básica de entropía se extiende para valorar el diseño estético desde diferentes perspectivas y analizar la fluidez de la percepción de un estudiante frente a un OA.

Se llevaron a cabo dos experimentos para comparar diferentes OA con el cálculo de entropía: uno con malla estática y otro con malla dinámica. Los resultados muestran que la métrica propuesta es útil para la selección, mejora y evaluación del diseño de OA. Este trabajo también contrasta los resultados obtenidos con otras heurísticas usadas por expertos. Los estudiantes que utilizaron los OA seleccionados con la métrica tienen el mismo rendimiento académico que los que utilizaron OA seleccionados aleatoriamente; sin embargo, se demostró que los OA seleccionados con la propuesta optimizan la fluidez y el tiempo de observación requerido por los estudiantes.

ABSTRACT

Several elements exist to support the education field, including multimedia resources. Today, educators and researchers are looking for ways to integrate technological advances in human-computer interaction to solve the real problems of teaching-learning process. It is considered the eye-tracking technology, is a mean for achieving that aim.

A learning object (LO) is any entity that can be used, reused or referenced for learning supported by technology; therefore, it has a close relationship with multimedia resources used in the teaching process.

This thesis focuses on LOs evaluation in real time using data collected by an eye-tracking device. The quantitative evaluation of LOs can be used to compare different options in function of their quality and relevance.

In the literature there have been proposed assessment methods that consider various aspects, including the aesthetic design of the LO; however, these methods are not automatic because they are based on instruments and their implementation by experts in the area. Besides, there are thousands of LOs in the web created by inexpert entities in design of graphical elements involved in this type of resources. Offering an alternative to this problem could benefit the LOs inexperienced creators, experts and finally the users, generating the highest quality LOs.

The general proposal idea is to consider that all graphic elements should provide information to the user; so that a measure based on entropy can be useful. In addition, the basic measure of entropy is extended to assess the aesthetic design from different perspectives and analyze the perception's fluency of a student facing the LO.

Two experiments were conducted to compare different LOs: one with static grid and one with dynamic grid. The results show that the proposed metric is useful for the selection, design improvement and evaluation of LOs. This work also contrasts the obtained results with other heuristics used by experts. Students that used LOs selected with the metric have the same academic performance than those using randomly selected LOs; however, it was shown that LOs selected with the proposal optimize the fluency and the observation time required by students.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Sentencia del problema	4
1.1.1. Evaluación por expertos.....	5
1.1.2. Evaluación por medio de seguimiento ocular.....	6
1.2. Motivación	8
1.3. Objetivos y preguntas de investigación.....	9
1.4. Resumen de la propuesta	11
1.5. Estructura de tesis	12
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Definiciones	13
2.2. Trabajos relacionados.....	15
2.2.1. Herramientas de seguimiento ocular.....	15
2.2.2. Estudios que usan seguimiento ocular en diseño educativo.....	20
2.2.3. Entropía en seguimiento ocular.....	28
2.3. Conclusiones	32
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE OBJETOS DE APRENDIZAJE A TRAVÉS DE SEGUIMIENTO OCULAR.	33
3.1. Técnica de malla estática para evaluación de objetos de aprendizaje	34
3.2. Técnica de malla dinámica para evaluación de objetos de aprendizaje.	37
3.2.1. Escalas	37
3.2.2. Deslizamiento de la malla	38
3.2.3. Definición de la métrica mejorada.....	39
3.3. Procedimiento general	40
3.4. Desarrollo tecnológico.....	41
3.5. Resumen de la propuesta	43
CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN	44
4.1. Evaluación con malla estática	44
4.1.1. Materiales y métodos	44
4.1.2. Participantes.....	45

4.1.3.	Procedimiento	45
4.1.4.	Métricas.....	45
4.1.5.	Resultados y discusión	46
4.2.	Evaluación con malla dinámica	49
4.2.1.	Materiales y métodos	49
4.2.2.	Participantes.....	50
4.2.3.	Objetos de aprendizaje	50
4.2.4.	Procedimiento	51
4.2.5.	Métricas.....	51
4.2.6.	Resultados y discusión	52
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		56
5.1	Conclusiones generales.....	56
5.2	Evaluación del diseño estético de OA.....	57
5.3	Dificultades	58
5.4	Fluidez	58
5.5	Trabajo futuro	59
BIOBLOGRAFÍA.....		60
APENDICE A: Código fuente.....		63
APENDICE B: Imágenes utilizadas en el experimento A		66
APENDICE C: Imágenes utilizadas en el experimento B		68

Lista de figuras

Figura 1 Selección de objetos de aprendizaje.	4
Figura 2 Ilustración de la propuesta de evaluación de OA.....	11
Figura 3 Estudio del color realizado por Ozcelik.	21
Figura 4 Material utilizado en el estudio de Navarro.	22
Figura 5 Gráfico utilizado en el estudio de Tsai.....	24
Figura 6 Representaciones gráficas utilizadas por Vatrapu.	26
Figura 7 Gaze plot de dos participantes analizando el mismo mapa conceptual.	27
Figura 8 Entropía en función del espacio.	28
Figura 9 Entropía de las fijaciones en el estudio de Camilli.	29
Figura 10 Imágenes utilizadas para el estudio de Fabio.....	30
Figura 11 Secuencia de cuadrados utilizados en el estudio de Fabio.	31
Figura 12 Selección del mejor diseño.	34
Figura 13 División de la imagen con la malla estática para calcular entropía.	35
Figura 14 Ilustración de la estrategia de escalamiento de las celdas.	38
Figura 15 Ilustración del desplazamiento de la malla.	39
Figura 16 Secuencia de imágenes establecida para un objeto de aprendizaje.	40
Figura 17 Diferentes opciones de diseño para un objeto de aprendizaje.	40
Figura 18 Diagrama de flujo que ilustra el proceso del código en Python.....	42
Figura 19 Proceso que sigue el código realizado.....	43
Figura 20 Composición de OA seleccionados en fase de diseño.....	51

Lista de Tablas

Tabla 1 Aspectos de diseño y presentación del OA evaluados con seguimiento ocular.	7
Tabla 2 Resumen de herramientas de software con seguimiento ocular.....	19
Tabla 3 Resultados de entropía obtenidos para OA1 (bullying).....	46
Tabla 4 Resultados de entropía obtenidos para OA2 (anuncios publicitarios).	46
Tabla 5 Discusión sobre entropía y aspectos de evaluación de OA.	48
Tabla 6 Valores de entropía para el OA “leyendas” en fase de diseño.....	53
Tabla 7 Valores de entropía para el OA “teatro” en fase de diseño.	53
Tabla 8 Resultados para la mediana de velocidad de observación.....	53

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial muchos investigadores y educadores están buscando la manera de integrar los avances tecnológicos en el área de interacción humano-computadora (HCI, del inglés *Human-Computer Interaction*) a los problemas reales, y así proveer bases y herramientas que tengan el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Cuando se habla de aprendizaje, se habla de destrezas, conocimientos y habilidades dentro de un proceso relacionado con la educación y el desarrollo personal. En el ámbito educativo es común cuestionarse si los estudiantes tienen la preparación adecuada para continuar aprendiendo por sí mismos en el futuro (OCDE, 2012) y así, llegar a ser competitivos a nivel internacional. En México, la Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares (ENLACE) es el instrumento de diagnóstico para evaluar el grado de preparación y aprendizaje que han alcanzado los estudiantes de nivel básico y nivel medio superior. Sin embargo, ésta es sólo de carácter nacional.

La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) cuenta con el Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (PISA, del inglés *Programme for International Student Assessment*). La prueba PISA tiene por objetivo proporcionar una base de elementos que contribuyan al desarrollo de cada país a nivel internacional y trata de responder a la pregunta “¿qué es importante que los ciudadanos sepan y sean capaces de hacer?”, tomando en cuenta las diferentes áreas que abarca un estudiante, tales como matemáticas, lectura, ciencias, etc. El informe PISA busca determinar si los estudiantes pueden reproducir lo aprendido en el entorno educativo y transferir sus conocimientos a un entorno externo.

En los últimos 12 años, México ha ocupado los últimos lugares en la prueba PISA en la escala de aptitud matemática y de lectura en comparación con el desempeño de estudiantes de otros países miembros de la OCDE (OCDE, 2000, 2004, 2007, 2010, 2013). Estos resultados son alarmantes, ya que a México podría tomarle más de 25 años alcanzar el promedio de aptitud matemática y más de 65 años en lectura de los países de la OCDE si se continúa con el mismo proceso de enseñanza-aprendizaje en el actual sistema educativo (OCDE, 2013).

Se ha demostrado que los recursos multimedia apoyan al entendimiento de los conceptos matemáticos. El trabajo de Ozdemir *et al.* (Ozdemir, Ozan, & Aydogan, 2013) menciona que los **instrumentos de contenido multimedia** que utilizan los maestros como material de aprendizaje, **incrementan la productividad y efectividad de la actividad de enseñanza**. Dicho estudio menciona que utilizar contenido multimedia durante las sesiones

incrementa la **motivación, curiosidad e interés** del estudiante, y por consecuencia, esto tiene efectos positivos.

Estos aspectos son altamente importantes para lograr la productividad esperada en la educación (Ozdemir et al., 2013). Sin embargo, Park *et al.* (Park, Plass, & Brünken, 2014) argumentan que el proceso cognitivo de seleccionar **información relevante** y organizarla para construir un modelo mental coherente **puede ser afectado en forma negativa** por los detalles o las ilustraciones decorativas del material de aprendizaje.

El aprendizaje de contenido de tipo conceptual (Morgado, Peñalvo, & Hidalgo, 2015) implica objetivos dirigidos al conocimiento, memorización de datos y hechos, relación de elementos y sus partes, discriminar, listar, comparar, etc. Para cumplir con este propósito, se utilizan representaciones visuales como los organigramas, esquemas y mapas conceptuales. Por otra parte, en el aprendizaje de procedimientos y procesos se utilizan recursos como videos, programas tutoriales que utilizan imágenes, texto y/o movimiento, animaciones, etc. Estos elementos se encuentran fácilmente en los recursos electrónicos, por lo que es importante la forma en que éstos se presentan al alumno.

Cuando hablamos de recursos multimedia, hablamos de **Objetos de Aprendizaje (OA)**, los cuales mantienen una estrecha relación en los elementos que los componen. Los OA son un medio que brinda soporte a la educación. No existe un consenso en la definición de objetos de aprendizaje, pero el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) lo define como “todo material estructurado de una forma significativa asociado a un propósito educativo y que corresponda a un carácter digital que pueda ser distribuido y consultado a través de internet”, mientras que Callejas *et al.* (Callejas Cuervo, Hernández Niño, & Villamil Pinzón, 2011) definen un OA como “cualquier entidad digital o no digital que puede ser utilizada, reutilizada o referenciada para el aprendizaje soportado en tecnología”.

Otamendi *et al.* (Otamendi, Belfer, Nesbit, & Leacock, 2010) definen un OA como un recurso de información o software interactivo utilizado en el aprendizaje en línea. Algunos ejemplos de OA incluyen: una imagen, una página de texto, una simulación interactiva o un curso completo. En la actualidad, existe una gran diversidad de OA disponibles en la web por lo que surge la **necesidad de evaluar la calidad y pertinencia** de los mismos (Otamendi et al., 2010).

Los avances tecnológicos, específicamente la retroalimentación con el humano de forma fisiológica, abren la posibilidad de automatizar la evaluación de OA. Un sensor ampliamente usado para este fin es el dispositivo **rastreador ocular** –conocido comúnmente como *eye tracker*– que permite obtener datos en tiempo real de lo que el usuario observa en una pantalla.

Callejas *et al.* (Callejas Cuervo et al., 2011) explican que la **reusabilidad** y **granularidad** representan las dos propiedades más importantes de los OA, con esto se refieren a que se puedan utilizar como unidades que pueden ser acopladas o enlazadas de diferentes maneras. Además, un OA debe cumplir con las siguientes características:

- *Flexibilidad.* El material educativo se puede usar en múltiples contextos.
- *Personalización.* Posibilidad de cambios en las secuencias y otras formas de contextualización de contenidos, lo que permite una combinación y recombinación de OA a la medida de las necesidades formativas de usuarios.
- *Modularidad.* Posibilidad de entregarlos en módulos.
- *Adaptabilidad.* Puede adaptarse a los diferentes estilos de aprendizaje de los alumnos.
- *Reutilización.* El objeto debe tener la capacidad para ser usado en contextos y propósitos educativos diferentes y adaptarse pudiendo combinarse dentro de nuevas secuencias formativas.
- *Durabilidad.* Los objetos deben contar con una buena vigencia de la información, sin necesidad de nuevos diseños.

El desarrollo de OA implica el trabajo de diferentes especialistas, que parten de un conocimiento interdisciplinario y desarrollan componentes técnicos, académicos y metodológicos, de tal forma que se crea un OA coherente y útil para que el estudiante alcance de los objetivos de aprendizaje. Callejas *et al.* establecen criterios de calidad para valorar las características de un OA, sin embargo no se habla mucho del aspecto de **durabilidad** —específicamente el **entorno audiovisual**. Debido a la importancia de diseñar OA que sean realmente útiles para apoyar la educación curricular y no curricular, se identifica que existen aspectos cuestionables en el diseño y uso de este tipo de recursos.

Este trabajo propone la evaluación del **diseño estético** de objetos de aprendizaje utilizando la entropía calculada a partir del tiempo de observación de los elementos visuales que componen el mismo. De esta manera, se puede identificar si los elementos gráficos del OA aportan información o si son demasiado complicados que demanden un esfuerzo adicional al estudiante, dificultando así la fluidez y el proceso de aprendizaje.

1.1. Sentencia del problema

Actualmente, existen muchos objetos de aprendizaje disponibles de forma gratuita a través de internet. Sin embargo, debido a la gran variedad de estilos, resulta difícil seleccionar aquellos que se adapten mejor a las necesidades específicas de los estudiantes (Morgado et al., 2015).

Para desarrollar las habilidades y destrezas necesarias en el proceso de enseñanza-aprendizaje, es importante que los docentes tengan acceso a los recursos electrónicos adecuados que se adapten a las necesidades educativas de los alumnos. Uno de los principales problemas de los OA, es que **no hay un patrón claro de diseño que permita potenciar su máxima reutilización**, sin dejar de lado un diseño instruccional mínimo (Morgado et al., 2015).

La Figura 1, muestra el esquema general de comparación entre OA. Dado un conjunto, se desea evaluarlos en términos de diseño y presentación para seleccionar el mejor. Usualmente la evaluación se realiza por expertos, en esta tesis se propone la evaluación automatizada.

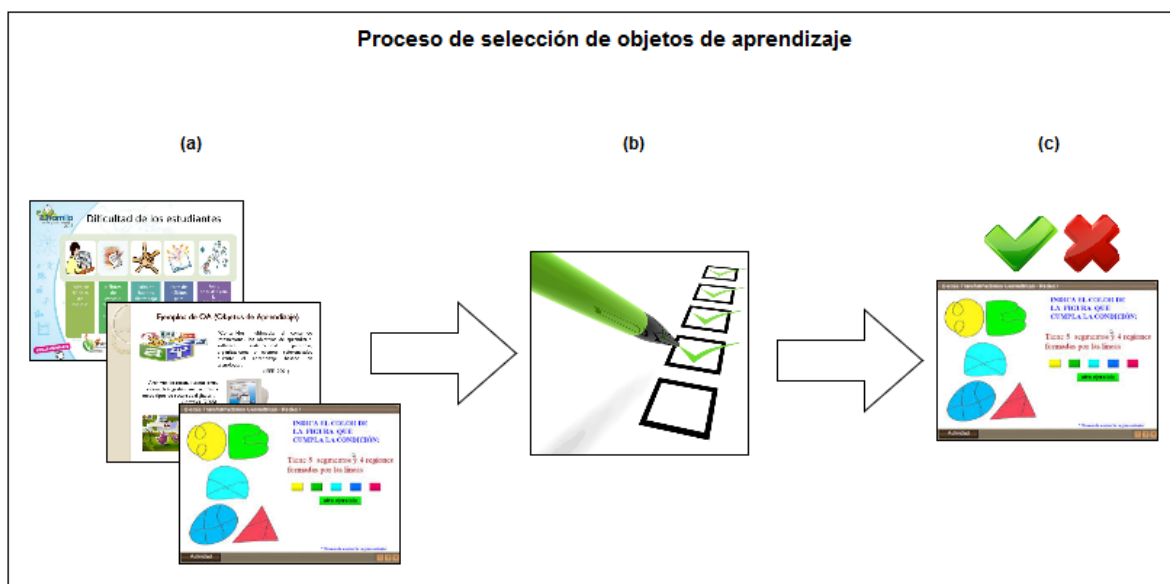


Figura 1 Selección de objetos de aprendizaje.

(a) Dado un conjunto de OA, (b) se contrastan con el instrumento del experto y (c) se emite la valoración.

Los OA son recursos que debido a su naturaleza **son difíciles de evaluar**, ya que poseen características de una aplicación de software y de un elemento instruccional (Velázquez et al., 2015). Con el propósito de mejorar la calidad de estos recursos instruccionales, se llevan a cabo diferentes tipos de evaluación.

1.1.1. Evaluación por expertos

En la literatura se han propuesto instrumentos de evaluación que consideran entre varios aspectos, el de **diseño y presentación del OA**, tales como el instrumento LORI (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003) o el método propuesto en (Ril Gil & Toll Palma, 2013).

En LORI (del inglés, *Learning Object Review Instrument*), la variable de “diseño y presentación” se puntuará utilizando una escala del 1 al 5. Si la variable no es relevante para la evaluación o si el evaluador no se siente capacitado para juzgarla, entonces puede marcar NA (No Aplica). En el modelo de Toll, Y. & Ril, Y. se utiliza una escala Likert (excelente=3, bien=2, regular=1 y malo=0) para evaluar cada indicador.

Este tipo de evaluación es categorizada como **indirecta**, pues considera que un experto, con ayuda de directrices, puede mejorar el diseño y contenido de OA; desafortunadamente, esto puede representar un reto pues el evaluador debe tener **dominio de conocimientos** psicológicos, pedagógicos, de diseño gráfico, usabilidad, entre otros.

En la evaluación **directa**, se obtiene información de la calidad del OA directamente de los estudiantes. Una estrategia simple es utilizar cuestionarios o encuestas. Un ejemplo es LOES-S (del inglés, *Learning Object Evaluation Scale for Students*), que incluye tres principales categorías: aprendizaje, calidad e interés (Kay, 2011). Después de utilizar el OA, los estudiantes completan una encuesta para determinar su percepción de (a) cuánto aprendieron, (b) la calidad del OA, y (c) qué tan interesados se mostraban mientras usaban el OA.

Existen pocos instrumentos de evaluación de OA, de los cuales la mayoría carecen de una estructura de evaluación coherente y se ha restringido la **amplitud** y el **alcance** de la metodología utilizada (Kay, 2011). Estos instrumentos, así como la percepción de los estudiantes, permiten conocer aspectos importantes de su diseño. Desafortunadamente, estos instrumentos **sólo se pueden aplicar al final de la prueba**, lo que provoca que se obtenga información con una **percepción desplazada en el tiempo** y no son automáticos.

Otra problemática se encuentra en que las variables utilizadas en dichos métodos **abarcan poco los aspectos de diseño y presentación estéticos**, ya que esta categoría se encuentra guiada por recomendaciones, opiniones personales y el tipo de público al que va dirigido el OA, lo que la hace **difícil de medir** y mejorar.

Se ha comprobado que los factores de diseño, por ejemplo los colores y formas utilizados en los ambientes de aprendizaje, pueden inducir efectos positivos en los estudiantes, lo cual facilita la comprensión y transferencia de conocimiento. Los estudiantes que se encuentran en un estado de concentración y encuentran obstáculos o dificultades experimentan frustración, confusión u otros aspectos negativos, lo que hace difícil volver

al estado de fluidez. Este hecho eventualmente conduce al aburrimiento y reduce el aprendizaje (Plass, Hayward, Homer, & Um, 2013).

Se piensa que es posible generar un método automático que evalúe los aspectos directos como el interés y logro del estudiante. Así mismo, este método puede relacionarse con las directrices de los instrumentos de los expertos para realizar una evaluación del OA.

1.1.2. Evaluación por medio de seguimiento ocular

La tecnología de seguimiento ocular (del inglés, *Eye tracking*) ha sido ampliamente utilizada en el campo de HCI en los últimos años. Los investigadores han implementado esta metodología para diversos estudios donde se busca analizar la presentación del material educativo. Estos estudios han sido llevados a cabo basados en varios factores como: el grado de los estudiantes, el rendimiento académico de los estudiantes (Navarro, Molina, Lacruz, & Redondo, 2012), el tipo de material didáctico, el código de color de dicho material (Ozcelik, Karakus, Kursun, & Cagiltay, 2009), la complejidad de la tarea que el estudiante debe ejecutar (Fabio, Carrozza, Falzone, & Mohammadhasani, 2012), etc.

Sin embargo, los investigadores sólo toman partes específicas para análisis. Como se puede observar en la Tabla 1 a manera de resumen, no existen trabajos relacionados a todos los aspectos que abarca el diseño estético. El enfoque se basa en hacer recomendaciones en base a los resultados del estudio empírico. No obstante, se argumenta que la técnica de seguimiento ocular es útil para realizar este tipo de investigaciones. Estos estudios se explican a detalle en el capítulo 2.

Tabla 1 Aspectos de diseño y presentación del OA evaluados con seguimiento ocular.

Aspecto de “Diseño y presentación” en la evaluación de OA	Evaluación por seguimiento ocular
La calidad de la producción (ej. guía de estilo) y el diseño de la información permiten al usuario aprender de manera eficiente (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003).	Se ha estudiado el “efecto de código de color” para demostrar que el material en formato de color es más efectivo que el monocromático. Sin embargo no significa que el diseño es correcto.
La estructura visual propicia la Identificación efectiva de los elementos presentes en pantalla (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003).	Se ha detectado que los estudiantes exitosos dedican mayor tiempo de fijación en los elementos relevantes del material educativo, y por consecuencia, mayor tiempo en las respuestas correctas que en las incorrectas. Los estudiantes que no son exitosos, invierten el tiempo en tratar de decodificar el problema y en reconocer los factores relevantes , así como en auto-regular su concentración.
El texto es legible (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003).	Estudios indican que el formato en que se presenta una lectura puede afectar el comportamiento o el grado de atención que mantiene una persona. También se identifican las zonas preferidas de lectura en una pantalla.
Los gráficos y tablas se encuentran correctamente etiquetados y ordenados (Ril Gil & Toll Palma, 2013).	—
Los distintos párrafos están encabezados por títulos significativos (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003).	—
El color, la música, y diseño son estéticos y no interfieren con los objetivos de aprendizaje (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003).	—
Diversidad en la representación del contenido mostrado (Ril Gil & Toll Palma, 2013).	Se analizó como la selección de una representación gráfica (o notación) puede afectar el grado de entendimiento de un estudiante.
Visibilidad de las imágenes (Ril Gil & Toll Palma, 2013).	—
Usabilidad (Ril Gil & Toll Palma, 2013).	El aspecto de usabilidad se estudia principalmente en la navegación de sitios web.
Evaluación del nivel de organización de las imágenes y texto (Ril Gil & Toll Palma, 2013) .	—

1.2. Motivación

El propósito de este trabajo es brindar soporte en la toma de decisiones para la mejora y selección de objetos de aprendizaje. Esto haría posible crear OA con un diseño estético soportado con datos de seguimiento ocular en tiempo real. Al mismo tiempo, este enfoque podría servir para ayudar a creadores de OA sin experiencia a tomar decisiones de diseño, y a los usuarios finales a obtener material educativo de mejor calidad en el aspecto gráfico.

Los principales beneficiarios serían:

Alumnos de educación básica. En este caso, se verían mejorados factores de motivación y atención al momento de utilizar los OA, aspectos que favorecen el proceso de aprendizaje. Por otra parte, se podría optimizar el entendimiento de la información clave para la comprensión del tema que maneja el OA, por medio de modificaciones al diseño. Este factor facilitaría la tarea de aprendizaje para el estudiante, haciendo que el diseño propio del OA favorezca al tiempo de consumo de información del mismo.

Diseñadores de objetos de aprendizaje sin experiencia. Muchos de los programadores que desarrollan OA no son pedagogos, psicólogos, diseñadores gráficos o expertos en usabilidad, lo cual dificulta la tarea de creación de OA con un diseño estético que sea apropiado y apoye al estudiante. Se intenta ofrecer a los creadores de OA, una alternativa para evaluar decisiones de diseño tomadas e indicar si están cumpliendo con los objetivos deseados. Este tipo de evaluación y retroalimentación, podría realizarse durante el proceso de desarrollo y no hasta que el OA se da por terminado, dificultando así cualquier tipo de modificación.

Expertos en diseño de objetos de aprendizaje. En el caso de los expertos, este trabajo proporcionaría un punto de vista diferente al juicio individual. Esto debido a que al implementar la tecnología de seguimiento ocular, se tiene la perspectiva del usuario final: los estudiantes. Esta variante podría confirmar o rechazar los criterios que los expertos establecen como los apropiados para el diseño y las representaciones gráficas del OA.

1.3. Objetivos y preguntas de investigación

En este apartado se definen los objetivos y las preguntas de investigación que se plantean para la investigación y validación de este tema de tesis. Los objetivos son los siguientes:

- 1. Identificar las técnicas reportadas en la literatura para evaluar objetos de aprendizaje por medio de instrumentos de expertos y con la metodología de seguimiento ocular.**
 - a. Realizar un marco teórico con la temática de seguimiento ocular o “*Eye tracking*” en el ámbito del aprendizaje y la evaluación de OA realizada por expertos, cuyo objetivo es conocer las investigaciones que se están llevando a cabo en el área.
 - b. Analizar las métricas de la metodología de seguimiento ocular que se utilizan en el área de HCI para investigar el comportamiento visual de una persona y de qué manera son utilizadas para los análisis realizados, así como los instrumentos que utilizan los expertos para evaluar la calidad de los OA.

- 2. Desarrollar una técnica para evaluar los aspectos de diseño y presentación (estéticos) de los objetos de aprendizaje con la metodología de seguimiento ocular.**
 - a. Describir el concepto de entropía informática como una medida del desorden.
 - b. Diseñar una métrica basada en entropía que usa el tiempo de observación de elementos de un OA y áreas de interés.

- 3. Aplicar la métrica basada en entropía del seguimiento ocular a través de un experimento donde se presentan diferentes objetos de aprendizaje a los usuarios.**
 - a. Gestionar un permiso en una escuela primaria de la zona para trabajar con quince niños que observaron los OA.
 - b. Utilizar la herramienta *open source* OGAMA para mostrar los OA y recolectar datos de seguimiento ocular.
 - c. Recolectar datos de secciones de OA con diseños similares para obtener resultados confiables del experimento.
 - d. Gestionar un segundo estudio para trabajar con treinta y dos niños y analizar el tiempo de observación requerido y valorar el desempeño.

- 4. Analizar los resultados del experimento, validar la propuesta y establecer conclusiones y discusiones.**
 - a. Analizar los datos obtenidos por el rastreador ocular. Se encontró que algunos OA presentaron más entropía que otros con diseños similares.
 - b. Comprobar que la métrica propuesta basada en entropía es útil para comparar diferentes OA y los mejores diseños están relacionados con las pautas propuestas por los expertos en diseño de OA.
 - c. Comprobar que los diseños que maximizan la métrica propuesta también mejoran la fluidez de la percepción y el tiempo de observación requerido por el estudiante, conservando el mismo rendimiento.

Con respecto a la sentencia del problema definida, se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- **PI1 - ¿Qué técnicas son útiles para evaluar objetos de aprendizaje por medio de instrumentos de expertos y con la metodología de seguimiento ocular?**
- **PI2 - ¿Es útil una métrica basada en entropía de los datos de seguimiento ocular para comparar el diseño de OA?**
- **PI3 - ¿Cómo están relacionados los resultados obtenidos con el uso de la métrica propuesta con las pautas propuestas por los expertos en diseño de OA?**

De igual manera, se define la siguiente hipótesis:

H1: El diseño que maximiza la entropía de seguimiento ocular permite disminuir la velocidad de análisis del OA sin alterar el rendimiento del estudiante.

1.4. Resumen de la propuesta

En este trabajo se propone la evaluación del diseño estético de OA con la entropía calculada a partir del tiempo de observación de los elementos visuales que componen un objeto de aprendizaje, dicho tiempo de observación o “fijación” se puede obtener por medio de un rastreador ocular.

Las técnicas de seguimiento ocular permiten delimitar las zonas del OA que queremos evaluar (conocidas como áreas de interés o AOI), partiendo desde una sección en una imagen o tomando todo el contenido como una sección.

Al revisar los estudios de color y estructura de OA se puede suponer que: (i) si un elemento de un objeto de aprendizaje no es atractivo, entonces el tiempo que el estudiante observa ese elemento será sustancialmente menor en comparación de otros elementos del mismo OA, y (ii) si un elemento es muy complejo, entonces el estudiante dedicará un tiempo considerablemente superior para analizar dicho elemento.

De tal manera, se infiere que los mejores OA tienen elementos gráficos que deben ser observados en tiempos razonables. Esto implicaría que los elementos que integran un OA: son lo suficientemente atractivos, contienen información relevante y son simples.

La técnica propuesta está orientada a comparar una colección de OA para seleccionar el mejor diseño, tal como se muestra en la Figura 2.

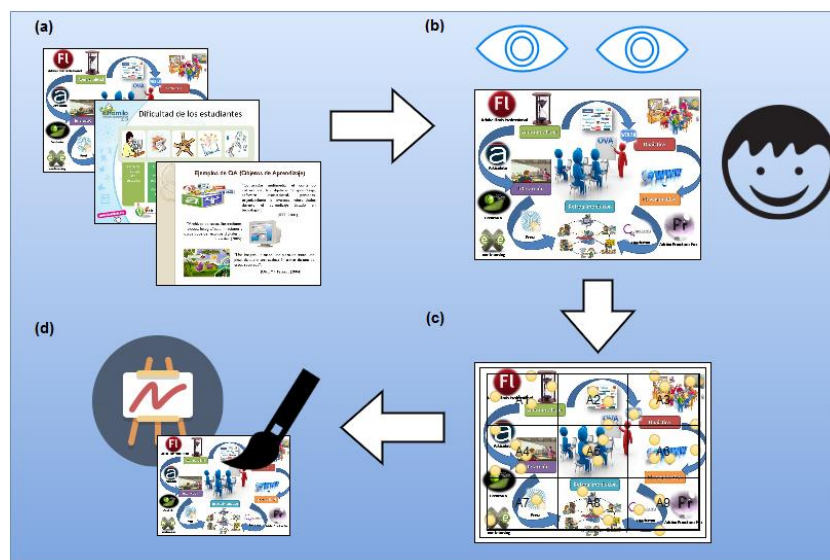


Figura 2 Ilustración de la propuesta de evaluación de OA

Por medio de la metodología de seguimiento ocular, (a) Diferentes OA son (b) mostrados al participante para (c) recolectar datos por medio de un rastreador ocular y (d) seleccionar el mejor diseño.

1.5. Estructura de tesis

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma:

1. **Introducción.** Se explica la problemática, la motivación de la investigación del tema y se plantean los objetivos y preguntas de investigación.
2. **Marco teórico.** En este capítulo se explican los avances que han obtenido otros investigadores del área de HCI referentes a la metodología de seguimiento ocular y al estudio del formato del material educativo.
3. **Propuesta para evaluación de OA a través de seguimiento ocular.** En este capítulo se explica detalladamente el enfoque propuesto para la evaluación de OA por medio de seguimiento ocular y cómo éste se puede utilizar para dicho propósito.
4. **Experimentación.** Se detalla el proceso de experimentación, se interpretan los resultados y se discute cómo la técnica propuesta puede apoyar a la evaluación de los OA.
5. **Conclusiones y trabajo futuro.** Se establece la principal aportación de este trabajo y se explica la continuación a futuro.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen conceptos, métricas, herramientas, estudios y enfoques teóricos referentes a la investigación del comportamiento visual, la cual se apoya con el uso de seguimiento ocular. El propósito de este capítulo es dar a conocer lo que otros investigadores han establecido respecto al diseño en el material educativo, para así establecer una relación directa con el enfoque que propone este trabajo.

2.1. Definiciones

En este apartado, se definen los conceptos necesarios para comprender el contenido de este trabajo. Primero, es necesario entender ¿Qué es el seguimiento ocular? Para responder a esta pregunta son útiles las siguientes definiciones (Romano Bergstrom & Schall, 2013).

Seguimiento ocular o “Eye tracking”. Es una metodología que ayuda a los investigadores a entender la atención visual. Con seguimiento ocular, podemos detectar lo que los usuarios ven en un determinado punto del tiempo, el tiempo que miran algo, y la ruta que siguen sus ojos (Romano Bergstrom & Schall, 2013).

Rastreador ocular o “Eye tracker”. Un rastreador ocular es un dispositivo que permite a los investigadores observar la posición del ojo para entender dónde una persona está buscando. La mayoría de los rastreadores oculares modernos se basan en un método llamado reflejo corneal para detectar y realizar un seguimiento de la ubicación del ojo mientras se mueve. La reflexión corneal utiliza una fuente de luz para iluminar el ojo, lo que provoca entonces una reflexión que es detectada por una cámara de alta resolución. La imagen capturada por la cámara se utiliza para identificar la reflexión de la fuente de luz sobre la córnea y en la pupila.

El seguimiento ocular ha sido aplicado en numerosos campos de estudio, incluyendo factores humanos, psicología cognitiva, marketing, experiencia de usuario y el amplio campo de HCI. El proceso de observación de una persona se divide en:

Fijaciones. Una fijación es la pausa del movimiento de los ojos en un área específica del campo visual. Estas pausas son a menudo muy breves (típicamente entre 100 y 600 ms), ya que el ojo realiza continuamente movimientos sacádicos. Es la unidad más básica de análisis para la comprensión de la atención visual.

Saltos sacádicos. Son movimientos rápidos de los ojos de una fijación a otra para ayudar a los ojos al mismo tiempo a agrupar las piezas de una escena completa que el individuo observa.

Las fijaciones tienen lugar en la visión fovea, lo que representa casi la mitad de la información visual enviada al cerebro. Esta parte de la visión es muy detallada y proporciona una completa claridad acerca de lo que una persona está viendo. La atención primaria suele centrarse en lo que se registra en la visión fovea.

Un rastreador ocular es una poderosa herramienta que ofrece una representación muy exacta y comprensión del comportamiento del movimiento de los ojos de un individuo. Los atributos de localización, duración, y el movimiento constituyen la base de este entendimiento.

Localización. La ubicación de la mirada de un usuario en un momento particular en el tiempo (es decir, una fijación). Las fijaciones se pueden asignar a coordenadas específicas en X y Y en una cuadrícula que ayuda a determinar lo que el usuario ve en una pantalla dada.

Duración. Es la longitud de tiempo que un usuario fija la mirada en una zona de la pantalla.

Movimiento. El movimiento de los ojos de un usuario se basa en los sacádicos de una fijación a otra y establece el patrón de ojo-mirada que refleja cómo el usuario interpreta un estímulo visual en particular. Este patrón proporciona la base para la comprensión de la jerarquía visual de una escena.

Los rastreadores oculares hoy en día vienen con paquetes de software que producen instantáneamente visualizaciones de los datos de seguimiento ocular. La salida de estos paquetes de software ayudará a destacar dónde el usuario veía, la longitud de tiempo que se veía allí, y el patrón de mirada que sus ojos siguieron. Algunas de las visualizaciones comunes incluyen:

Mapa de calor o "Heat map". Es una visualización que utiliza diferentes colores para mostrar la cantidad de fijaciones que los participantes hicieron o por cuánto tiempo se fijaron en ciertas zonas. Los mapas de calor están codificados por colores: rojo se utiliza normalmente para indicar un número relativamente alto de fijaciones o de duración y el verde para un número menor, con diferentes niveles en el medio. Un área sin color en un mapa de calor significa que los participantes no hicieron fijaciones en la zona. Esto no significa necesariamente que no vieron nada, también puede deberse a que la zona fue vista por un periodo de tiempo corto o periféricamente, pero esto pudo no haber sido detectado por el rastreador ocular.

Gaze plots. Son una representación visual de las fijaciones y saltos sacádicos de un lapso de tiempo determinado. En la mayoría de las aplicaciones de software, las fijaciones están representadas por puntos, y los movimientos sacádicos son líneas que conectan los puntos.

Áreas de interés (Area of interest, AOI). Son áreas o contenidos específicos de la interfaz de usuario que le interesa al equipo o grupo de investigación.

Una vez aclarados los términos de la metodología de seguimiento ocular y para dar continuidad a este trabajo, se discuten los trabajos relacionados en la siguiente sección.

2.2. Trabajos relacionados

En esta sección se presentan tres diferentes enfoques en los que se ha utilizado seguimiento ocular como herramienta de investigación. El primero de ellos es la creación de herramientas de software. El segundo describe estudios realizados con seguimiento ocular para analizar los datos de una muestra determinada de sujetos de prueba. Para finalizar, el tercer enfoque menciona estudios realizados con una medida conocida como entropía, y su relación con el seguimiento ocular.

2.2.1. Herramientas de seguimiento ocular

En los últimos años, se han realizado esfuerzos para integrar las TICs en los ámbitos de educación, gestión, investigación y docencia. Esto se debe a que las TICs son un medio que tiene por objetivo facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje, incrementar la competitividad de las universidades para la capacitación de estudiantes mediante procesos formativos en línea y facilitar la movilidad mediante el desarrollo de materiales digitales para los estudiantes (Cabero, J., Llorente, M. y Morales, 2013). Ejemplo de esto es el uso de plataformas *E-learning* o de aprendizaje en red.

E-learning, también conocido como aprendizaje en red, teleformación, aprendizaje virtual, etc. hace referencia a la formación que utiliza la red como tecnología de distribución de la información. La Dirección General de Telecomunicaciones de Teleeducación lo define como el desarrollo del proceso de formación a distancia (reglada o no reglada), basado en el uso de tecnología de la información y telecomunicaciones, que posibilita un aprendizaje interactivo, flexible y accesible a cualquier receptor potencial (Almenara, 2006).

Este tipo de aprendizaje ofrece diversas ventajas, por ejemplo, la formación a distancia ofrece acceso a la educación para una población estudiantil más diversa, la oportunidad

para los estudiantes de participar en una comunicación interactiva con el profesor y sus compañeros, el desafío intelectual, el interés en el uso de la tecnología, la investigación, y finalmente la satisfacción que muestran los estudiantes al participar en este tipo de experiencias (Cabero, J., Llorente, M. y Morales, 2013).

Sin embargo, la implementación de *E-Learning* conlleva algunos problemas, como explican Cantoni *et al.* (Cantoni, Jimenez Perez, Porta, & Ricotti, 2012), uno de los mayores conflictos es la **falta de conexión emocional entre el estudiante y el maestro** ya que la **evaluación del nivel de entendimiento del estudiante no puede ocurrir en tiempo real sino hasta posteriormente.**

En contraste con los métodos tradicionales y presenciales de aprendizaje, esto representa una gran dificultad para ambos lados (el estudiante y el maestro) debido a que en un tipo de educación presencial, un buen maestro identifica cuando un alumno tiene problemas, siendo evidente un comportamiento más emocional por parte del alumno a través de expresiones faciales, gestos corporales, etc.

Para dar solución a este tipo de problemas, se han implementado sensores que trabajan en conjunto con las plataformas *E-Learnig*, para detectar este tipo de dificultades en el estudiante cuando no existe completamente una educación presencial. Ejemplo de estos, son las plataformas o herramientas que utilizan seguimiento ocular.

Se utiliza seguimiento ocular debido a que implícitamente **proporciona información del enfoque de la atención del usuario en un punto del tiempo específico.** Esto resulta útil para los campos de investigación que intentan descifrar el comportamiento visual de una persona frente a una tarea determinada. Las técnicas de seguimiento ocular se han integrado en herramientas o sistemas inteligentes que realizan acciones específicas basándose en los datos del usuario, registrados por un rastreador ocular.

A continuación se describen herramientas encontradas en la literatura, que demuestran el uso de sensores de rastreo ocular para monitorear el rendimiento de un estudiante.

IDICT

La herramienta **IDICT** (Hyrskykari, Majaranta, Aaltonen, & Rähä, 2000) supervisa la ruta de mirada del usuario, mientras que este lee un texto escrito en un idioma extranjero. Cuando el lector se encuentra con dificultades, IDICT interviene y ofrece ayuda con la traducción. Para lograr esto, el sistema hace uso de la información obtenida de la lectura, un modelo de lenguaje, y el perfil de usuario.

IDICT funciona como una ayuda en la tarea de traducción, y está dirigida a los mercados de masas, debido a que los autores mencionan que **las aplicaciones de “ojos consientes”**

han existido por mucho tiempo, pero son únicamente para las poblaciones objetivo especiales y restringidas.

Por un lado, esta aplicación va dirigida a la asistencia en la lectura, donde se destaca la importancia de las fijaciones en las palabras que componen un texto. Generalmente, **una fijación revela la atención del lector y el interés; los ojos revelan lo que alguien está pensando.** La recuperación real de la información de lectura sólo ocurre durante las fijaciones ya que ninguna información se adquiere entre fijaciones, durante los movimientos oculares sacádicos, pues son tiempos extremadamente cortos.

Así mismo, se menciona que las palabras cortas y comunes pueden ser omitidas, pero las palabras largas requieren por lo menos dos fijaciones. Existe una fuerte correlación entre el número de palabras y el número de fijaciones en una frase: un buen lector se fija en casi todas las palabras. La duración de una fijación también refleja la dificultad de la palabra, un lector puede prestar más atención a aquellas palabras que son poco comunes, contrario a las palabras de uso frecuente o que le son familiares, éstas requieren un tiempo corto de fijación.

Por otro lado, se ha descubierto que cuando el lector tiene que volver al principio de la oración o frase y releer, indica fracaso en la comprensión, en este trabajo los autores lo definen como “regresión”. **El texto difícil o mal escrito adquiere una gran cantidad de regresiones, lo que conlleva un mayor tiempo de procesamiento de información.**

IDICT provee ayuda con la traducción mostrando información referente a la palabra o frase problemática en forma de *tooltips*. Especialistas resaltan que diferenciar la detección de problemas al momento de leer constituye un inicio para intentar entender el comportamiento de los ojos frente a una tarea. Los patrones que se identificaron son:

1. Leyendo. Se considera un comportamiento de lectura normal, mirando la mayoría de las palabras.
2. Escaneando. Cuando el usuario lee rápidamente o está buscando algo.
3. Mirando. Este es un estado latente en el que se incurre cuando el usuario no está leyendo ni escaneando, sino que realizó una pausa para posiblemente pensar en el contenido del texto.
4. Dificultades. Cuando las fijaciones incrementan en una sola palabra o alrededor de ella, es ahí donde se asume que la palabra es problemática y se dispara la ayuda con la traducción.

ADELE

Una implementación más detallada se encuentra en el framework **ADELE** (*A Framework for Adaptive E-Learning through Eye Tracking*, por sus siglas en inglés) (García Barrios et al., 2004).

Este sistema se alimenta de los datos del usuario a través de la tecnología de seguimiento ocular, con la intención de analizar el comportamiento de aprendizaje del observador en tiempo real. Para esto utiliza el control de características tales como objetos y áreas de interés, el tiempo invertido a éstos, la frecuencia de las visitas en ciertas zonas y la secuencia en la que se examina el contenido. De esta manera, se construye un perfil completo de la persona, incluyendo preferencias, nivel de conocimiento y comportamiento en tiempo real.

Los módulos que la integran (entre los que se incluyen para: la información del usuario, el perfil de éste, conocimiento semántico adaptativo, seguimiento ocular, diálogos interactivos, creación y mantenimiento de cursos, tópicos del curso, conocimiento base, etc.) y las bases de datos que maneja (base de datos para: el perfil del usuario, filtros colaborativos y estadísticas) hacen de ésta una robusta herramienta que da soporte adaptativo en un ambiente *E-Learning*.

El principio fundamental de ADELE, es obtener una idea de las estrategias que aplican los usuarios cuando se utiliza una plataforma de *E-Learning* y, al igual que IDICT, busca detectar patrones indicativos de desorientación u otras estrategias de aprendizaje menos óptimas en tiempo real, con la diferencia de que ésta es más detallada en su arquitectura y se aplica para creación así como el mantenimiento de cursos educativos.

E5Learning

Finalmente, se encuentra la herramienta **E5Learning** (por los términos en inglés: *Enhanced Exploitation of Eyes for Effective E-Learning*) (Calvi, Porta, & Sacchi, 2008), un ambiente *e-learning* donde existe un creador de contenido educativo, quien es capaz de establecer cuanta atención (medida en tiempo de fijación) debería otorgar un usuario a las diferentes secciones o áreas del mismo para que éste pueda avanzar en el curso.

Con esta dependencia de tiempo de visualización, E5Learning permite emitir una valoración en cada zona de “vista”: 1) completamente, 2) parcialmente 3) muy poco y 4) no del todo. A diferencia de las herramientas anteriores, se busca integrar la detección de emociones negativas como el cansancio o los problemas de entendimiento por medio de las métricas que utiliza el seguimiento ocular: fijaciones, diámetro de la pupila, intervalos de tiempo, número de parpadeos, áreas de interés, *gaze plots*, etc.

Cuando las zonas no cumplen con el tiempo de vista requerido, E5Learning ofrece material extra para reforzar el conocimiento. En el caso de las emociones, al detectar cansancio se muestran consejos al observador, por ejemplo tomar un breve descanso. Vale la pena destacar que esta herramienta sólo puede detectar dos tipos de emociones: nivel de carga mental y cansancio.

En definitiva, a la fecha han sido pocas las herramientas que se han desarrollado con la intención de incluir seguimiento ocular directamente en su arquitectura (Cantoni et al., 2012), y **las existentes no están abiertamente disponibles al público**. Esto puede deberse a que hace algunos años era más costoso realizar este tipo de desarrollos, al igual que los dispositivos de rastreo ocular sofisticados. La Tabla 2 muestra un resumen de las herramientas de software analizadas.

Tabla 2 Resumen de herramientas de software con seguimiento ocular.

	IDICT	ADELE	E5Learning
Año de creación	2000	2004	2008
Propósito	Ayuda a la traducción, rastrea los movimientos del ojo del usuario para inferir cuándo y qué tipo de ayuda necesita mientras está leyendo un documento escrito en un idioma extranjero. La aplicación está diseñada para una amplia población objetivo. Por lo tanto, es crucial que el uso de la información del movimiento del ojo se implementa de una manera suave y aceptable.	Framework para la adaptación e-learning, se basa en la combinación del ojo en tiempo real con seguimiento sincrónico de contenido. No sólo garantiza la adaptabilidad a las preferencias de los usuarios, el nivel de conocimiento y el seguimiento en tiempo real de su comportamiento, sino que también garantiza la pertinencia, la exactitud y la fiabilidad de los conocimientos aportados.	Entorno de e-learning donde se utiliza seguimiento ocular para observar el comportamiento del usuario, con el fin de adaptar la presentación de contenidos en tiempo real. Para lograrlo se considera tanto las actividades de aprendizaje que se llevan a cabo y esas señales oculares que pueden estar relacionadas con "estados emocionales" del usuario.
Población objetivo	Personas que intentan aprender un lenguaje extranjero (mercado masivo)	Estudiantes, profesores	Estudiantes y creadores de contenido
Disponibles al público en general	NO	NO	NO

Además, este tipo de herramientas están construidas con la intención de auto-generar el contenido a los usuarios, según el perfil que se crea a partir de los datos recolectados por el rastreador ocular, sean estos datos de análisis o de emociones, pero **ninguna se encuentra enfocada al contenido mismo. Es decir, la facilidad de uso de este, el nivel de atención que se le otorga a todos los elementos y finalmente la aceptación del usuario por dichos recursos.**

Adicionalmente, en México y otros países, **resulta difícil imaginar aulas de clase donde todo el proceso de aprendizaje se realice a través de plataformas que funcionan con**

rastreadores oculares sofisticados, es por eso que investigadores se han dado a la tarea de analizar los datos de rastreo o *gaze data* para propósito de pruebas en ambientes específicos, este tipo de estudios pueden ser realizados con un costo considerablemente menor y con una muestra de la población objetivo.

En otras palabras, se obtienen resultados que son de utilidad para el área que está bajo estudio, por ejemplo, el comportamiento que tiene un usuario frente a una problema de matemáticas, para analizar posibles dificultades en los elementos que observa. Este tipo de pruebas se describen más detalladamente en la siguiente sección.

2.2.2. Estudios que usan seguimiento ocular en diseño educativo

Recordando los beneficios que nos brinda el seguimiento ocular, se cita el famoso proverbio "una imagen vale más que mil palabras", que significa que los seres humanos aprenden mejor con ayudas visuales. Multimedia ofrece oportunidades para crear ambientes de aprendizaje efectivos mediante la combinación de varios formatos, como texto, imágenes, animaciones, vídeos y audio.

Previas investigaciones han sugerido, por ejemplo, que los alumnos que estudian el texto expositivo con ilustraciones obtienen mejores resultados que los estudiantes que utilizan sólo texto (Ozcelik et al., 2009). Este y otros hallazgos se describen a continuación.

Seguimiento ocular enfocado al color

El trabajo realizado por Ozcelik *et al.* (Ozcelik et al., 2009) está dirigido a **demostrar de forma explícita cómo la codificación de color en el material educativo mejora el aprendizaje**. Ellos abordan la teoría del color como: 1) minimizar los procesos de búsqueda innecesarios para relacionar información verbal e ilustraciones, puede ser más fácilmente implementado en materiales en código de colores que en los materiales convencionales (a blanco y negro) y 2) la orientación atencional de los participantes se guía por los elementos de color que son sobresalientes y relevantes, y por lo tanto se invierte más tiempo en ellos.

Los autores utilizaron seguimiento ocular para investigar los efectos de la codificación por colores en el material educativo y los resultados del aprendizaje con el propósito de examinar **por qué los estudiantes obtienen mejores resultados cuando se utiliza material en formato de código de colores en contraposición a material monocromático**.

El estudio fue realizado con estudiantes universitarios. Éste demostró que los estudiantes que utilizan el material en formato de color **tienen una mayor puntuación en cuanto a**

pruebas de retención y transferencia de información, contrario los que estudian el material en el formato convencional. Siendo consistentes con la teoría del efecto de código de color, establecen que localizar la información correspondiente rápidamente, se asocia a gastar más tiempo en los términos técnicos y con esto, a mejorar el rendimiento en las pruebas de transferencia de información.

Los participantes mostraron una preferencia por el material a color, por lo que los autores argumentan que los diseñadores de contenido deberían usar el mismo color para asociar elementos como texto e ilustraciones, dirigiendo así la atención del estudiante. En la Figura 3 se muestran los formatos utilizados en la prueba.

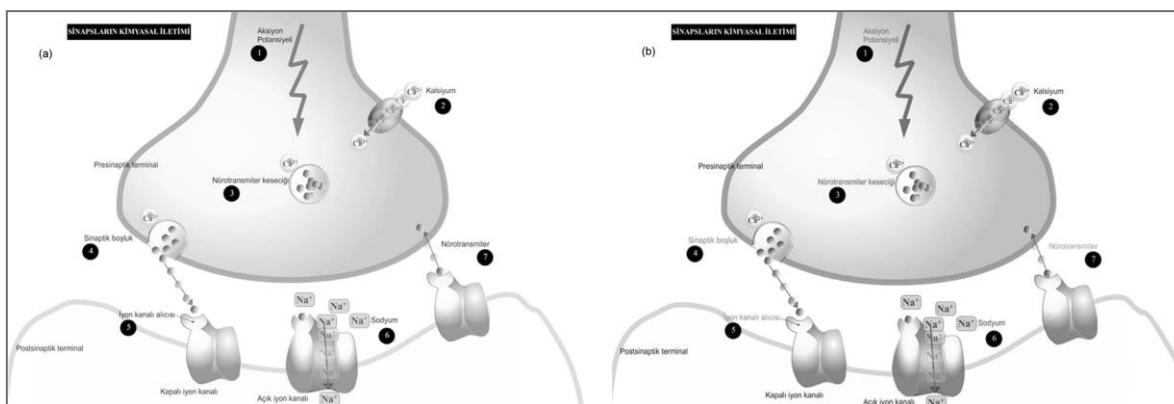


Figura 3 Estudio del color realizado por Ozcelik.

El material mostrado se enfocó en las sinapsis químicas. Los estudiantes debían relacionar los conceptos con un texto descriptivo, en (a) se muestra el formato a blanco y negro y en (b) el formato a color. (Ozcelik et al., 2009)

A pesar de que este trabajo proporciona valiosa evidencia de que el material a color resulta más efectivo que el monocromático, **no significa que todos los recursos coloridos estén articulados de la mejor forma posible, ni que las representaciones gráficas que se asocian con colores no puedan resultar confusas o complejas para el estudiante.**

Además, aunque existen guías de estilo y recomendaciones para la creación de recursos educativos, éstas son poco conocidas o abarcan aspectos generales. Mucho material encontrado en internet no sigue ninguna regla, por lo que a pesar de utilizar colores, se observa que el diseño no está hecho por un experto, pues resulta aburrido y poco intuitivo.

Otro estudio referente al color es el de Navarro *et al.* (Navarro et al., 2012), quienes analizaron diferentes configuraciones gráficas (formatos) de materiales didácticos con niños de primaria (éstos con problemas de aprendizaje y con un rendimiento escolar promedio), con el objetivo de estudiar su comportamiento visual.

La base de este análisis hace referencia a la motivación, pues según los profesores, “sin motivación no hay aprendizaje”. El formato (por ejemplo, a color) que se encuentra en los

materiales que manejan los alumnos, **puede influir en la motivación del estudiante en la realización de las actividades**, así como la atención que se otorga a las distintas secciones del material (Navarro et al., 2012).

Los alumnos del estudio se dividieron en dos grupos: los de rendimiento promedio y los que presentan problemas de aprendizaje y se les presentaron ambos formatos (el de color y el monocromático) mientras un rastreador ocular registraba información. Se esperaba encontrar diferencias significativas en cuanto a comportamiento visual, por ejemplo, que ambos grupos miraran a zonas distintas, que se observaran mayormente las imágenes que los textos, que el color afectara el grado de atención y finalmente diferencias en un cuestionario posterior. En la Figura 4 se muestra el material presentado a los niños.



Figura 4 Material utilizado en el estudio de Navarro.
En (a) se presenta el formato en blanco y negro y en (b) el formato a color. (Navarro et al., 2012)

Los resultados se obtuvieron utilizando únicamente los tiempos de fijación y *heat maps*. Los alumnos con problemas de aprendizaje dedicaron un tiempo considerablemente menor al estudio del material y de manera general, **todos los alumnos invirtieron más tiempo mirando el texto que las imágenes, y mayor tiempo en el material a blanco y negro que en el de color**. Esto pudo deberse a que el formato a blanco y negro era más complejo y requería más atención.

Se estableció que los alumnos de ambos grupos centraban la mirada en zonas distintas: los de rendimiento promedio se distraen menos y dedican mayor atención a las definiciones, realizan un seguimiento más rápido contrario a los niños con problemas de aprendizaje. En el cuestionario final, el grupo promedio obtuvo mejores resultados.

Este estudio **es de los pocos que se han centrado en trabajar con niños de primaria**, específicamente de segundo grado. Cabe resaltar que aunque es un experimento sencillo comparado a otros de seguimiento ocular, los autores infieren que no necesariamente existen diferencias en las zonas que miran ambos tipos de alumnos, pues ambos grupos tuvieron en común el hecho de mirar más tiempo el formato en blanco y negro.

Seguimiento ocular en gráficos o imágenes

Existen investigaciones limitadas que reportan cómo los estudiantes resuelven un problema de opción múltiple basado en una imagen o un gráfico, los cuales son comúnmente vistos en el área de ciencias (Tsai, Hou, Lai, Liu, & Yang, 2012).

En el trabajo propuesto por Tsai *et al.* (Tsai et al., 2012) se emplea la técnica de seguimiento ocular **para examinar la atención visual de los estudiantes cuando resuelven un problema de ciencias de opción múltiple, utilizando una representación gráfica de cuatro opciones**, donde cada opción contiene cuatro factores (dos relevantes y dos irrelevantes para el razonamiento del problema). Ellos argumentan que reconocer, seleccionar y procesar la información relevante es esencial para resolver un problema descrito.

El estudio consistió en mostrar un problema de opción múltiple basado en cuatro imágenes a estudiantes universitarios, mientras un rastreador ocular registraba información. Los resultados indicaron que dado un problema de opción múltiple basado en una imagen, **los estudiantes tienden a dedicar mayor tiempo de fijación inspeccionando las opciones elegidas que las rechazadas y en los factores relevantes que en los irrelevantes.**

Al dividir a los estudiantes en 2 grupos: los de puntuación alta y los de puntuación baja, no se encontró una diferencia significativa en la secuencia en que éstos analizan las opciones presentadas; sin embargo se identificó que los de puntuación baja observaron repetidamente el título del problema, y su tendencia se basó en dirigir la atención de los factores relevantes a los irrelevantes, contrario a los del grupo de puntuación alta, esto podría indicar dificultades en el entendimiento del problema y una clara diferencia entre la forma en que los estudiantes exitosos y los no exitosos inspeccionan los elementos de la imagen, en este caso en direcciones opuestas (Tsai et al., 2012).

Tsai *et al.* demuestran que los estudiantes que resuelven problemas exitosamente **utilizan estrategias basadas en el nivel de reconocimiento y concentración en las pistas relevantes**, en contraste con los no exitosos que no forjan estas estrategias debido a que tienen dificultades para entender el objetivo de la tarea e incluso invierten mayor tiempo de fijación en la descripción del problema. Los autores promueven el uso de este tipo de estudios para **ayudar a los diseñadores de software educativo a encontrar dificultades**

en su contenido y diseñar una adecuada guía instruccional. En la Figura 5 se observa la diferencia en el comportamiento por medio del mapa de calor.

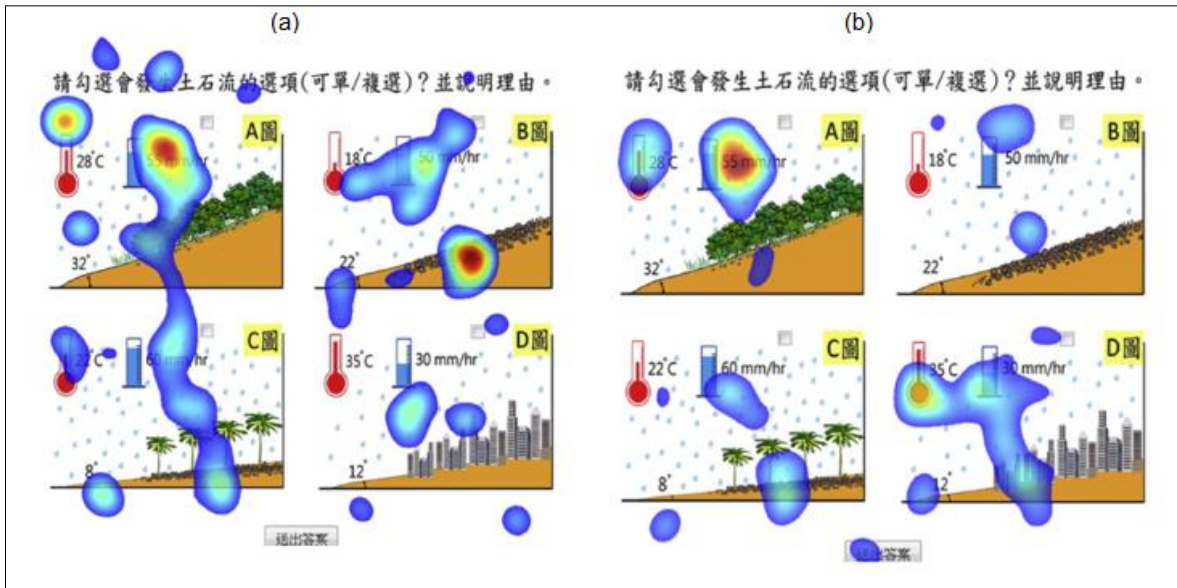


Figura 5 Gráfico utilizado en el estudio de Tsai.

Un problema con respecto a la ciencia, referente a predicciones de riesgos de deslizamiento de los desechos se utilizó para el experimento. Se muestra el mapa de calor del comportamiento de (a) uno de los estudiantes de puntuación alta, el cual dedica mayor atención en las opciones A y B, que son las correctas y (b) uno de los estudiantes de puntuación baja, el cual dedica mayor atención en las opciones A y D, la D fue la opción seleccionada, marcada como incorrecta.

Este estudio es útil para conocer que en el material educativo se encuentran elementos relevantes y no relevantes, y que el grado de atención que el usuario dedica a cada uno de ellos, indica qué tan compleja le resulta la tarea. De esta manera se podría pensar que **el diseño de dichos elementos podría ayudar a guiar la atención del estudiante a los factores relevantes, para así facilitar la formación de las estrategias requeridas para resolver el problema.**

Seguimiento ocular para comparar diferentes tipos de notaciones

Una aplicación del razonamiento anterior, se encuentra en el trabajo de Vatrappu *et al.* (Vatrappu, Reimann, Bull, Johnson, & Kingdom, 2013) donde **se estudiaron nueve diferentes tipos de representaciones de aprendizaje analítico**: 1) contadores de habilidad (representados por barras de progreso), 2) caritas (feliz, neutral, enojado), 3) semáforos (luz verde, roja, amarilla), 4) cuadros de palabras (cuadros de texto), 5) histogramas colectivos, 6) nubes de palabras, 7) descripciones textuales, 8) tablas y 9) matrices. Éstas

se presentaron a un grupo de quince estudiantes universitarios de forma estática, es decir, capturas de pantalla sin permitir al usuario la interacción dinámica.

El enfoque se dirige a encontrar las representaciones gráficas más fáciles de entender, en las que el estudiante genera la percepción de comprensión intuitiva. Esto último se refiere a que las posibilidades de tomar acción y oportunidad de construcción de significados están disponibles (es decir, perceptible) para los estudiantes en una situación dada. Para el análisis de los resultados se utilizó: 1) activación emocional (dilatación de la pupila), 2) mapas de calor y 3) áreas de interés (AOI).

Las nueve notaciones se utilizaron para representar la misma información, **detectando así que los contadores de habilidad y cuadros de palabras eran más difíciles de entender que otras como los semáforos, caritas e histogramas colectivos**. Este trabajo menciona que la representación como una aproximación a la información juega un papel crucial en el diseño en general. La naturaleza de las representaciones, sus estructuras y las interacciones es una de las preocupaciones de la ciencia cognitiva.

Filosóficamente, la función de representación es la de "re-presentar". La representación, en la filosofía del término, "es algo que representa otra cosa" (Vatrapu et al., 2013). Las representaciones empleadas en la analítica de aprendizaje, análisis de enseñanza y modelos alumno abiertos "representan" los procesos de aprendizaje y artefactos del estudiante y/o grupo de estudiantes. En la Figura 6 se presentan algunas de las representaciones utilizadas para el estudio.



Figura 6 Representaciones gráficas utilizadas por Vatrappu.

Las representaciones más complicadas: (a) medidores de habilidad y (b) Cajas con texto. Algunas representaciones sencillas: (c) caritas y (d) histogramas colectivos (Vatrappu et al., 2013).

Las representaciones más confusas registraron un tiempo de observación considerablemente mayor y los estudiantes que las vieron mencionaron que eran aburridas, además de difíciles de entender. La importancia aquí radica en que la misma información, representada de diferentes formas puede **afectar en cuestiones como el entendimiento, el aburrimiento, la poca percepción intuitiva y las preferencias personales.**

Por otra parte, en el trabajo propuesto por Dobesova *et al.* (Dobesova, Lackova, & Malcik, 2015) se estudió la percepción y la cognición (carga cognitiva o mental) en dos tipos de representaciones gráficas: diagramas de flujo y mapas conceptuales. Los diagramas de flujo son ampliamente utilizados en el área de ingeniería de la información para representar procesos de datos, mientras que los mapas conceptuales se utilizan para organizar y representar información en forma de conceptos y sus relaciones.

Este estudio argumenta que la percepción y cognición de la información gráfica es dependiente de la personalidad y las características del observador, y que estos procesos mentales pueden ser medidos y evaluados por medio de un dispositivo rastreador ocular debido a la precisión y resultados objetivos que éste proporciona.

Para evidenciar este hecho, los autores evaluaron 12 diagramas de flujo, donde cada diagrama representaba una asignación diferente. Para responder a la asignación se debía dar clic en la sección correcta del diagrama, donde podía existir más de una opción correcta. Se descubrió que el mayor tiempo de atención se encontraba en las secciones correctas y en las secciones intermedias del diagrama, lo cual era aparentemente causado por la forma en que el diagrama era leído (de izquierda a derecha).

Respecto a los mapas conceptuales, a los participantes del experimento se les pidió realizar dos tareas, las cuales representaban diferentes niveles de complejidad. En este experimento se descubrió que dos estudiantes leían el mismo mapa conceptual de manera diferente, variando los tiempos y las secciones observadas del mapa hasta cumplir con la tarea solicitada (Figura 7).

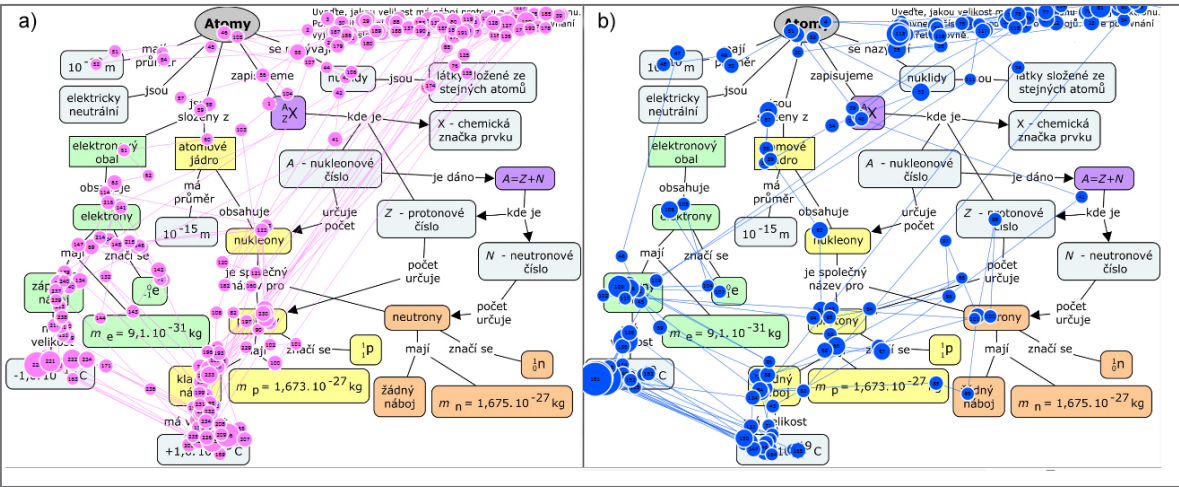


Figura 7 Gaze plot de dos participantes analizando el mismo mapa conceptual.

A) El estudiante se enfoca en las secciones correctas del mapa sin escanearlo completamente, analizando varias veces el planteamiento del problema. B) El estudiante analiza el planteamiento del problema y seguidamente escanea todo el mapa, sin regresar a la pregunta, ubicando las secciones correctas del mapa. Este último termina la tarea en un tiempo menor.

Estos trabajos demuestran la factibilidad del uso del rastreador ocular para estudiar la forma en que se atiende a diferentes representaciones gráficas que buscan transmitir información al estudiante.

2.2.3. Entropía en seguimiento ocular

Las estrategias visuales están posiblemente ligadas a las variaciones en la demanda de las tareas. Previa investigación han analizado el comportamiento visual de novatos contra expertos en una tarea determinada, encontrado notables diferencias. Se ha propuesto utilizar la aleatoriedad (entropía) de las fijaciones como medida de carga mental.

La entropía es una medida del desorden, y la naturaleza tiende a la máxima entropía para cualquier sistema aislado. La entropía se puede describir cualitativamente como una medida de dispersión de energía y se muestra en la Figura 8.

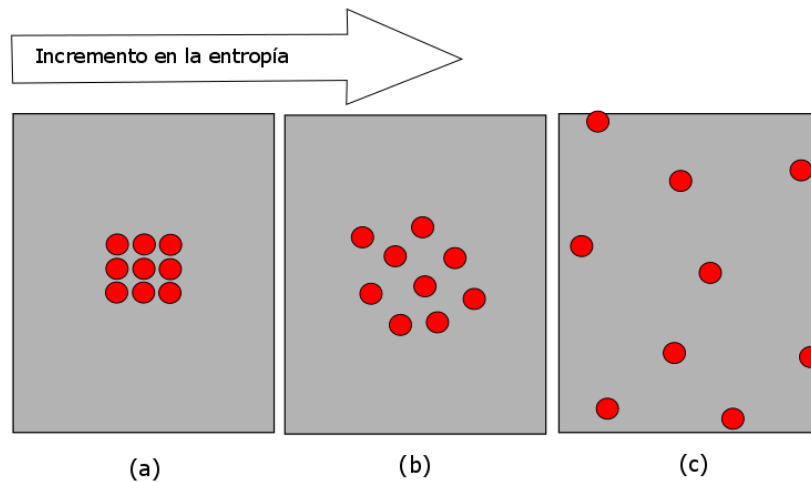


Figura 8 Entropía en función del espacio.

(1) Elementos agrupados, es decir poca entropía. (2) Elementos dispersos (más entropía). (3) Elementos totalmente dispersos (la mayor entropía).

Camilli *et al.* (Camilli, Nacchia, Terenzi, & Di Nocera, 2008) diseñaron un software para el análisis, visualización, gestión y detección de fijaciones a partir de los datos registrados por un rastreador ocular. Ellos explican que la dispersión de las fijaciones puede relacionarse con la carga mental.

Las condiciones de carga mental alta o estrés pueden generar menos entropía de fijaciones que las condiciones de carga mental baja. Esto significa que la distancia entre las fijaciones en distintas zonas de interés es reducida cuando la carga mental es alta. Esto ha sido considerado un hecho a pesar de que hay pocos artículos con resultados similares. Sin embargo, también existe el panorama opuesto, donde la mayor entropía podría asociarse a la mayor carga mental (Camilli *et al.*, 2008).

Estos autores incorporan en su software el análisis de distribución de fijaciones o entropía, que se calcula con el algoritmo de distancia al vecino más cercano (NNI, del inglés *Nearest Neighbor Index*).

NNI provee una base para la medida del espacio, este enfoque puede ser aplicado a cualquier patrón de puntos, en este caso las fijaciones. El cálculo de R (aleatoriedad) se presenta en 3 valores; $R < 1$ indica que las distancias entre los puntos son cortas, es decir, que están agrupados; $R > 1$ indica que los puntos están regularmente dispersos; $R = 1$ significa que no hay distancias diferentes entre los puntos.

Además, es posible calcular R en una región específica (AOI) o en toda la pantalla (incluso excluyendo secciones). Se permite el uso de dos tipos de área: casco convexo (CH, *convex hull*) y rectángulo más pequeño (SR, *smallest rectangle*), los cuales son procesados para el cálculo de R .

Camilli *et al.* previamente investigaron la distribución de las fijaciones como medida de la carga mental (Di Nocera, Camilli, & Terenzi, 2006). Se evaluó el comportamiento ocular de pilotos de avión experimentados por medio de un rastreador ocular, durante una simulación de vuelo que abarcaba cinco fases: despegue, ascender, durante el vuelo, descender y finalmente aterrizaje.

Los resultados mostraron que la entropía era alta en las fases de despegue y aterrizaje y baja durante las otras. Esto demuestra que la medida de distribución espacial es sensitiva a las variaciones en la carga mental, lo que provee evidencia de su utilidad, en este caso la mayor entropía en las fases complejas de un simulador de vuelo. En la Figura 9 podemos ver una escena del experimento.



Figura 9 Entropía de las fijaciones en el estudio de Camilli.
Visualización de la distribución o entropía de las fijaciones registrada durante una simulación de vuelo.

En concordancia con estos hallazgos, se encuentra el trabajo de Fabio *et al.* (Fabio *et al.*, 2012), cuyo propósito era entender si la energía dispersa del escaneo del ojo también dependía de la carga mental y de la cantidad de estímulos distractores.

Aquí, la asunción básica de los movimientos del ojo, es que la atención del observador se mantiene únicamente por ciertos elementos de una escena, y los movimientos reflejan los procesos del pensamiento. En base a esto se determina cuales elementos atraen la atención del observador y en consecuencia, su pensamiento.

Este estudio realizó dos pruebas. La primera consiste en mostrar a un grupo de estudiantes universitarios (uno a la vez) una serie de imágenes llenas de distractores, donde se esconde un objetivo: un pequeño pato amarillo, el cual debe ser encontrado. Las imágenes abarcan diferente nivel de complejidad, y esto se complica cuando el administrador del experimento le pide al sujeto de prueba que repita los números que él lee en voz alta al mismo tiempo que busca el objetivo. En la Figura 10 se observan las imágenes que se utilizaron.



Figura 10 Imágenes utilizadas para el estudio de Fabio.

En (a) se muestra la imagen de una cocina, en (b) un super mercado y en (c) un paisaje. El objetivo mostrado en (d) debe ser encontrado en todas las escenas.

La segunda prueba consiste en mostrar a un grupo de estudiantes una serie de imágenes donde se encuentra una serie de pequeños cuadrados, cuya cantidad incrementa secuencialmente. Uno de los recuadros es considerado el objetivo y el resto son distractores. La secuencia es presentada 5 veces con diferente número de distractores (5, 10, 15, 20, 25). Ver la Figura 11.

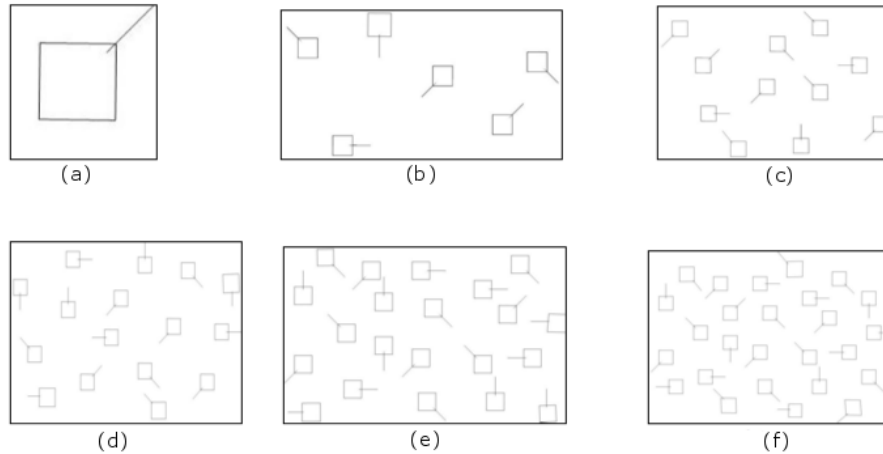


Figura 11 Secuencia de cuadrados utilizados en el estudio de Fabio.

En (a) se muestra el objetivo, en (b) el objetivo y 5 distractores, en (c) con 10 distractores, en (d) con 15 distractores, en (e) con 20 distractores y en (f) con 25 distractores.

Los resultados fueron consistentes con el trabajo de Camilli *et al.* lo que muestra cómo las imágenes más complejas registran la mayor entropía en ambas pruebas. Sin embargo, hay que considerar que los estudios de Camilli *et al.* y Fabio *et al.* tienen dinámicas diferentes.

Se consideran importantes estos hallazgos pues dan validez a la entropía como una medida del comportamiento visual; sin embargo, son pocos los trabajos que la han aplicado en el campo de la exploración visual y la problemática aquí es que **únicamente se le relaciona con carga mental**. Los estudios con entropía no abordan aspectos como el diseño estético que se mencionó anteriormente, más el concepto mismo puede ser aplicado a éste con otro tipo de enfoque, lo cual hace interesante analizarlo.

2.3. Conclusiones

Al analizar trabajos propuestos por otros investigadores, se encuentra que uno de los principales objetivos es medir el grado de atención dado a una tarea determinada, con motivo de inferir el comportamiento del individuo y actuar en función del mismo. La atención es importante en el ámbito educativo, pues es un indicador de la motivación, interés, percepción del estudiante y posibles dificultades de entendimiento.

Los materiales educativos u objetos de aprendizaje son una de las herramientas principales en el proceso de aprendizaje, **se examinó que el diseño estético puede influir tanto en la atención, la percepción y la motivación, razón por la que se considera un aspecto que debe evaluarse.**

Las herramientas de software se utilizaron en un principio para evaluar estos aspectos en tiempo real, sin embargo **no ha sido la solución definitiva** debido a que su creación e implementación son costosas y no está abiertamente disponible al público. Además, ninguna evalúa el diseño estético de los OA. Los estudios con seguimiento ocular han tenido mayor aceptación, siendo estos aportadores de información útil para el campo de la educación.

Entre los hallazgos se ha mencionado que los estudiantes con bajo rendimiento escolar no siempre actúan de forma diferente a los de alto rendimiento. Esto puede deberse a que **el comportamiento visual es aún una variable impredecible**, pues cada persona piensa, analiza y observa en base a su propio criterio. También existen factores que pueden afectar este grado de atención, como la emoción o la motivación.

Las fijaciones indican atención. Su localización indica las áreas o zonas que al estudiante le interesa ver y que por consecuencia, atraen su pensamiento. Finalmente la duración de las fijaciones puede indicar facilidad o complejidad en lo que observa. Una opción para trabajar con las fijaciones registradas por el rastreador ocular es utilizar la medida de entropía.

Una técnica que implemente estos aspectos por medio de seguimiento ocular, y que pueda utilizarse sobre el material educativo u objetos de aprendizaje para alterar o mejorar el diseño estético podría producir mejoras en los usuarios de estos recursos. Por ejemplo, mejoras en el entendimiento, la percepción, y el tiempo invertido en estudiar el material. El objetivo de esta tesis es definir esta técnica.

Evidentemente, **los estudios con seguimiento ocular descritos con anterioridad sugieren un costo menor.** Por esta razón este trabajo se enfoca en una técnica que pueda realizarse de forma similar, especialmente porque ninguno se enfoca en evaluar los aspectos del diseño estético en conjunto.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE OBJETOS DE APRENDIZAJE A TRAVÉS DE SEGUIMIENTO OCULAR.

En este capítulo se describe una técnica para la evaluación del diseño estético de objetos de aprendizaje. El objetivo es brindar un medio de soporte a los creadores de OA, con la cual puedan evaluar de forma directa si las opciones de diseño seleccionadas son las mejores. La comparación de varios diseños se sustenta con un análisis en tiempo real que provee datos de seguimiento ocular de un grupo de usuarios.

La técnica se divide en dos etapas: la primera (Sección 3.1) incluye la medida de entropía para evaluar un diseño propuesto utilizando una malla rectangular estática sobrepuesta en el OA, la segunda (Sección 3.2) extiende la medida de entropía para trabajar con una malla deslizante y que además usa celdas a diferentes escalas.

En ambas técnicas se considera que el OA es en realidad una secuencia definida de imágenes, las cuales constituyen en conjunto un objetivo de aprendizaje; sin embargo, para cada posición en la secuencia existen otras opciones con diseño estético diferente.

Este problema se ilustra en la Figura 12. Por ejemplo, el grupo G_1 está compuesto de tres imágenes ($G_1 = \{I_{1,1}, I_{1,2}, I_{1,3}\}$). Una de estas imágenes debe ser seleccionada para llenar la primera posición en el OA. Análogamente, una imagen del grupo G_2 ($G_2 = \{I_{2,1}, I_{2,2}, I_{2,3}\}$) debe ser seleccionada para llenar la segunda posición en el OA y así sucesivamente. El problema se define con el siguiente planteamiento:

Dado un conjunto de imágenes candidatas:

$$G_i = \{I_{i,j} \mid j = 1 \dots, N\}$$

donde todas las imágenes $I_{i,j} \in G_i$ tienen la misma información, pero diferente diseño, seleccionar la imagen $\hat{I}_i \in G_i$ que optimice ciertos criterios de evaluación predefinidos.

La principal contribución de este trabajo es una métrica basada en entropía que sea útil para comparar las imágenes de un grupo. La métrica propuesta utiliza información provista por las fijaciones visuales de un pequeño grupo de sujetos. De esta forma no se requiere la intervención de un experto y la información es más precisa debido a que se origina directamente de los estudiantes.

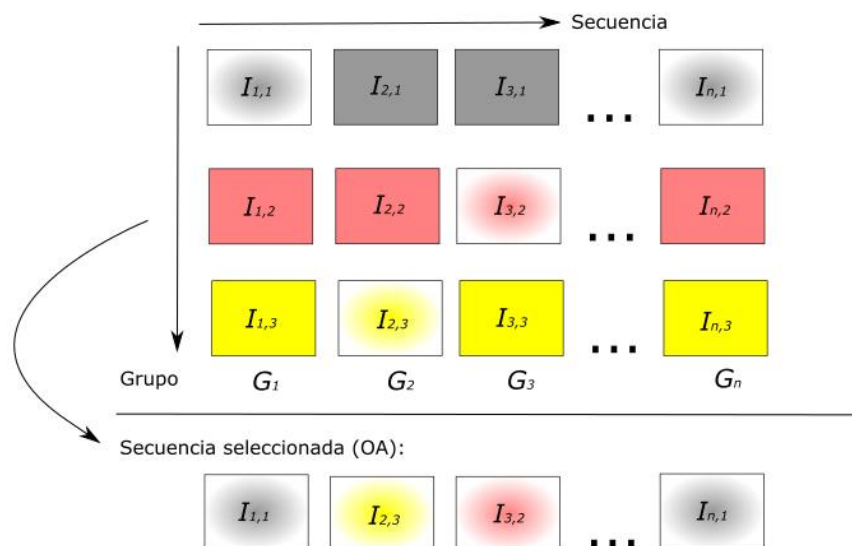


Figura 12 Selección del mejor diseño.

Para cada grupo G_1 el diseñador debe seleccionar la mejor imagen para llenar la i -ésima posición del OA. En este ejemplo, la imagen $I_{1,1}$ fue seleccionada de $\{I_{1,1}, I_{1,2}, I_{1,3}\}$ para llenar la posición 1 del OA, la imagen $I_{2,3}$ para llenar la posición 2, etc.

3.1. Técnica de malla estática para evaluación de objetos de aprendizaje

Los OA son variados entre sí, con diferentes elementos multimedia como imágenes, gráficos, texto, etc. El propósito de estos elementos en conjunto es transmitir la idea de un tópico, concepto o aprendizaje al usuario que esté haciendo uso de este recurso.

Con respecto al punto de vista de un diseñador de contenido educativo, es natural pensar que los elementos gráficos deben estar en armonía, adecuados para el tipo de público que los va a visualizar y donde se hace uso correcto del espacio, colores, tipo de letra e imágenes que acompañan al tema. También, es posible que exista más de una propuesta de diseño que cumpla con estas características.

El objetivo de la técnica de malla estática es mostrar un panorama de cómo los usuarios atienden a la presentación de un OA, lo que hace posible identificar el grado de atención otorgado a los elementos gráficos cuando éstos se presentan con diferente estética.

Una vez revisados los estudios de color, estructura, atención y otros factores que componen un OA, se puede suponer que:

1. Si un elemento del objeto de aprendizaje no es atractivo, entonces el tiempo que el estudiante observa ese elemento será sustancialmente menor en comparación de otros elementos del mismo OA.

2. Si un elemento es muy complejo, entonces el estudiante dedicará un tiempo considerablemente superior para analizar dicho elemento.

De tal manera, se puede inferir que los mejores OA tienen elementos gráficos que deben ser observados en tiempos razonables. Esto implicaría que **los elementos que integran un OA: son lo suficientemente atractivos, contienen información relevante y son simples.**

Para identificar estos factores en un diseño, la medida de entropía mencionada previamente puede ser útil. A continuación se explica cómo se puede aplicar este concepto al planteamiento anterior, así como el proceso a seguir para poder realizar una selección de los mejores diseños estéticos en un OA.

Como se mencionó previamente, la entropía es una medida del desorden, y la naturaleza tiende a la máxima entropía para cualquier sistema aislado. La entropía se puede describir cualitativamente como una medida de dispersión de energía. La entropía de la información se define como:

$$H = - \sum_i p_i \log p_i \quad (1)$$

Donde p_i es la probabilidad de ocurrencia del i -ésimo símbolo de un alfabeto o conjunto de elementos.

Para evaluar la entropía de cada imagen con (1), cada imagen se divide en celdas con una malla rectangular como se ilustra en la Figura 13. De tal manera, que cada celda A_i se puede considerar un símbolo de la imagen. Esta representación se ajusta a una diversidad de elementos y estructuras que puede contener la imagen (por ejemplo texto o figuras).

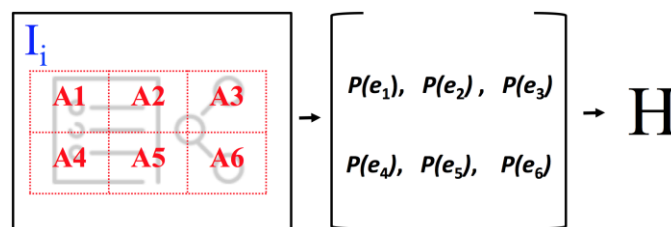


Figura 13 División de la imagen con la malla estática para calcular entropía.

El área de interés de una imagen I_i se divide con una malla rectangular; en el ejemplo, se usan seis celdas A_1, \dots, A_6 . A partir de la información de seguimiento ocular se calcula la probabilidad $p(e_i)$ de que se observe la celda A_i . Finalmente, la entropía H es útil para comparar los posibles diseños de un OA.

De este modo, sea A_i la i -ésima celda de una imagen, se puede definir la probabilidad de observación del elemento e_i como:

$$p_i = p(e_i) = \frac{t_i}{\sum_i t_i} \quad (2)$$

Donde t_i , es el tiempo de fijación promedio que se observó el elemento A_i , calculado a partir de una secuencia de lecturas de seguimiento del ojo (obtenida de diferentes usuarios por medio del rastreador ocular). Una propiedad interesante de la entropía es que ésta es máxima en el caso de que:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_s = \frac{1}{s} \quad (3)$$

En la imagen seleccionada, la entropía será máxima cuando los usuarios dediquen el mismo tiempo promedio de observación a cada celda y por ende, a los elementos del OA. Por el contrario, la entropía se reducirá cuando existan celdas sin observar o celdas en las que se ha invertido mucho tiempo de observación.

Finalmente, siendo $\mathbf{I} = \{I_k \mid k = 1, \dots, n\}$, un conjunto de n imágenes que se desean comparar, y $\mathbf{O}_k = \{O_{k1}, O_{k2}, \dots, O_{km}\}$ los datos del seguimiento ocular obtenidos por m estudiantes al observar las imágenes \mathbf{I} , donde O_{kj} es el rastreo ocular obtenido por el estudiante j al observar la imagen I_k . El procedimiento para evaluar el diseño estético consiste en:

1. Para cada $I_k \in \mathbf{I}$
 - 1.1. Dividir la imagen I_k en celdas del mismo tamaño con una malla rectangular.
 - 1.2. Estimar el tiempo de observación promedio t_i de cada celda A_i usando $\mathbf{O}_k = \{O_{k1}, O_{k2}, \dots, O_{km}\}$,
 - 1.3. Calcular $p(e_i)$ asociado con la celda A_i con (1)
 - 1.4. Calcular H para la imagen I_k
2. Seleccionar la imagen I_k con el valor más alto de entropía.

Este simple proceso permite obtener la entropía de cada una de las imágenes que componen un OA, ofreciendo una perspectiva de la atención de los usuarios en los diferentes elementos gráficos de la imagen, lo que permite identificar los más atractivos y los menos observados. Un ejemplo de la aplicación de esta técnica se presenta y discute en el capítulo 4, demostrando su utilidad.

3.2. Técnica de malla dinámica para evaluación de objetos de aprendizaje.

La técnica descrita en la sección anterior permite hacer una selección del mejor diseño basándose en la medida básica de entropía del tiempo de observación. Sin embargo, existen algunas variantes difíciles de controlar en los OA. Por ejemplo, una imagen contiene diversos objetos como texto o gráficos. Estos objetos tienen una posición definida en las coordenadas de la imagen, así como un tamaño específico.

Estas variaciones pueden hacer que la medida de entropía sea poco precisa en los casos donde la malla rectangular no se ajusta idealmente a los objetos que contiene una imagen. Para afrontar este problema, la primera técnica es tomada como base para extender la métrica de entropía e incluir diferentes escalas y movimientos.

Como se explicó anteriormente, para obtener la métrica basada en entropía, se sobrepone una malla rectangular sobre el área de interés en una imagen. Sin embargo, debido a que el tamaño de los objetos y las relaciones espaciales entre ellos es desconocida se implementaron dos estrategias: el escalamiento de las celdas y la movilidad de la malla.

Dado esto, el razonamiento correcto sería obtener no sólo el valor de entropía por imagen, sino la entropía de los elementos. Es decir, que la entropía de la imagen sea cercana a la entropía de los elementos, donde las celdas abarcan desde los elementos grandes hasta los más pequeños en toda la imagen. A continuación se abordan ambas estrategias.

3.2.1. Escalas

El concepto de octava fue implementado con el propósito de obtener una métrica robusta que es invariante a los cambios del tamaño de los objetos. De esta forma, dada la malla original de $n \times m$ celdas, cada octava es obtenida multiplicando el tamaño original de la malla por $k = 2^{s-1}$. Esto es, el tamaño de la malla G_s para la s -ésima octava es:

$$\begin{aligned} G_s &= m_s \times n_s \\ &= 2^{s-1}m \times 2^{s-1}n \end{aligned} \quad (4)$$

Por ejemplo, dada una malla de $G_1 = 2 \times 3$, mostrada en la Figura 14a, la malla para la octava 2 sería $G_2 = 4 \times 6$ (ver Figura 14b) y la malla para la octava 3 sería $G_3 = 8 \times 12$ (ver Figura 14c).

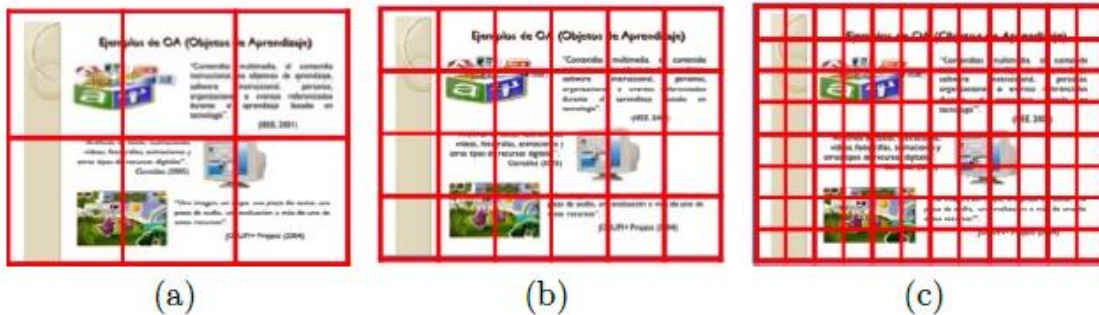


Figura 14 Ilustración de la estrategia de escalamiento de las celdas.

En (a) se muestra la malla con tamaño original $G_1 = 2 \times 3$ (b) segunda octava $G_2 = 4 \times 6$ y (c) tercera octava $G_3 = 8 \times 12$.

Así mismo, el tamaño de celda para una imagen de $x \times y$ pixeles en una malla de m_s filas y n_s columnas es:

$$S_x = x/n_s \quad (5)$$

$$S_y = y/m_s \quad (6)$$

Se recomienda un tamaño original $G_1 = 2 \times 3$ (2 en vertical y 3 en horizontal) debido a su simplicidad y forma aproximada a las proporciones del monitor. Además, con tamaño de celdas original demasiado grandes no se obtendría un buen resultado; con celdas muy pequeñas no se tendría precisión en las fijaciones. Este escalamiento permite definir un tamaño inicial y éste se reduce al mínimo valor aceptable ($S_x = 50$ y $S_y = 50$).

3.2.2. Deslizamiento de la malla

Este concepto es utilizado debido a que la posición de los objetos es desconocida. La malla es movida sucesivamente en ambas direcciones (horizontal y vertical), usando incrementos de:

$$\Delta_x = S_x/p \quad (7)$$

$$\Delta_y = S_y/p \quad (8)$$

Donde p es el número predefinido de saltos. Como se muestra en la Figura 15, cada pixel en el área de interés siempre es abarcado por una sola celda. De aquí en adelante, G_s^{hv} denota una malla de tamaño $G_s = m_s \times n_s$ movida h y v pasos en dirección horizontal y vertical respectivamente.



Figura 15 Ilustración del desplazamiento de la malla.

En (a) se muestra la malla en la posición original, (b) malla desplazada horizontalmente y (c) malla desplazada verticalmente.

El objetivo del movimiento es reducir el error en el caso donde algún elemento de la imagen queda dividido entre 1 o más celdas. Esto aumenta la posibilidad de todos los elementos para encajarse perfectamente en una celda en algún punto del tiempo.

3.2.3. Definición de la métrica mejorada

Por consiguiente, dado el tiempo de observación sobre una imagen, utilizando un dispositivo rastreador ocular y una malla G_s^{hv} , la entropía es calculada como:

$$H(G_s^{hv}) = - \sum_{i=0}^{m_s} \sum_{j=0}^{n_s} p(A_{ij}) \log p(A_{ij}) \quad (9)$$

Donde A_{ij} es la celda de la malla ubicada en la fila i y columna j , y $p(A_{ij})$ es:

$$p(A_{ij}) = \frac{t_{ij}}{\sum_i \sum_j t_{ij}} \quad (10)$$

Aquí, t_{ij} es el tiempo total que la celda A_{ij} fue observada por el estudiante. Finalmente, la métrica propuesta es:

$$H_{eye} = \frac{1}{p^2} \sum_{h=0}^{p-1} \sum_{v=0}^{p-1} \frac{H(G_s^{hv})}{H'_s} \quad (11)$$

Donde $H'_s = -\log \frac{1}{n_s m_s}$ es la entropía máxima para una malla de tamaño $n_s \times m_s$.

Este procedimiento permite obtener la entropía calculada del tiempo de observación de cada una de las imágenes que componen un OA, de manera que se abarquen diferentes posiciones y tamaños de celdas respectivamente. Un ejemplo de la aplicación de esta técnica se presenta y discute en el capítulo 4, demostrando su utilidad.

3.3. Procedimiento general

Para la aplicación de la técnica 3.1 y 3.2, el OA debe ser adaptado a una secuencia de imágenes con la cual se pueda crear una presentación de diapositivas o *slides* que será observada por un grupo de estudiantes. La longitud de la secuencia depende del contenido del OA (puede ser de 1 hasta n imágenes) tal y como se muestra en la Figura 16.

Objeto de Aprendizaje 1 (OA1)

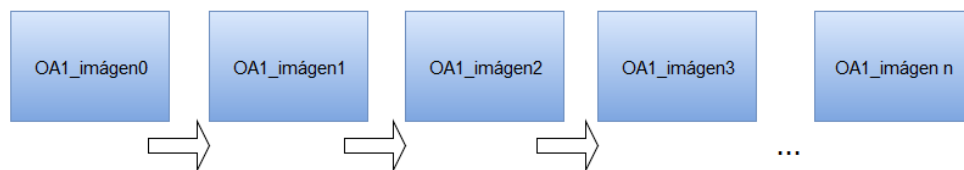


Figura 16 Secuencia de imágenes establecida para un objeto de aprendizaje.

Didácticamente, la secuencia de imágenes debe conservar la misma información y objetivos de aprendizaje que involucre el OA. Debido a que el objetivo es contrastar dos o más diseños del mismo OA, se genera la misma secuencia para las diferentes opciones a evaluar, como muestra la Figura 17. Los diferentes diseños se mostrarán a una muestra determinada de sujetos para la recolección de datos.

Objeto de Aprendizaje 1 (OA1)



Figura 17 Diferentes opciones de diseño para un objeto de aprendizaje. Éstos adaptados a una secuencia de imágenes, formando 3 conjuntos diferentes.

Durante la prueba, los participantes únicamente podrán percibir la información mostrada en el diseño que se les asignó, sin haber visto previamente la información que contiene ese y las otras opciones en que se presenta el OA. Este razonamiento se basa en que la atención de usuario debe ser verídica, sin ser afectada por el previo conocimiento de la información que va a observar.

Para mostrar la secuencia de imágenes a los sujetos de prueba, es necesario incorporar una herramienta de software que funcione con el rastreador ocular. En este trabajo se propone la utilización de OGAMA (Voßkühler, 2009). Este software, además de ser gratuito, incluye diferentes funcionalidades que se adaptan al procedimiento de la técnica propuesta.

Así mismo, El rastreador ocular propuesto en este trabajo es *The eye tribe*, seleccionado debido al bajo costo y compatibilidad con la herramienta.

OGAMA permite la creación de un experimento que utiliza las secuencias de imágenes del OA de forma sencilla. Permite gestionar, configurar, así como mostrar las imágenes a los sujetos de prueba con facilidad y se adapta a una diversidad de rastreadores oculares.

3.4. Desarrollo tecnológico

Para el prototipo de esta técnica se programó el procedimiento descrito en las secciones 3.1 y 3.2. El Mismo procedimiento se utilizó para las pruebas presentadas en el capítulo 4. Se seleccionó el lenguaje de programación Python versión 2.7 por la familiaridad que se tenía con el lenguaje.

El procedimiento que sigue el código fuente se explica en el siguiente diagrama de flujo:

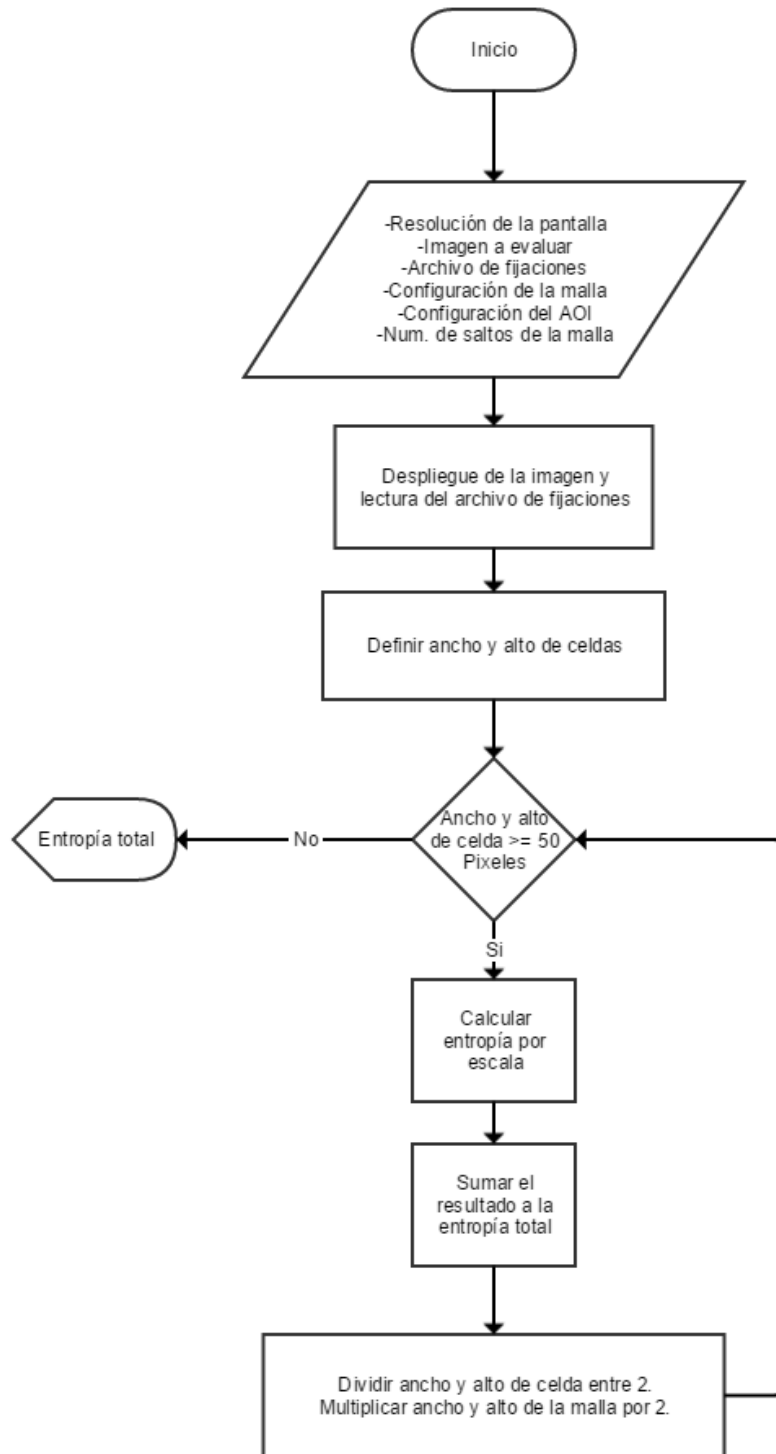


Figura 18 Diagrama de flujo que ilustra el proceso del código en Python.

Un ejemplo de la salida del proceso efectuado por el código se muestra en la Figura 19.

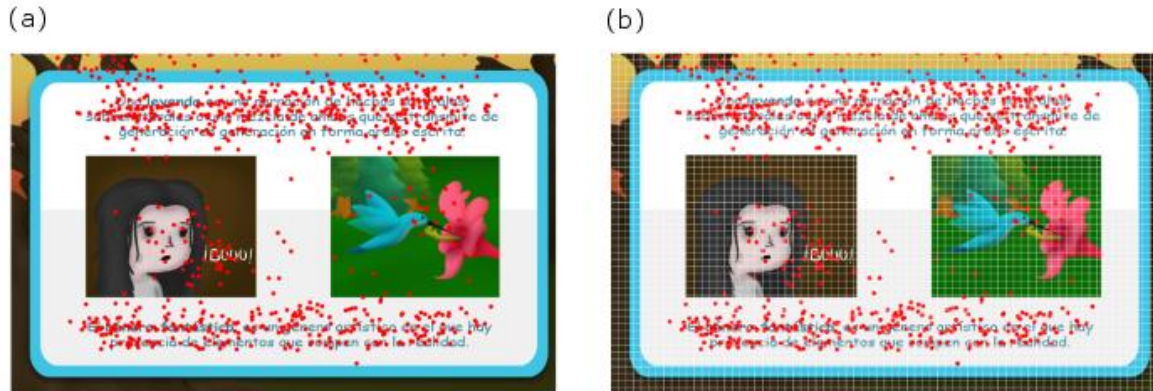


Figura 19 Proceso que sigue el código realizado.

En (a) se muestran las fijaciones registradas por OGAMA sobrepuestas en la imagen evaluada. En (b) se muestra una ilustración del tamaño mínimo de las celdas de la malla.

El código fuente, se muestra en el apéndice A.

3.5. Resumen de la propuesta

La técnica tiene por objetivo evaluar el diseño estético de OA, los datos de fijaciones registrados por un rastreador ocular se consideran útiles para este fin. Esta técnica se divide en dos: una que funciona con una malla estática y una con una malla dinámica. Ambas consideran que el OA es representado por una secuencia de imágenes.

La técnica de malla estática sobrepone la malla con configuración y tamaño de celdas definidas, la medida básica de entropía de la observación es utilizada para medir el grado de atención dedicado al OA. La técnica de malla dinámica sobrepone la malla con configuración y tamaño de celdas variable por medio de diferentes escalas y se desplaza por el OA para abarcar distintas perspectivas. El grado de atención dedicado al OA es calculado por medio de la métrica extendida de entropía de la observación.

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se describen dos estudios realizados para comprobar la validez de la técnica propuesta en sus dos versiones –malla estática y malla dinámica—, la cual fue aplicada en OA proporcionados por una entidad externa.

En el experimento A (Sección 4.1), se realiza una comparación de los resultados obtenidos con los indicadores de instrumentos utilizados por expertos, donde las imágenes que registran mayor entropía son relacionadas con la mejor estética.

En el experimento B (Sección 4.2), se aplica la técnica mejorada (propuesta en la sección 3.2) para encontrar diferencias en el rendimiento escolar y el tiempo de análisis. Los resultados muestran que a pesar de que el rendimiento es el mismo, las imágenes con mayor entropía también registran un menor tiempo de consumo. Esto podría indicar una mejora en la fluidez y percepción del OA.

4.1. Evaluación con malla estática

El objetivo de este estudio es valorar si la medida básica de entropía basada en los datos de seguimiento ocular descrita en la primera técnica (sección 3.1), es útil como mecanismo para seleccionar el mejor diseño entre OA que poseen estructura y objetivos similares.

4.1.1. Materiales y métodos

Para la prueba, se utilizó un dispositivo rastreador ocular tipo *Eye Tribe* modelo ET1000 con una frecuencia de muestreo de 60Hz en una pantalla con una resolución de 1440 × 920 píxeles. El dispositivo se calibró con la herramienta OGAMA (Voßkühler, 2009) (usando 12 puntos de calibración). Esta herramienta también se usó para generar una secuencia de aprendizaje (las instrucciones para el estudiante y las secuencias de imágenes a evaluar).

Dos OA fueron utilizados: el OA₁ aborda el tema de *bullying*, mientras que el OA₂ aborda el tema de anuncios publicitarios. Ambos fueron presentados como una secuencia de imágenes.

Para el cálculo de la entropía, se obtuvieron recortes de las áreas de interés debido a que el fondo o *background* era el mismo. Con ello también se evitan sesgos en los resultados (por contener redundancia entre imágenes de la secuencia):

- El área de interés para el OA₁ incluye la sección de “planteamiento del problema” que contiene una descripción textual de una situación que puede ser catalogada o no como *bullying*. Esta descripción tiene una ilustración como apoyo al texto.
- El área de interés para el OA₂ incluye la sección del “anuncio publicitario” que debe ser analizado por el estudiante para responder una pregunta de opción múltiple referente al tipo de mensaje que se busca transmitir.

4.1.2. Participantes

En este experimento se gestionó un permiso para trabajar con 15 estudiantes Mexicanos de primaria de quinto y sexto grado, siete niños y ocho niñas.

4.1.3. Procedimiento

El experimento consistió en mostrar los OA a los participantes y obtener datos con un dispositivo rastreador ocular con una distancia aproximada de 50cm del rostro. Los OA se mostraron a los participantes en sesiones separadas de 30 minutos cada una, hasta que cada participante completó la totalidad de los dos OA. Cada OA contenía una secuencia de imágenes (10 imágenes $\{I_1^1, \dots, I_{10}^1\}$ para el OA₁, y cuatro imágenes $\{I_1^2, \dots, I_4^2\}$ para el OA₂).

4.1.4. Métricas

Tiempo total de fijación. Es la sumatoria del tiempo registrado en todas las celdas de la malla superpuesta. Se mide por imagen y es presentado en milisegundos.

Tiempo promedio de fijación. Éste es calculado por imagen para cada celda de la malla superpuesta, dividiéndolo entre el tiempo total de fijación. Es presentado en milisegundos.

Entropía. Calculada por imagen con la fórmula (1).

4.1.5. Resultados y discusión

Después de analizar los resultados obtenidos de las fijaciones, se observó que dos estudiantes presentaban datos nulos, posiblemente por un error en la calibración del sistema de seguimiento ocular, por lo que los datos asociados a estos estudiantes se descartaron del estudio.

Para obtener una división de celdas más conveniente, se probaron dos configuraciones de mallas (de seis y 24 celdas, respectivamente). El resultado de entropía fue similar, por lo que se consideró que ambas opciones eran factibles y por simplicidad se seleccionó la representación de seis celdas.

La Tabla 3 y Tabla 4 muestran los valores de entropía para cada imagen estudiada usando seis celdas por imagen. La Tabla 3 muestra los resultados para OA₁ (*bullying*). Como se puede observar, para esta secuencia de imágenes, la que registra un mayor valor de entropía ($H = 0.5976$) fue la imagen I_4^1 .

Tabla 3 Resultados de entropía obtenidos para OA1 (*bullying*).
Se analizaron las mediciones de 13 participantes.

Imagen	$p(e_1)$	$p(e_2)$	$p(e_3)$	$p(e_4)$	$p(e_5)$	$p(e_6)$	H
I_1^1	0.029	0.442	0.303	0.029	0.132	0.069	0.5955
I_2^1	0.007	0.372	0.310	0.008	0.157	0.151	0.5968
I_3^1	0.012	0.400	0.307	0.003	0.168	0.110	0.5818
I_4^1	0.003	0.363	0.236	0.003	0.239	0.156	0.5976
I_5^1	0.002	0.402	0.360	0.003	0.131	0.102	0.5494
I_6^1	0.015	0.360	0.341	0.001	0.147	0.136	0.5900
I_7^1	0.002	0.285	0.383	0.002	0.122	0.207	0.5778
I_8^1	0.017	0.398	0.334	0.000	0.145	0.106	0.5731
I_9^1	0.007	0.385	0.345	0.001	0.159	0.103	0.5663
I_{10}^1	0.027	0.448	0.254	0.003	0.176	0.093	0.5856

Por otra parte, la Tabla 4 muestra los resultados para el OA₂ (anuncios publicitarios). En este caso, la imagen que registró mayor entropía ($H = 1.0870$) es I_2^2 .

Tabla 4 Resultados de entropía obtenidos para OA2 (anuncios publicitarios).
Se analizaron las mediciones de 13 participantes.

Imagen	$p(e_1)$	$p(e_2)$	$p(e_3)$	$p(e_4)$	$p(e_5)$	$p(e_6)$	H
I_1^2	0.194	0.539	0.186	0.007	0.074	0.000	0.9685
I_2^2	0.131	0.055	0.053	0.427	0.215	0.118	1.0870
I_3^2	0.097	0.489	0.284	0.010	0.058	0.062	0.9398
I_4^2	0.036	0.348	0.375	0.014	0.059	0.168	1.0322

Respecto a los diseños seleccionados y al estilo que siguen, para el OA₁ (*bullying*) se pueden hacer las siguientes observaciones de la imagen con mayor entropía (I_4^1):

- El gráfico de apoyo (la mochila) atrae más la atención del observador que los gráficos de las demás imágenes.
- El texto de esta imagen se encuentra mejor distribuido en el espacio asignado, al contrario que el texto mostrado por las otras imágenes (que está agrupado en un solo párrafo).

Para el OA₂ (anuncios publicitarios), se pueden hacer las siguientes observaciones de la imagen con mayor entropía (I_2^2):

- Existe una distribución más uniforme de los elementos en torno al espacio que se tenía para presentar el anuncio.
- La cantidad de color que se tiene no es excesiva.

Como se mencionó anteriormente, los instrumentos de los expertos son de suma importancia para la evaluación de OA, dichos instrumentos sólo ofrecen retroalimentación post-prueba. El análisis de los datos de seguimiento ocular puede reducir esta brecha del tiempo y mejorar la evaluación de la percepción de un OA. Por esta razón, se discute cómo la entropía –la aportación de la información– registrada en tiempo real puede asociarse a decisiones de diseño similares a los expertos.

En la Tabla 5 se discuten los instrumentos de LORI (Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, 2003) y aspectos e indicadores para evaluar la calidad de los objetos de aprendizaje contenidos (Ril Gil & Toll Palma, 2013). En las columnas de la tabla se presenta: el instrumento de evaluación de un OA, el aspecto de evaluación del experto –puede ser positivo o negativo para el OA–, la aclaración del razonamiento lógico del aspecto y la discusión del como la entropía puede usarse para cumplir dicho aspecto.

Tabla 5 Discusión sobre entropía y aspectos de evaluación de OA.

<i>Instrumento</i>	<i>Aspectos de evaluación del OA</i>	<i>Razonamiento</i>	<i>Discusión de la entropía</i>
LORI (Otamendi et al., 2010)	Cierta información que es necesaria para la comprensión del objeto de aprendizaje es ilegible. ^b	Es posible que no toda la información clave sea fácil de identificar o no sobresale lo suficiente.	La entropía será alta si todos los objetos de importancia divididos en la malla registran tiempos de fijación similares.
LORI	La selección de colores o imágenes interfieren con los objetivos de aprendizaje. ^b	Los colores y/o imágenes son demasiado llamativos o aburridos, las imágenes pueden resultar confusas. Estos factores podrían distraer al estudiante del contenido relevante.	Con la entropía se puede conocer si los elementos coloridos o las imágenes seleccionadas están o no atrayendo la atención del estudiante. Un ejemplo, en donde el color no aporta información al tema se puede observar en el anexo B, figura 13, los edificios coloridos no atraen la atención del observador para enviar el mensaje de concepto de ciudad.
LORI	El diseño de la información provoca un sobreesfuerzo innecesario para el procesamiento de la misma. ^b	Ciertas secciones del contenido pueden resultar confusas, razón por la que el estudiante tendrá que mirar por un mayor tiempo para comprender.	El sobreesfuerzo en una sección se reflejará en el aumento del tiempo de fijación en dicha área, lo que reducirá el valor de la entropía.
LORI	No hay suficientes encabezados o no son significativos para el alumno/a. ^b	Es posible que el estudiante no preste atención a los títulos o encabezados. Éstos aportan información sobre el contenido que se está observando.	Los elementos que no son significativos para el alumno, en este caso un título o subtítulo registrarán poco o nulo tiempo de fijación, lo cual reducirá el valor de la entropía.
Aspectos e indicadores para evaluar la calidad de los objetos de aprendizaje (Ril Gil & Toll Palma, 2013)	El uso de colores para los contenidos. ^a	El uso de los colores adecuados en correspondencia con la temática, la formalidad del contenido y el destinatario de los OA.	Se puede hacer un estudio comparativo de la entropía entre dos o más diseños propuestos para un OA dirigido a un segmento destinatario. La atención de los observadores podría guiar a los expertos en la selección de colores.
Aspectos e indicadores para evaluar la calidad de los objetos de aprendizaje	Proporción del texto respecto a la distribución de los contenidos ^a Evaluación del nivel de organización de imágenes y texto. ^a	Se refiere a la organización y distribución del texto e imágenes con respecto al área de visualización de los OA.	Es posible evaluar la aportación de la información de la distribución de elementos – texto e imágenes–. Al tener varios diseños con diferente distribución de los mismos elementos se puede calcular la entropía y seleccionar el diseño que mayor aporta información al grupo de usuarios.

^a. Aspecto de evaluación positivo; ^b Aspecto de evaluación negativo

En conclusión el obtener la entropía de imágenes con datos del tiempo de las fijaciones de usuarios puede contribuir a:

- Conocer la atención de los objetos de importancia.
- La aportación de la información en base a la configuración del color.
- Conocer el sobreesfuerzo innecesario del usuario en la información.
- Evaluar la contribución de la información en base a la distribución de elementos como el texto e imágenes.

Este primer experimento permitió contrastar herramientas de expertos con la medida básica de entropía. Sin embargo, no se fue posible aplicarla en el área completa (AOI) debido al diseño predefinido de los OA. Similarmente, no fue posible realizar un análisis utilizando la velocidad de observación, pues los niños utilizados fueron seleccionados con diferentes promedios y existiría discrepancia en los resultados. Para obtener estos indicadores, se realizó el experimento descrito en la siguiente sección.

4.2. Evaluación con malla dinámica

Una vez aplicada la primera técnica y comprobado que la medida básica de entropía es sensitiva a los cambios en el diseño estético del OA, el objetivo de esta investigación es evaluar si la métrica propuesta en la segunda técnica (H_{eye}) es útil como mecanismo para seleccionar el mejor diseño de OA. Así mismo, se pretende analizar el tiempo de respuesta y rendimiento escolar de los estudiantes.

4.2.1. Materiales y métodos

Para esta prueba se utilizó un dispositivo rastreador ocular tipo *Eye Tribe* modelo ET1000 con una frecuencia de muestreo de 60Hz en una pantalla con una resolución de 1440×920 pixeles. El dispositivo se calibró con la herramienta OGAMA (Voßkühler, 2009) (usando 12 puntos de calibración). Esta herramienta también se usó para generar una secuencia de aprendizaje (las instrucciones para el estudiante y las secuencias de imágenes a evaluar).

Para el cálculo de H_{eye} , la imagen completa fue tomada como área de interés y una malla de 2×3 celdas fue utilizada como configuración inicial.

4.2.2. Participantes

Treinta y dos estudiantes de quinto grado de la escuela primaria “Pedro Coronel” ubicada en Zacatecas, México participaron en este estudio. Nueve de los participantes en la fase de diseño de OA y los otros 23 en la fase de pruebas.

Particularmente, los niños fueron seleccionados con la condición de que su promedio fuera similar, para tener una muestra homogénea.

4.2.3. Objetos de aprendizaje

Dos conjuntos de imágenes fueron utilizadas en este estudio: “Leyendas” y “Teatro”. En la fase de diseño, se generaron dos OA para cada conjunto:

OA seleccionados con *H_{eye}*. Dos objetos de aprendizaje (uno para “leyendas” y otro para “teatro”) fueron generados siguiendo la estrategia ilustrada en la Figura 12. Y utilizando la métrica propuesta descrita en (11). La imagen en cada posición fue seleccionada de un conjunto de tres imágenes equivalentes. Para este propósito, cada secuencia fue compuesta por datos de seguimiento ocular generados por nueve estudiantes (cada uno observando una de las tres posibles imágenes). Este proceso y algunas imágenes son mostrados en la Figura 20.

OA seleccionados aleatoriamente. Dos objetos de aprendizaje (uno para “leyendas” y otro para “teatro”) fueron seleccionados aleatoriamente.

Cada objeto de aprendizaje utilizado en el experimento es una secuencia de 6 imágenes; en cada caso se conservó el orden predefinido del contenido instruccional. Al final de cada OA se incluyó un cuestionario de cinco preguntas para valorar el logro del estudiante.

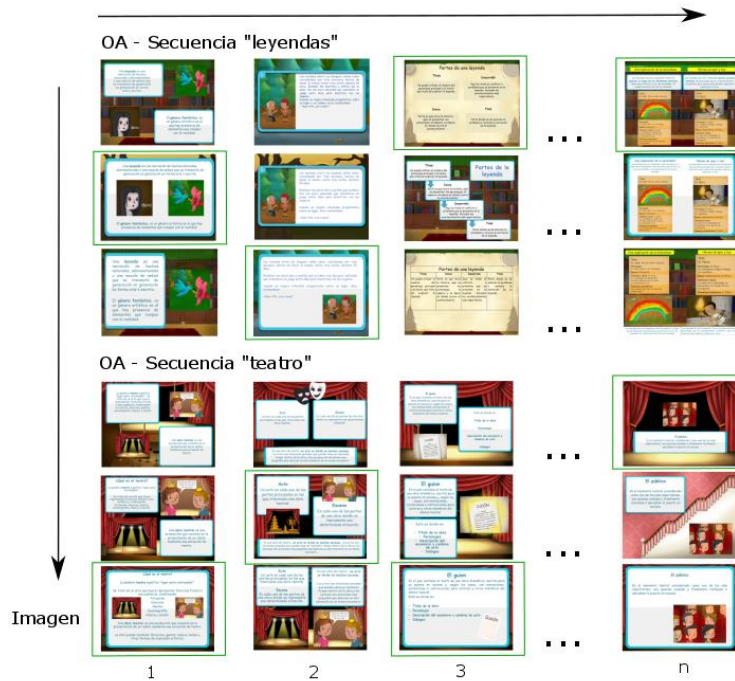


Figura 20 Composición de OA seleccionados en fase de diseño. Nueve niños evaluaron grupos de 3 imágenes para obtener la que maximiza H_{eye} . El rectángulo verde muestra las imágenes seleccionadas.

4.2.4. Procedimiento

Para la primera prueba los participantes fueron asignados de la siguiente manera:

Grupo 1: once niños estudiaron el OA seleccionado con H_{eye} para el tema de “leyendas”, seguido del OA seleccionado aleatoriamente para el tema de “teatro”.

Grupo 2: doce niños estudiaron el OA seleccionado aleatoriamente para el tema de “leyendas”, seguido por el OA seleccionado con H_{eye} para el tema de “teatro”.

Cada sesión tomó aproximadamente 30 minutos por participante, hasta que cada participante completara la presentación de los dos OA y sus respectivas preguntas.

4.2.5. Métricas

Puntuación final. El logro del estudiante es medido por esta métrica, la cual se calcula del resultado del cuestionario de opción múltiple en una escala de 0 a 1.

Mediana de velocidad de observación. La velocidad de observación es el tiempo total que el estudiante observo una imagen dada. La mediana de velocidad de observación es calculada de los datos generados por el número de participantes que observaron una imagen.

4.2.6. Resultados y discusión

Fase de diseño

Durante esta fase, tres opciones de diseños de OA –catalogados como D_1 , D_2 y D_3 – fueron presentados a nueve niños, divididos en tres grupos. En la Tabla 6 se muestra la comparación de H_{eye} de las imágenes del OA “leyendas”.

Así mismo, en la Tabla 7 se muestra la comparación de H_{eye} de las imágenes del OA “teatro”. Los mejores resultados se utilizaron para construir los OA seleccionados con H_{eye} .

Fase de pruebas

Después de aplicar el experimento, se obtuvo la mediana de velocidad de lectura basada en el tiempo de observación para cada imagen. Los resultados son descritos en la Tabla 8. Estos datos fueron normalizados para poder realizar un análisis *t-student*.

Los resultados del análisis *t-student* muestran que existe una diferencia significativa en la mediana de velocidad para los OA seleccionados con H_{eye} ($0.6290 \pm 0.235 \text{ min}$) y los seleccionados aleatoriamente ($0.782 \pm 0.329 \text{ min}$); $t(11) = 4.66, p = 0.0007$. Dicho de otra forma, **la velocidad de observación es más rápida para aquellos OA compuestos por imágenes que maximizan el valor de H_{eye}** , validando con esto una parte de la **H1**: *el diseño que maximiza la entropía de seguimiento ocular permite disminuir la velocidad de análisis del OA*. Como se espera, el tiempo de observación está relacionado al número de palabras.

Un caso especial es la imagen 6 de la secuencia de “Teatro”, la cual obtuvo la menor velocidad de observación comparada con las imágenes seleccionadas aleatoriamente, sin embargo esta imagen también presenta el menor número de palabras, por lo que se especula que el tiempo de observación en esta imagen se vuelve relevante; por ejemplo, el tiempo de observación para gráficos es del mismo orden que el tiempo de lectura del texto.

No existe una diferencia significativa en la puntuación final para los OA seleccionados con H_{eye} ($0.513 \pm 0.207 \text{ puntos}$) y los OA seleccionados aleatoriamente ($0.496 \pm 0.199 \text{ puntos}$); $t(22) = 0.7843$. Esto significa que **la puntuación final no fue afectada por la estética del diseño**, con ello se valida la segunda parte de la **H1**: *sin alterar el*

rendimiento del estudiante. Se infiere que el logro del estudiante es conducido principalmente por el contenido mismo del OA. En este caso, es importante seleccionar un contenido más significativo para enfocarse en el objetivo de aprendizaje.

Tabla 6 Valores de entropía para el OA “leyendas” en fase de diseño.
Los mejores resultados se muestran en negritas.

Imagen	Nombre	$H_{eye}(D_1)$	$H_{eye}(D_2)$	$H_{eye}(D_3)$
1	Leyendas1	3.0632	3.1911	2.8930
2	Leyendas2	3.1105	2.9472	3.1052
3	Leyendas3	3.0044	3.0547	3.0558
4	Leyendas4	3.3377	2.9885	2.8393
5	Leyendas5	3.0761	3.1962	3.1189
6	Leyendas6	3.2966	3.2936	3.3212

Tabla 7 Valores de entropía para el OA “teatro” en fase de diseño.
Los mejores resultados se muestran en negritas.

Imagen	Nombre	$H_{eye}(D_1)$	$H_{eye}(D_2)$	$H_{eye}(D_3)$
1	Teatro1	2.6048	3.0590	3.2531
2	Teatro2	3.0149	3.3581	2.9435
3	Teatro3	2.8042	2.7033	3.0550
4	Teatro4	2.4748	2.7444	2.7762
5	Teatro5	3.2281	3.1902	3.1450
6	Teatro6	2.6284	2.3864	2.2284

Tabla 8 Resultados para la mediana de velocidad de observación.
Medida en palabras por minuto (ppm), los mejores resultados están marcados en negritas.

Secuencia “leyendas”						
	1	2	3	4	5	6
# de palabras	45	62	88	78	62	141
OA con H_{eye}	0.498	0.723	0.747	0.698	0.607	1.163
OA Aleatorio	0.772	0.827	0.976	0.988	0.791	1.495
Secuencia “teatro”						
	1	2	3	4	5	6
# de palabras	65	75	52	43	49	25
OA con H_{eye}	0.782	0.719	0.497	0.386	0.475	0.247
OA Aleatorio	0.988	0.822	0.552	0.438	0.533	0.212

En OA donde existen recursos gráficos con más importancia que otros, por ejemplo un cuadro sinóptico, diagrama u otro tipo de representación gráfica podría resultar notoria la diferencia en rendimiento, ya que existen factores clave que el estudiante debe identificar y entender para resolver un problema planteado. Se podrían evaluar diseños donde cambian las representaciones complejas, por ejemplo un cuadro sinóptico, un mapa conceptual o un mapa mental.

Las imágenes de OA seleccionadas con H_{eye} tienen las siguientes características cualitativas:

- Sus elementos (texto o gráficos) están **visualmente balanceados**.
- La colocación de los elementos en pantalla fortalece la **relación visual** de los mismos.
- El esquema de color es armonioso.

Estas características concuerdan con las líneas guía establecidas por autores de objetos de aprendizaje (Smith, 2004).

Con base en los hechos anteriores, se afirma que maximizar la métrica propuesta también **maximiza la fluidez** de la percepción de OA. La fluidez como experiencia subjetiva de la facilidad o dificultad asociado con los procesos mentales es parte del fenómeno obtenido por los aspectos estéticos en el diseño (Oppenheimer, 2008). Los cambios estéticos como el tipo de fuente o un fondo decorativo podrían influir en la fluidez de la percepción.

Las ventajas de la métrica propuesta son:

1. No requiere de la intervención de expertos ni de encuestas aplicadas a los estudiantes.
2. La métrica abarca diferentes elementos gráficos.

El principal inconveniente es que no es posible evaluar el contenido dinámico con el rastreador ocular utilizado, por ejemplo animaciones.

Con respecto a la métrica, es importante destacar que no se utilizó el algoritmo de distancia al vecino más cercano (NNI, del inglés *Nearest Neighbor Index*) utilizado en el trabajo de Camilli *et al.* (Camilli et al., 2008) debido a que las fijaciones no tienen la misma proporción. NNI calcula entropía en base a la distribución espacial; sin embargo, no toma en cuenta el peso de los puntos. En este caso cada una de las fijaciones tiene diferente duración de tiempo y se requeriría un proceso de agrupamiento para nivelar la duración, esto ocasionaría que ya no se utilicen las fijaciones originales. Las técnicas de malla estática y malla dinámica son útiles para calcular entropía con las fijaciones reales y su respectiva duración.

Finalmente, la hipótesis H1: el diseño que maximiza la entropía de seguimiento ocular permite disminuir la velocidad de análisis del OA sin alterar el rendimiento del estudiante,

fue validada con el experimento B por medio del análisis t-student, confirmando con esto la efectividad de la propuesta presentada en esta tesis.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones generales

En este trabajo se presenta una forma para comparar y seleccionar objetos de aprendizaje por medio de seguimiento ocular. La métrica propuesta utiliza la información provista por las fijaciones visuales, las cuales son medidas de un pequeño grupo de prueba. Los datos obtenidos directamente de los estudiantes propician un gran aporte a la evaluación, pues al final son quienes hacen uso de ellos y hacen de ésta una evaluación **directa**.

Con respecto a la sentencia del problema definida en el capítulo 1, se responden las siguientes preguntas de investigación:

- *PI1 - ¿Qué técnicas son útiles para evaluar objetos de aprendizaje por medio de instrumentos de expertos y con la metodología de seguimiento ocular?*

En los instrumentos utilizados por expertos, son útiles las **guías de estilo y estándares de diseño instruccional**, al igual que los tipos de evaluación directa que toman en consideración la **opinión del estudiante**, por ejemplo las encuestas.

Por parte de seguimiento ocular, son útiles los estudios enfocados a aspectos específicos de los OA que se basan en áreas de **interés**, tipo de **formato**, grado de **atención** y detección de **estrategias** utilizadas por el usuario.

- *PI2 - ¿Es útil una métrica basada en entropía de los datos de seguimiento ocular para comparar el diseño de OA?*

Si, pues al considerar que el OA es una secuencia de imágenes, se puede evaluar cada sección o imagen que lo constituye. Las imágenes son contrastadas con otras que tienen la **misma información y diferente diseño**, ambos diseños pueden ser ideales; sin embargo, con los datos de los estudiantes como evidencia, se puede identificar cuál de los diseños **captó la mayor atención** en cada uno de sus **elementos visuales**, lo cual hace más fácil la selección del mejor diseño por medio de la mediana de velocidad de observación.

- *PI3 - ¿Cómo están relacionados los resultados obtenidos con el uso de la métrica propuesta con las pautas propuestas por los expertos en diseño de OA?*

La métrica se calcula a partir de los datos de **fijaciones** registrados en cada una de las celdas de la malla (sea estática o dinámica). Las celdas están asociadas a los **elementos visuales** pertenecientes a la secuencia de imágenes que componen un OA. Estos elementos pueden atraer o no la atención del estudiante.

Los elementos bien diseñados, son capaces de atraer la atención del observador sin causarle confusión. La entropía de la imagen indica qué tanto observó el estudiante todos los elementos presentados en el OA, esto implica que los elementos son **atractivos, simples**, fácilmente **reconocibles** y son capaces de conducir al estudiante hacia el **cumplimiento del objetivo de aprendizaje**, lo cual indica una **buena realización del diseño estético**.

Además, en la evaluación de la malla estática (Sección 4.1) se discutió la relación con las pautas propuestas por los expertos, donde se analizan aspectos positivos y negativos en el diseño estético.

5.2 Evaluación del diseño estético de OA

El uso de la **tecnología** posibilita un aprendizaje interactivo, flexible y accesible a cualquier receptor; es motivante para los alumnos de educación básica tener acceso a los recursos multimedia, lo que vuelve relevante la **evaluación de los OA en todos los aspectos**. El diseño estético de los OA es uno de los aspectos más difíciles de evaluar, dependiente de expertos que lo aprueben o rechacen e incluso del mismo juicio de los alumnos. Sin embargo este aspecto influye directamente en la motivación del estudiante, por lo que la evaluación se considera **necesaria y útil**.

Las herramientas de software mencionadas en el capítulo 2 (Sección 2.2.1) han intentado mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje por medio de la detección del comportamiento visual, más **no evalúan el contenido estético**, son pocas las que existen y no están abiertamente disponibles. El enfoque propuesto en este trabajo podría ser un inicio para una herramienta completa que pueda ser utilizada para evaluación de OA, complementando la funcionalidad de las existentes. Adicionalmente, sería útil para mejorar la creación de los materiales educativos en México.

Las técnicas de malla estática y dinámica **permiten evaluar variaciones en los colores de los elementos visuales**, los formatos de color y a blanco y negro, así mismo el **tiempo** dedicado a cada uno de ellos. Permite evaluar las **figuras complejas como diagramas o mapas conceptuales**. Dentro de las figuras complejas es posible evaluar elementos relevantes y no relevantes para el estudiante, así mismo las **diferentes notaciones en las que se puede representar un objeto**, por ejemplo una pregunta de opción múltiple. Todas estas características ya han sido estudiadas con seguimiento ocular, lo que demuestra la utilidad de esta tecnología.

Los resultados de la evaluación de malla estática indican que se puede hacer una valoración acertada del diseño estético; sin embargo, el principal problema radica en que el tamaño de las celdas no funcionará de la misma forma para todos los diseños de OA.

Algunos requerirán otra configuración de malla y no podrán contrastarse entre sí en todos los casos. Este problema se resuelve con las **estrategias implementadas** en la técnica de malla dinámica.

La técnica de malla dinámica calcula la entropía desde **diferentes perspectivas**, cambia la configuración de la malla en función al tamaño de las celdas y la desplaza de forma que los elementos gráficos se encajen en alguna celda durante el recorrido. La comparación entre diseños diferentes con la misma información **puede ser realizada con esta técnica sin ningún inconveniente**.

5.3 Dificultades

El número de sujetos de prueba utilizados para calcular la entropía fue variable en los dos experimentos realizados. Por ejemplo, en el primero se utilizaron los datos de trece participantes para valorar la entropía, en contraste con el segundo donde solo se utilizaron tres participantes por diseño de OA. Por cuestiones de tiempo y del acuerdo al que se llegó con la escuela primaria participante, no fue posible utilizar a más estudiantes en el segundo experimento, sin embargo el número de muestra utilizado fue suficiente para realizar el análisis estadístico y dar un panorama inicial a los diseños propuestos. Se piensa que mientras más aumente la muestra de sujetos de prueba, los resultados de entropía serán mayormente certeros.

El rastreador ocular utilizado en este estudio es considerado accesible, por lo que se puede realizar un estudio basado en esta propuesta con pocos recursos. Sin embargo, se tuvo como dificultad la falta de precisión en el dispositivo. Se piensa que un rastreador ocular profesional podría incrementar notablemente la calidad de la evaluación.

5.4 Fluidez

Las características de las imágenes seleccionadas que maximizan la métrica propuesta también maximizan la fluidez de la percepción del OA. La fluidez como experiencia subjetiva de la facilidad o dificultad asociado con los procesos mentales **es parte del fenómeno obtenido por los aspectos estéticos en el diseño** (Oppenheimer, 2008). Este fenómeno favorece al tiempo de consumo requerido del OA, en contraste con uno con mal diseño. Este fenómeno presentado en el experimento B contribuyó a la validación de la hipótesis H1.

La mejora en el tiempo de consumo se asocia a dedicar **menos tiempo en visualizar el material y más en razonarlo**. Lo cual también es favorable para los procesos de retención y comprensión de la información. Se espera que este aporte pueda beneficiar a los creadores de material educativo, a los expertos en evaluación de OA y finalmente a los estudiantes.

5.5 Trabajo futuro

Como trabajo futuro se planifica un estudio más detallado para comparar la velocidad de lectura y el tiempo que los estudiantes dedican en analizar gráficos. Para este objetivo, es necesario detectar con precisión la actividad de lectura. También sería interesante aplicar uno de los métodos utilizados por expertos al mismo tiempo que se realiza el análisis.

La métrica propuesta podría combinarse con otro tipo de métricas, por ejemplo la entropía del color. Esto ayudaría a establecer límites a la métrica, por ejemplo el valor mínimo de entropía para considerar un diseño aceptable y la diferencia entre dos diseños con valor de entropía similar.

También sería interesante analizar si la dispersión o agrupamiento de las fijaciones indican carga mental según la entropía. Esto se puede utilizar para clasificar el nivel de dificultad de un contenido respecto a un usuario o un grupo. Así mismo se busca aplicar la técnica en contenido dinámico. Finalmente se podría dar paso al desarrollo de un prototipo de herramienta de software que involucre estos aspectos y pueda utilizarse para la evaluación automatizada de OA.

BIOBLOGRAFÍA

- Almenara, J. C. (2006). Bases pedagógicas del e-learning. *DIM: Didáctica, Innovación Y Multimedia*, 3(6), 1–10. <http://doi.org/ISSN 1698-580X>
- Cabero, J., Llorente, M. y Morales, J. (2013). Aportaciones al e-learning desde un estudio de buenas prácticas en las universidades andaluzas. *RUSC.Revista de Universidad Y Sociedad Del Conocimiento*, 10(1), 45–60. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v10i1.1159>
- Callejas Cuervo, M., Hernández Niño, E. J., & Villamil Pinzón, J. N. (2011). Objetos de aprendizaje , un estado del arte, 7(1), 176–189.
- Calvi, C., Porta, M., & Sacchi, D. (2008). e5Learning, an E-Learning Environment Based on Eye Tracking. *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2008(1). <http://doi.org/10.1109/ICALT.2008.35>
- Camilli, M., Nacchia, R., Terenzi, M., & Di Nocera, F. (2008). ASTEF: a simple tool for examining fixations. *Behavior Research Methods*, 40(2), 373–382. <http://doi.org/10.3758/BRM.40.2.373>
- Cantoni, V., Jimenez Perez, C., Porta, M., & Ricotti, S. (2012). Exploiting eye tracking in advanced e-learning systems. *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech '12*, 376. <http://doi.org/10.1145/2383276.2383331>
- Di Nocera, F., Camilli, M., & Terenzi, M. (2006). Using the Distribution of Eye Fixations to Assess Pilots' Mental Workload. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(1), 63–65. <http://doi.org/10.1177/154193120605000114>
- Dobesova, Z., Lackova, L., & Malcik, M. (2015). Perception and Cognition of Different Types of Graphic Notations as a Source of Information in Applied Informatics, 209–214.
- Fabio, R. A., Carrozza, C., Falzone, A., & Mohammadhasani, N. (2012). The influence of cognitive load and amount of stimuli on entropy through eye tracking measures, (2010), 199–204.
- Garcia Barrios, V. M., Gütl, C., Preis, A. M., Andrews, K., Pivec, M., Mödritscher, F., & Trummer, C. (2004). AdELE: A framework for adaptive e-learning through eye tracking. *I-Knwo 2004*, 1–8.
- Hyrskykari, A., Majaranta, P., Aaltonen, A., & Rähkä, K.-J. (2000). Design Issues of iDict : a gaze-assisted translation aid. *Design Issues*, 1(212), 9–14.
- Kay, R. (2011). Evaluating learning, design, and engagement in web-based learning tools (WBLTs): The WBLT Evaluation Scale. *Computers in Human Behavior*. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2011.04.007>
- Morgado, E. M. M., Peñalvo, F. G., & Hidalgo, C. A. (2015). Desarrollo de competencias a

- través de objetos de aprendizaje. *Revista de Educación a Distancia*, 36.
- Navarro, Ó., Molina, A. I., Lacruz, M., & Redondo, M. A. (2012). *Utilización de técnicas de seguimiento ocular (eye tracking) en alumnos con problemas de aprendizaje*.
- Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, T. (2003). Learning Object Review Instrument (LORI). *E-Learning Research and Assessment Network*.
- OCDE. (2000). *Conocimientos y aptitudes para la vida. Primeros resultados del Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (PISA) 2000 de la OCDE*. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/39817007.pdf>
- OCDE. (2004). *Informe PISA 2003 - Aprender para el mundo del mañana. Computational Biology and Chemistry* (Vol. 27). Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/39732493.pdf>
- OCDE. (2010). PISA 2009, Mensajes Clave para México, (475), 1–9.
- OCDE. (2012). Programme for International Student Assessment : an Overview, 21–28.
- OCDE. (2013). Programa para la evaluación internacional de alumnos (PISA 2012) Resultados.
- OCDE, I. (2007). *PISA 2006 En México*.
- Oppenheimer, D. M. (2008). The Secret Life Of Fluency. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6), 237–241. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.014>
- Otamendi, A., Belfer, K., Nesbit, J., & Leacock, T. (2010). Instrumento para la evaluación de objetos de aprendizaje - LORI_ESP, 1–12. Retrieved from <http://www.unizar.es/CBSantander/images/2010/OER/Instrumento para la evaluacion de objetos de aprendizaje-LORI.pdf>
- Ozcelik, E., Karakus, T., Kursun, E., & Cagiltay, K. (2009). An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning. *Computers and Education*, 53(2), 445–453. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.03.002>
- Ozdemir, T. Y., Ozan, M. B., & Aydogan, I. (2013). Influences of Multimedia Lesson Contents On Effective Learning. *Educational Process: International Journal*, 2(1), 47–58.
- Park, B., Plass, J. L., & Brünken, R. (2014). Cognitive and affective processes in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 125–127. <http://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.05.005>
- Plass, J. L., Hayward, E. O., Homer, B. D., & Um, E. (2013). Emotional design in multimedia learning: Effects of shape and color on affect and learning. <http://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.02.006>
- Ril Gil, Y., & Toll Palma, Y. D. C. (2013). Aspectos e indicadores para evaluar la calidad de los objetos de aprendizaje creados en la Universidad de las Ciencias Informáticas. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 10, 149–162. Retrieved from <http://journals.uoc.edu/ojs/index.php/rusc/article/view/v10n2-toll-ril/v10n2-toll-ril-esp>

- Romano Bergstrom, J., & Schall, A. J. (2013). *Eye Tracking in User Experience Design. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Smith, R. S. (2004). Guidelines for Authors of Learning Objects. *New Media Consortium*, 1, 32. <http://doi.org/10.4018/978-1-59904-334-0.ch012>
- Tsai, M. J., Hou, H. T., Lai, M. L., Liu, W. Y., & Yang, F. Y. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computers and Education*, 58(1), 375–385. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.012>
- Vatrapu, R., Reimann, P., Bull, S., Johnson, M., & Kingdom, U. (2013). An eye-tracking study of notational, informational, and emotional aspects of Learning Analytics representations. *International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, 125–134. <http://doi.org/10.1145/2460296.2460321>
- Velázquez, C., Álvarez, F., Muñoz, J., Cardona, P., Silva, A., Hernández, Y., & Cechinel, C. (2015). Un Estudio de la Satisfacción Obtenida con el Uso de Objetos de Aprendizaje, 248–256.
- Voßkühler, A. (2009). OGAMA Description (for Version 2.5). A software to record, analyze and visualize gaze and mouse movements in screen based environments.

APENDICE A: Código fuente

Python 2.7 Calculo_entropia.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from __future__ import division
from PIL import Image, ImageDraw, ImageTk
import openpyxl
from math import log10
import Tkinter
import sys

#Esta función cambia el tamaño de la imagen para ajustarla a la configuración de OGAMA,
#lee el archivo de fijaciones y las guarda en un diccionario, dibuja las fijaciones en
#la imagen y la despliega en pantalla.
def leer_fijaciones(imagen, excel, hoja, pantalla_ancho, pantalla_alto):
    #Se abre la imagen requerida
    img = Image.open(imagen)
    nueva_img = img.resize((pantalla_ancho,pantalla_alto))

    #Se lee el excel de las fijaciones y se guardan en un diccionario
    fijaciones_coordenadas = {}
    wb = openpyxl.load_workbook(excel)
    sheet = wb.get_sheet_by_name(hoja)
    rows = sheet.max_row

    i = 2
    while i <= rows:
        x= sheet.cell(row=i, column=9).value
        y= sheet.cell(row=i, column=10).value
        z= sheet.cell(row=i, column=8).value
        fijaciones_coordenadas.update({i-1:(x,y,int(z))})
        i+=1

    #Se dibujan los puntos de fijación
    draw = ImageDraw.Draw(nueva_img)
    for key in fijaciones_coordenadas:
        x=fijaciones_coordenadas[key][0]
        y=fijaciones_coordenadas[key][1]
        r=5
        draw.ellipse((x-r, y-r, x+r, y+r), fill=(255,0,0))
    nueva_img.save('nueva_img','png')
    nueva_img.show()
    return fijaciones_coordenadas

#Esta función calcula la entropía de la imagen por cada movimiento de la malla,
#los valores se suman y al final se retorna la entropía por escala
def entropia_escal(aoi_x1, aoi_x2, aoi_y1, aoi_y2, malla_ancho, malla_alto, saltos, fijaciones_coordenadas):

    #Se calcula el tamaño de las celdas de la malla
    cuadro_ancho=(aoi_x2-aoi_x1)/malla_ancho
    cuadro_alto=(aoi_y2 - aoi_y1)/malla_alto

    #se calcula la distancia del salto de la malla
    dist_saltox=cuadro_ancho / saltos
    dist_saltoy=cuadro_alto / saltos
    entropia_por_escal = 0
```

```

#se comienza el recorrido
for sX in range(saltos):
    for sY in range(saltos):
        malla = [[0 for x in range(malla_ancho)] for y in range(malla_alto)]
        x0 = sX * dist_saltoX + aoi_x1
        y0 = sY * dist_saltoy + aoi_y1
        suma = 0;
        suma_tiempo=0;
        for i in range(malla_ancho):
            for j in range(malla_alto):
                x1 = x0 + i*cuadro_ancho
                y1 = y0 + j*cuadro_alto
                x2 = x1 + cuadro_ancho
                y2 = y1 + cuadro_alto

                num_fijacion = 0
                tiempo_fijacion = 0

                for key, value in fijaciones_coordenadas.items():
                    if(value[0]< aoi_x1 or value[0]>aoi_x2):
                        continue
                    if(value[1]< aoi_y1 or value[1]>aoi_y2):
                        continue
                    if ((value[0]>=x1 and value[0]<x2) or (x2>aoi_x2 and value[0] < x0))
and ((value[1]>=y1 and value[1]<y2) or (y2>aoi_y2 and value[1] < y0) ):
                        tiempo_fijacion=tiempo_fijacion+value[2]
                        num_fijacion=num_fijacion+1

                malla[j][i] = tiempo_fijacion
                suma += num_fijacion
                suma_tiempo += tiempo_fijacion

        #cálculo de entropía por malla
        entropia = 0
        for i in range(malla_ancho):
            for j in xrange(malla_alto):
                if (malla[j][i]/suma>0):
                    entropia = entropia -
log10(malla[j][i]/suma_tiempo)*(malla[j][i]/suma_tiempo)

        entropia_por_escal = entropia

        entropia_por_escal /= (saltos*saltos)
        return entropia_por_escal

#Esta función calcula la entropía total de una imagen.
def entropia_total(aoi_x1, aoi_x2, aoi_y1, aoi_y2, malla_ancho, malla_alto, saltos, fijaciones_coordenadas):
    cuadro_ancho=(aoi_x2-aoi_x1)/malla_ancho
    cuadro_alto=(aoi_y2 - aoi_y1)/malla_alto
    entropia_total=0

    while cuadro_ancho>=50 and cuadro_alto>=50:
        entropia_por_escal = entropia_escal(aoi_x1, aoi_x2, aoi_y1, aoi_y2, malla_ancho, malla_alto, saltos,
fijaciones_coordenadas)
        valor_maximo= - log10(1/(malla_ancho*malla_alto))
        entropia_total += entropia_por_escal/valor_maximo
        cuadro_ancho=cuadro_ancho/2
        cuadro_alto=cuadro_alto/2
        malla_ancho=malla_ancho*2
        malla_alto=malla_alto*2

```



```

        return entropia_total

#Proceso principal
def main():

    #Configuración de la resolución de pantalla establecida en OGAMA
    pantalla_ancho=1440
    pantalla_alto=900

    #Ruta de la imagen a evaluar y archivo de fijaciones
    imagen='L1.png'
    excel='d1_Leyendas_filtro.xlsx'
    hoja = 'd1_Leyendas1'

    #Configuración del área de interés
    aoi_x1=0
    aoi_y1=0
    aoi_x2=1440
    aoi_y2=900

    #Configuración de la malla
    malla_alto=2
    malla_ancho=3
    saltos=3

    fijaciones_coordenadas = leer_fijaciones(imagen, excel, hoja, pantalla_ancho, pantalla_alto)
    entropia = entropia_total(aoi_x1, aoi_x2, aoi_y1, aoi_y2, malla_ancho, malla_alto, saltos, fijaciones_coordenadas)

    print "Entropía: " + str(entropia)

main()

```

APENDICE B: Imágenes utilizadas en el experimento A

OA₁ (bullying)

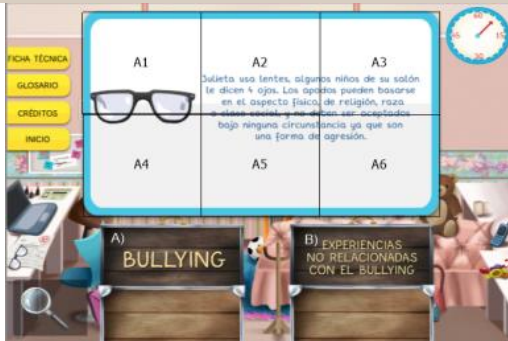


Imagen I₁¹ del OA₁ (bullying)

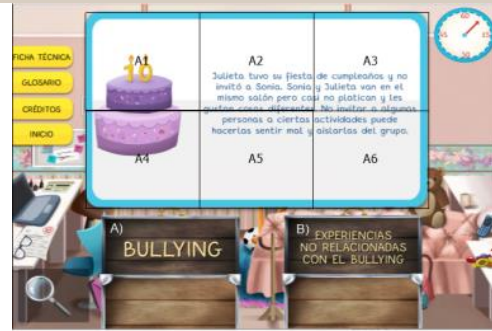


Imagen I₆¹ del OA₁ (bullying)

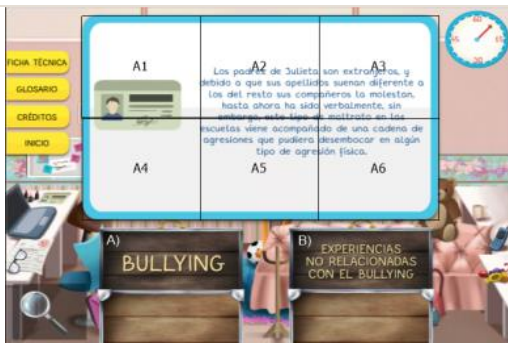


Imagen I₂¹ del OA₁ (bullying)

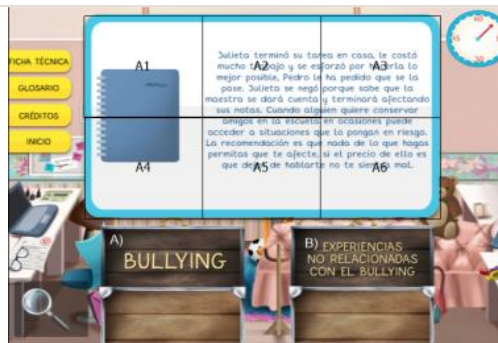


Imagen I₇¹ del OA₁ (bullying)

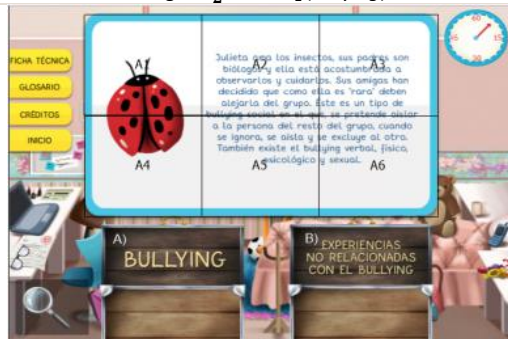


Imagen I₃¹ del OA₁ (bullying)



Imagen I₈¹ del OA₁ (bullying)

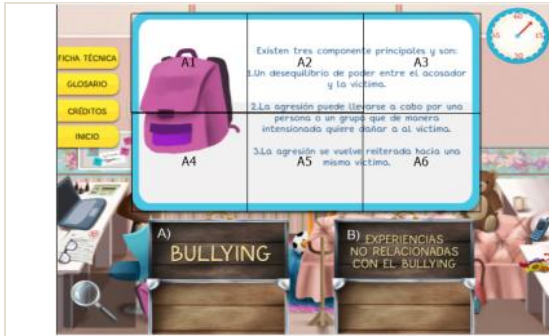


Fig. 5 Imagen I_4 del OA_1 (bullying)

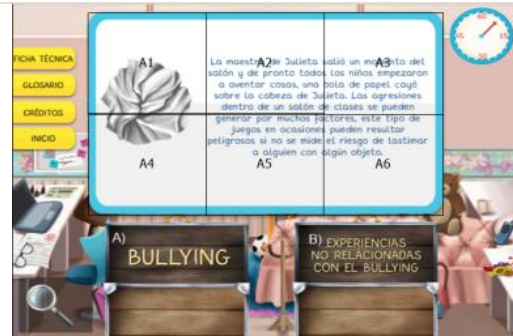


Imagen I_9 del OA_1 (bullying)

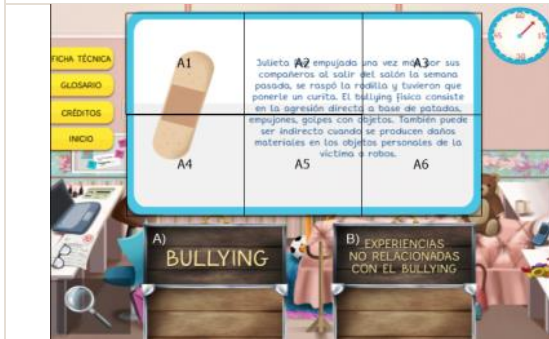


Imagen I_5 del OA_1 (bullying)

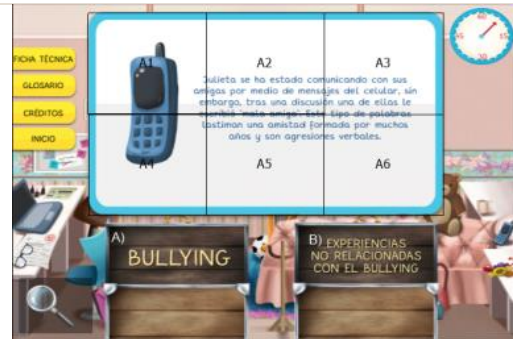


Imagen I_{10} del OA_1 (bullying)

OA_2 (anuncios publicitarios)

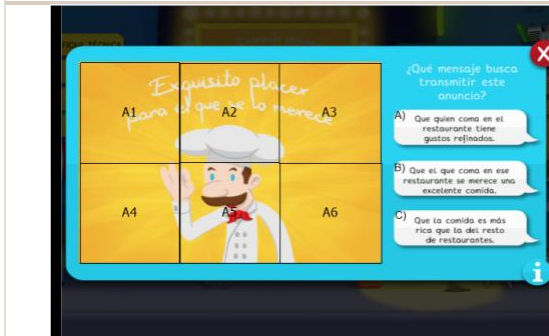


Imagen I_1^2 del OA_2 (anuncios publicitarios).

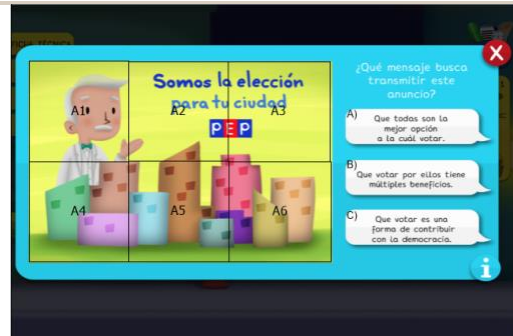


Imagen I_2^2 del OA_2 (anuncios publicitarios).

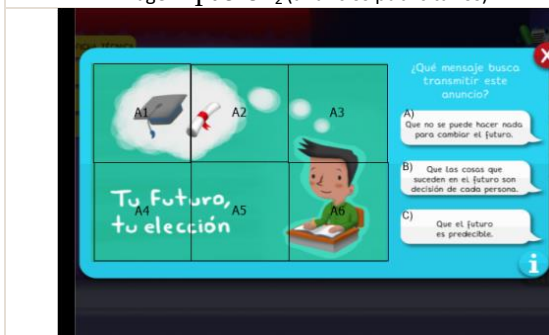


Imagen I_3^2 del OA_2 (anuncios publicitarios).

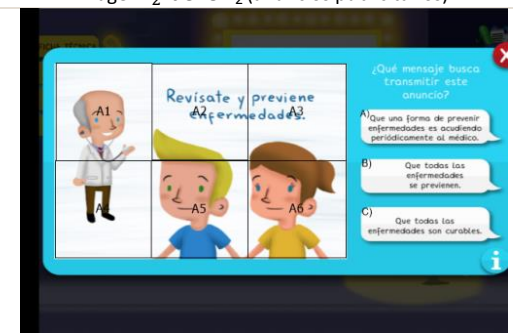


Imagen I_4^2 del OA_2 (anuncios publicitarios)

APENDICE C: Imágenes utilizadas en el experimento B

Las imágenes seleccionadas con mayor H_{eye} son marcadas con el rectángulo verde. Las seleccionadas aleatoriamente con el recuadro amarillo.

OA ₁ "leyendas"										
D ₁	D ₂	D ₃								
 <p>Una leyenda es una narración de hechos naturales, sobrenaturales o una mezcla de ambos que se transmite de generación en generación en forma oral o escrita.</p> <p>El género fantástico, es un género artístico en el que hay presencia de elementos que rompen con la realidad.</p>	 <p>Una leyenda es una narración de hechos naturales, sobrenaturales o una mezcla de ambos que se transmite de generación en generación en forma oral o escrita.</p> <p>El género fantástico, es un género artístico en el que hay presencia de elementos que rompen con la realidad.</p>	 <p>Una leyenda es una narración de hechos naturales, sobrenaturales o una mezcla de ambos que se transmite de generación en generación en forma oral o escrita.</p> <p>El género fantástico, es un género artístico en el que hay presencia de elementos que rompen con la realidad.</p>								
I _{1,1}	I _{2,1}	I _{3,1}								
 <p>1. Las veredas entre los bosques solían estar custodiadas por tres ancianos, hartos de hacer lo mismo, noche tras noche, durante 50 años. ¡Estaban tan aburridos y sentían que su labor era tan poco valerosa que inventaron un juego entre ellos para divertirse con los viajeros.</p> <p>Cuando un viajero intentaba preguntarles sobre un lugar o un camino, ellos contestaban: -Hace frío, ¿no crees?-</p>	 <p>1. Las veredas entre los bosques solían estar custodiadas por tres ancianos, hartos de hacer lo mismo, noche tras noche, durante 50 años.</p> <p>¡Estaban tan aburridos y sentían que su labor era tan poco valerosa que inventaron un juego entre ellos para divertirse con los viajeros.</p> <p>Cuando un viajero intentaba preguntarles sobre un lugar, ellos contestaban: -Hace frío, ¿no crees?-</p>	 <p>Las veredas entre los bosques solían estar custodiadas por tres ancianos, hartos de hacer lo mismo, noche tras noche, durante 50 años.</p> <p>¡Estaban tan aburridos y sentían que su labor era tan poco valerosa que inventaron un juego entre ellos para divertirse con los viajeros.</p> <p>Cuando un viajero intentaba preguntarles sobre un lugar, ellos contestaban: -Hace frío, ¿no crees?-</p>								
I _{1,2}	I _{2,2}	I _{3,2}								
 <p>2. Si el viajero les contestaba amablemente y entablaba una conversación, ellos le decían el mejor camino para llegar a su destino. Si por el contrario, el viajero les contestaba groseramente o los ignoraba, ellos le ofrecían una taza de café que los haría desorientarse y perderse durante 24 horas, antes de recuperar la conciencia. "Curiosamente, nadie se negaba al café."</p> <p>Desde entonces, se dice que si te encuentras a un anciano en el bosque, debes ser amable y platicar con él, pero jamás aceptarle una taza de café.</p>	 <p>2. Si el viajero les contestaba amablemente y entablaba una conversación, ellos le decían el mejor camino para llegar a su destino. Si por el contrario, el viajero les contestaba groseramente o los ignoraba, ellos le ofrecían una taza de café que los haría desorientarse y perderse durante 24 horas, antes de recuperar la conciencia. "Curiosamente, nadie se negaba al café."</p> <p>Desde entonces, se dice que si te encuentras a un anciano en el bosque, debes ser amable y platicar con él, pero jamás aceptarle una taza de café.</p>	 <p>Si el viajero les contestaba amablemente y entablaba una conversación, ellos le decían el mejor camino para llegar a su destino. Si por el contrario, el viajero les contestaba groseramente o los ignoraba, ellos le ofrecían una taza de café que los haría desorientarse y perderse durante 24 horas, antes de recuperar la conciencia. "Curiosamente, nadie se negaba al café."</p> <p>Desde entonces, se dice que si te encuentras a un anciano en el bosque, debes ser amable y platicar con él, pero jamás aceptarle una taza de café.</p>								
I _{1,3}	I _{2,3}	I _{3,3}								
 <p>Partes de una leyenda</p> <p>Título Se puede utilizar el nombre del personaje principal o el hecho que trata de explicar la leyenda.</p> <p>Desarrollo Aquí se trata el conflicto o problema que se presenta en la leyenda. Suceden los acontecimientos más importantes.</p> <p>Inicio Parte en que inicia la historia, aquí se presentan los personajes, el espacio y la época en donde ocurre el acontecimiento.</p> <p>Final Parte donde se da solución al problema o termina la narración de la leyenda.</p>	 <p>Partes de la leyenda</p> <p>Título Se puede utilizar el nombre del personaje principal o el hecho que trata de explicar la leyenda.</p> <p>Inicio Parte en que inicia la historia, aquí se presentan los personajes, el espacio y la época en donde ocurre el acontecimiento.</p> <p>Desarrollo Aquí se trata el conflicto o problema que se presenta en la leyenda. Suceden los acontecimientos más importantes.</p> <p>Final Parte donde se da solución al problema o termina la narración de la leyenda.</p>	 <p>Partes de una leyenda</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Título</th> <th>Inicio</th> <th>Desarrollo</th> <th>Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Se puede utilizar el nombre del personaje principal o el hecho que trata de explicar la leyenda.</td> <td>Parte en que inicia la historia, aquí se presentan los personajes, el espacio y la época en donde ocurre el acontecimiento.</td> <td>Aquí se trata el conflicto o problema que se presenta en la leyenda. Suceden los acontecimientos más importantes.</td> <td>Parte donde se da solución al problema o termina la narración de la leyenda.</td> </tr> </tbody> </table>	Título	Inicio	Desarrollo	Final	Se puede utilizar el nombre del personaje principal o el hecho que trata de explicar la leyenda.	Parte en que inicia la historia, aquí se presentan los personajes, el espacio y la época en donde ocurre el acontecimiento.	Aquí se trata el conflicto o problema que se presenta en la leyenda. Suceden los acontecimientos más importantes.	Parte donde se da solución al problema o termina la narración de la leyenda.
Título	Inicio	Desarrollo	Final							
Se puede utilizar el nombre del personaje principal o el hecho que trata de explicar la leyenda.	Parte en que inicia la historia, aquí se presentan los personajes, el espacio y la época en donde ocurre el acontecimiento.	Aquí se trata el conflicto o problema que se presenta en la leyenda. Suceden los acontecimientos más importantes.	Parte donde se da solución al problema o termina la narración de la leyenda.							
I _{1,4}	I _{2,4}	I _{3,4}								

Compendios

Una explicación de la naturaleza

Héroes de ayer y hoy

Mi localidad y sus costumbres

La vida después de la muerte

Las leyendas pueden clasificarse en diferentes compendios según sus características.

La palabra compendio se usa para hacer referencia a un conjunto de elementos que tienen algo en común y que son agrupados debido a esas similitudes.

A continuación veremos ejemplos

I_{1,5}

Compendios

Una explicación de la naturaleza

Héroes de ayer y hoy

Mi localidad y sus costumbres

La vida después de la muerte

Las leyendas pueden clasificarse en diferentes compendios según sus características.

La palabra compendio se usa para hacer referencia a un conjunto de elementos que tienen algo en común y que son agrupados debido a esas similitudes.

A continuación veremos ejemplos

I_{2,5}

Compendios

Las leyendas pueden clasificarse en diferentes compendios según sus características.

La palabra compendio se usa para hacer referencia a un conjunto de elementos que tienen algo en común y que son agrupados debido a esas similitudes.

Una explicación de la naturaleza

Héroes de ayer y hoy

Mi localidad y sus costumbres

La vida después de la muerte

A continuación veremos ejemplos

I_{3,5}

Una explicación de la naturaleza

Héroes de ayer y hoy

Las leyendas de este compendio tratan de explicar el origen de las **fenómenos naturales** tales como la lluvia, el sol, los monstruos y el comportamiento de ciertos animales.

Las leyendas de este compendio **narran acciones heroicas** de personajes que no necesariamente ocurrieron, pero cuya acción de valor inspiran a otros.

Título: El señor de los siete colores.

Personaje: El señor padre y el niño.

Época: Prehispánica.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

I_{1,6}

Una explicación de la naturaleza

Héroes de ayer y hoy

Las leyendas de este compendio tratan de explicar el origen de los **fenómenos naturales** tales como la lluvia, el sol, los monstruos y el comportamiento de ciertos animales.

Las leyendas de este compendio **narran acciones heroicas** de personajes que no necesariamente ocurrieron, pero cuya acción de valor inspiran a otros.

Título: El señor de los siete colores.

Personaje: El señor padre y el niño.

Época: Prehispánica.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

I_{2,6}

Una explicación de la naturaleza

Héroes de ayer y hoy

Las leyendas de este compendio tratan de explicar el origen de los **fenómenos naturales** tales como la lluvia, el sol, los monstruos y el comportamiento de ciertos animales.

Las leyendas de este compendio **narran acciones heroicas** de personajes que no necesariamente ocurrieron, pero cuya acción de valor inspiran a otros.

Título: El señor de los siete colores.

Personaje: El señor padre y el niño.

Época: Independencia de México.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

Elementos reales: El trío, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño, el niño.

I_{3,6}

OA₂ "teatro"

D₁

La palabra teatro significa "lugar para contemplar". Se trata de un arte que busca representar historias frente a una audiencia, combinando actuación, discurso, gestos, escenografía, música y sonido.

Una obra teatral es una producción que consiste en la presentación de un relato mediante una actuación de teatro.

I_{1,1}

D₂

¿Qué es el teatro?

La palabra teatro significa "lugar para contemplar".

Se trata de un arte que busca representar historias frente a una audiencia, combinando: Actuación, discurso, gestos, escenografía, música y sonido.

Una obra teatral es una producción que consiste en la presentación de un relato mediante una actuación de teatro.

I_{2,1}

D₃

¿Qué es el teatro?

La palabra teatro significa "lugar para contemplar".

Se trata de un arte que busca representar historias frente a una audiencia, combinando: Actuación, discurso, gestos, escenografía, música y sonido.

Una obra teatral es una producción que consiste en la presentación de un relato mediante una actuación de teatro.

La obra puede combinar discursos, gestos, música, bailes y otras formas de expresión artística.

I_{3,1}

Acto

Un acto es cada una de las partes principales en las que interviene una obra teatral.

Escena

Es cada una de las partes de una obra donde se representa una determinada situación.

En una obra de teatro, un acto se divide en muchas escenas. Los actos son divisiones grandes que pueden abarcar bastante tiempo dentro de la obra y las escenas son divisiones más pequeñas que abarcan un solo momento en un mismo escenario.

I_{1,2}

Acto

Un acto es cada una de las partes principales en las que interviene una obra teatral.

Escena

Es cada una de las partes de una obra donde se representa una determinada situación.

En una obra de teatro, un acto se divide en muchas escenas. Los actos son divisiones grandes que pueden abarcar bastante tiempo dentro de la obra y las escenas son divisiones más pequeñas que abarcan un solo momento en un mismo escenario.

I_{2,2}

Acto

Un acto es cada una de las partes principales en las que interviene una obra teatral.

Escena

Es cada una de las partes de una obra donde se representa una determinada situación.

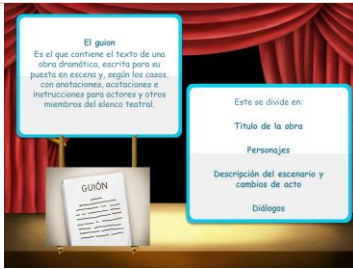
En una obra de teatro, un acto se divide en muchas escenas. Los actos son divisiones grandes que pueden abarcar bastante tiempo dentro de la obra y las escenas son divisiones más pequeñas que abarcan un solo momento en un mismo escenario.

I_{3,2}

El guion
Es el que contiene el texto de una obra dramática, escrita para su puesta en escena y, según los casos, con anotaciones, acotaciones e instrucciones para actores y otros miembros del elenco teatral.

Este se divide en:

- Título de la obra
- Personajes
- Descripción del escenario y cambios de acto
- Diálogos

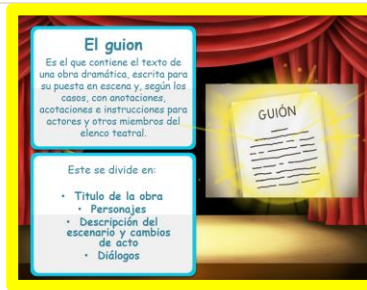


I_{1,3}

El guion
Es el que contiene el texto de una obra dramática, escrita para su puesta en escena y, según los casos, con anotaciones, acotaciones e instrucciones para actores y otros miembros del elenco teatral.

Este se divide en:

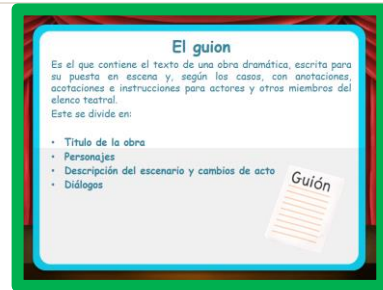
- Título de la obra
- Personajes
- Descripción del escenario y cambios de acto
- Diálogos



I_{2,3}

El guion
Es el que contiene el texto de una obra dramática, escrita para su puesta en escena y, según los casos, con anotaciones, acotaciones e instrucciones para actores y otros miembros del elenco teatral. Este se divide en:

- Título de la obra
- Personajes
- Descripción del escenario y cambios de acto
- Diálogos



I_{3,3}

El director
Es el elemento teatral encargado de organizar y adaptar lo que se plantea en el guion en el resto de los elementos teatrales. Es considerado el responsable de que todos los demás elementos, actuaciones, escenografía, iluminación, música, etc. estén en armonía.



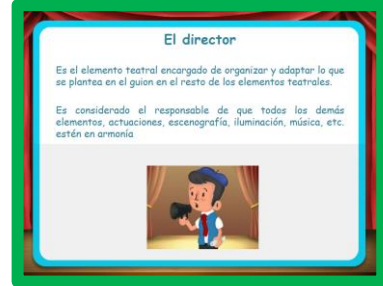
I_{1,4}

El director
Es el elemento teatral encargado de organizar y adaptar lo que se plantea en el guion en el resto de los elementos teatrales. Es considerado el responsable de que todos los demás elementos, actuaciones, escenografía, iluminación, música, etc. estén en armonía.



I_{2,4}

El director
Es el elemento teatral encargado de organizar y adaptar lo que se plantea en el guion en el resto de los elementos teatrales. Es considerado el responsable de que todos los demás elementos, actuaciones, escenografía, iluminación, música, etc. estén en armonía.



I_{3,4}

Los personajes
Es importante describir a los personajes para determinar sus atributos, de modo que claramente se distinga de los demás. Esto ayuda a los actores a conocer el papel que interpretarán. Las descripciones se realizan con ayuda de adjetivos.

- Envidiosa Anciana Magia negra
- Feroz Maléfico Grande
- Valeroso Espada Intrépido



I_{1,5}

Los personajes
Es importante describir a los personajes para determinar sus atributos, de modo que claramente se distinga de los demás. Esto ayuda a los actores a conocer el papel que interpretarán. Las descripciones se realizan con ayuda de adjetivos.

- Envidiosa Anciana Magia negra
- Feroz Maléfico Grande
- Valeroso Espada Intrépido



I_{2,5}

Los personajes
Es importante describir a los personajes para determinar sus atributos, de modo que claramente se distinga de los demás. Esto ayuda a los actores a conocer el papel que interpretarán. Las descripciones se realizan con ayuda de adjetivos.

- Envidiosa Anciana Magia negra
- Feroz Maléfico Grande
- Valeroso Espada Intrépido



I_{3,5}

El público
Es el elemento teatral considerado como uno de los más importantes, son quienes evalúan y finalmente rechazan o aprueban lo puesto en escena.



I_{1,6}

El público
Es el elemento teatral considerado como uno de los más importantes, son quienes evalúan y finalmente rechazan o aprueban lo puesto en escena.



I_{2,6}

El público
Es el elemento teatral considerado como uno de los más importantes, son quienes evalúan y finalmente rechazan o aprueban lo puesto en escena.



I_{3,6}