
PREDICCIÓN DE LA INTENCIÓN DE CLICK DEL USUARIO WEB, USANDO ANÁLISIS DE DILATACIÓN PUPILAR

GINO SLANZI R. *
JOAQUÍN JADUE M. *
JUAN D. VELÁSQUEZ S. *

Resumen

Se propone un nuevo enfoque para predecir la intención de click del usuario Web, usando datos de dilatación pupilar generados por un dispositivo de *eye-tracking*. El objetivo es determinar si esta variable permite diferenciar estados de elección y no-elección de objetos Web, y de ser así, generar un modelo de clasificación para predecir la elección entendida como un click. Para esto, se realizó un experimento con 25 sujetos saludables, en que la posición ocular y la dilatación pupilar fue capturada mientras los sujetos realizaban tareas de elección entre diferentes objetos en un sitio Web simulado. Los resultados del análisis muestran que existe una diferencia significativa entre los tamaños de la pupila para los objetos escogidos frente a los no escogidos. Además, se creó un modelo de predicción de intención de click, basado en Redes Neuronales Artificiales, que obtuvo un 82% de *accuracy*. Estos resultados sugieren que esta variable puede ser usada en la perspectiva de *Web Intelligence* como una aproximación del comportamiento del usuario Web, para generar un sistema de recomendaciones para mejorar la estructura y contenidos de sitios Web.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento usuario web, Dilatación pupilar, Predicción de click, Eye-tracking.

*Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

1. Introducción

Durante los últimos 20 años, la Web ha estado creciendo en uso y penetración. Actualmente, es casi natural utilizarla diariamente para buscar cualquier tipo de información, para acceder a productos y servicios y para interactuar socialmente mediante diferentes plataformas. Dado lo anterior, las empresas y organizaciones buscan aumentar su presencia en esta red para atraer y retener clientes, ganando posición de mercado y subir niveles de venta.

Esta meta puede alcanzarse mediante la creación de sitios Web que resulten más efectivos que sus potenciales competidores en capturar la atención y preferencias de sus usuarios.

El conocimiento acerca de las necesidades de los potenciales clientes y la habilidad para establecer servicios personalizados que satisfagan esas necesidades, es un aspecto clave para las empresas y organizaciones para destacar frente al resto [24]. En estos tiempos, para un vendedor es posible personalizar su producto para clientes individuales en una escala masiva, fenómeno denominado como *customización masiva* [27].

La personalización es importante por cuanto permite preparar de mejor manera la oferta en base a la extrapolación de las conductas de navegación y preferencias a partir de la caracterización del usuario.

Web usage mining es el “proceso en el cual se aplican técnicas de minería de datos para el descubrimiento de patrones de uso desde los datos generados en la Web” [27]. Esta disciplina utiliza diversas metodologías para el descubrimiento de la experiencia de los usuarios mientras navegan en los sitios Web, tales como el análisis de los *Web logs*, cuestionarios y encuestas [18]. Estas fuentes de datos han sido complementadas con tecnologías más recientes, como *mouse* y *eye tracking*, para obtener un modelamiento más preciso del comportamiento de los usuarios.

Los enfoques basados en neurodatos han adquirido mayor relevancia gracias al hecho que las respuestas fisiológicas a menudo sirven para explicar diferentes conductas del ser humano [19, 20, 21]. En particular, los cambios en la dilatación pupilar han sido relacionados con la carga cognitiva o la actividad mental [8], y los movimientos oculares y fijaciones han sido vinculados con enfoque y atención [30, 13].

Este estudio busca introducir un novedoso enfoque para la predicción de la elección del usuario Web, usando análisis de dilatación pupilar. Para esto, basado en el hecho que el tamaño pupilar varía en el tiempo dependiendo de los estímulos visuales a los que se enfrentan los ojos, se plantea la siguiente

hipótesis: “*Los cambios en los tamaños pupilares en el tiempo corresponden a una variable predictiva de la intención de click de los usuarios Web.* Para validarla, se condujo un experimento en el que 25 sujetos saludables navegaron por un sitio Web simulado, realizando tareas de elección entre diferentes objetos, mientras se registraba su posición ocular y dilatación pupilar, para posteriormente aplicar técnicas de minería de datos.

El paper está estructurado como sigue: La Sección 2 describe estudios relacionados con nuestra propuesta de investigación, explicando como el proceso de elección del usuario Web ha sido modelado, usando variados puntos de vista y cómo las técnicas de *eye tracking* han ganado presencia en este campo. Posteriormente, la Sección 3 muestra detalladamente nuestra propuesta, estableciendo qué modelos y métricas fueron usados junto a las preguntas de investigación que fueron planteadas para validar la hipótesis. En la Sección 4 se entrega una descripción de los experimentos realizados para la adquisición de los datos, mientras que su tratamiento y los resultados son ilustrados en la Sección 5. Finalmente, la Sección 6 presenta las conclusiones finales del trabajo en conjunto con posibles líneas de trabajo futuro.

2. Trabajo relacionado

Esta Sección revisará las principales líneas de investigación relacionadas con el modelamiento y predicción de la intención de click, utilizando variables biológicas como dilatación pupilar y posicionamiento ocular.

Adicionalmente, Buscher et al. introdujeron el concepto de *fixation impact* que permite la identificación de un conjunto de elementos que están bajo la mirada en un cierto instante de tiempo. La definición de este concepto se basa en que la visión humana está definida por una estrecha ventana de alta agudeza junto con el area de visión. Entonces, cuando se está mirando a un objeto, el sujeto está también mirando elementos que están rodeando al objeto principal. De esa manera, dada una fijación, una zona DOM es seleccionada para identificar cuáles elementos están demarcados por ésta. Luego, un puntaje de distancia es asignado a cada elemento según su cobertura, asumiendo una distribución Gaussiana. El *fixation impact* es calculado usando esta distancia e incorporando una dimensión de tiempo relativa al tiempo de la fijación.

Paralelamente, Loyola propone una caracterización de la posición ocular del usuario Web basada en Teoría de Grafos, concluyendo que sus resultados sugieren que un enfoque basado en grafos puede capturar, en una manera confiable, la dinámica del comportamiento del usuario y la identificación de

objetos salientes dentro de un sitio Web [13, 12].

Román y Velásquez en [22] crean un modelo de uso Web inspirado por una descripción neurofisiológica estocástica de la toma de decisión y la utilidad del contenido de las páginas Web. En su estudio, implementan un proceso estocástico de alta dimensión basado en el modelo neuronal *leaky competing accumulator* (LCA), logrando una efectividad del 73 %.

Por otro lado, en [23], los autores revisaron variados métodos para modelar Juicio y Toma de Decisión (*JDM, Judgment and Decision Making* en inglés). En particular, exploraron las principales contribuciones del uso de los movimientos oculares en ese campo. Describieron diversos estudios, destacando que el uso de las fijaciones como la principal característica a analizar.

Otro tipo de estudios intentan relacionar la elección o clicks del usuario Web con diferentes variables. Por ejemplo, en 2007, Chandon et al. realizaron un experimento de *eye-tracking* para analizar situaciones de elección de objetos asociados a distintas marcas. Concluyeron que la atención visual es relevante en el proceso de elección de los usuarios, sugiriendo que los objetos con baja probabilidad de ser escogidos pueden ser resaltados poniendolos cerca a los objetos de mayor probabilidad [5].

Reutskaja et al. estudiaron el comportamiento de los usuarios mientras escogían entre objetos bajo condiciones de tiempo y carga usando tecnologías de *eye-tracking*. De su trabajo concluyeron que los objetos ubicados en el centro de la pantalla tienen mayor probabilidad de ser elegidos que los objetos de similares características ubicados en otras zonas de la pantalla. Esto puede permitir influenciar decisiones, centrando aquellos objetos que se pretende sean escogidos. Adicionalmente, concluyeron que el 70 % de los objetos que fueron elegidos tuvieron más largas fijaciones [16].

Otro estudio fue realizado por Krajbich et al. [9] donde se intentó relacionar el proceso de elección con la posición ocular de los usuarios. Particularmente, desarrollaron un modelo de predicción de elección basado en tres observaciones principales: *a)* la primera y la última fijación son más cortas que las centrales, aunque esto no afecta la probabilidad de elección de cada objeto; *b)* el último objeto visto tiene una mayor probabilidad de ser elegido que el resto; *c)* los objetos con fijaciones más largas tienen mayores probabilidades de ser seleccionados.

Las tecnologías de *eye-tracking* pueden ser usadas para recolectar otro tipo de datos como la dilatación pupilar a través del tiempo. Esta variable está directamente relacionada con diferentes procesos cognitivos, ya que está enlazada al sistema simpático y parasimpático. En la literatura existen variados trabajos que utilizan esta variable para describir diferentes tipos de fenómenos. Por ejemplo, Beatty [1] utilizó el tamaño de la pupila para medir el esfuerzo mental

relativo a tareas cognitivas; Steinhauer et al. encontraron que a mayor complejidad en diversas tareas, mayor era la dilatación pupilar [28]; además, Bradley et al. estudiaron la relación del tamaño pupilar con la excitación emocional producida por estímulos visuales [2].

Dada la evidencia empírica mostrada en esta sección, se encontró un campo de acción específico donde se puede centrar la presente investigación para relacionar la intención de click con la dilatación pupilar a través del tiempo. En particular, se propone un enfoque novedoso para predecir la intención de click usando un análisis de curvas de tamaño pupilar en la navegación.

Este enfoque es interesante debido a que puede ser visto como un complemento a otro tipo de análisis de comportamiento de usuarios en la Web, como el análisis de *clickstream data*, es decir, qué caminos siguen los usuarios por medio de los clicks en los sitios Web y qué conclusiones se pueden obtener con este tipo de estudios.

En este ámbito, Bucklin y Sismeiro en [3] desarrollaron un modelo de comportamiento de navegación de usuarios en un sitio Web tomando en cuenta la decisión de seguir navegando (no salir del sitio) y el tiempo empleado en cada página. Como resultado notaron que la propensión a seguir explorando cambia dinámicamente con la profundidad y la repetición en las visitas, además si aumenta la cantidad de visitas, la cantidad de páginas visitadas se reduce, no así el tiempo de navegación.

En [15] los autores concluyen que los caminos seguidos por los usuarios pueden reflejar de buena forma sus objetivos en los sitios Web, lo que puede servir en la predicción de la conversión de compra. Por otro lado, Moe et al. implementaron un modelo para la evolución del comportamiento de visita a sitios Web, basado en *clickstream data*. Obtuvieron resultados lógicos, como la existencia de un cambio en la conducta de navegación relacionado con la experiencia del usuario, o como el aumento en la propensión de compra dado un aumento en la frecuencia de visita al sitio. Concluyen que la evolución (los cambios) en el comportamiento de visita a los sitios otorga información valiosa de qué tipo de clientes van a comprar en mayor cantidad [14].

Si bien el estudio de los datos de navegación por medio de clicks es un enfoque importante en la investigación del comportamiento del usuario Web, no considera aspectos que son interesantes de evaluar como las respuestas fisiológicas de los usuarios frente a los estímulos presentados en los sitios Web. En particular, el análisis de la secuencia de clicks puede entregar resultados valiosos desde un cierto punto de vista, es decir, los usuarios tienen un comportamiento en la navegación dependiendo a intereses y objetivos y en función de las opciones mostradas en el sitio. Sin embargo, este enfoque puede ser mejorado utilizando una retroalimentación desde otro punto de vista: analizando

si efectivamente las opciones mostradas son las que mejor se acomodan a cada tipo de usuario o si realmente están capturando la atención que se quiere captar. Este tipo de conocimiento puede ser encontrado con análisis de variables fisiológicas como la dilatación pupilar o la actividad cerebral.

Lo que busca este estudio es generar un modelo de clasificación de la intención de click basado en el tamaño de la pupila de los usuarios, con un modelo de este tipo, el análisis de *clickstream* puede ser complementado para desarrollar sistemas de recomendación más precisos y personalizados.

3. Propuesta de Investigación

El principal objetivo de este estudio es clasificar y predecir el proceso de elección entendido como un click en un sitio Web, de acuerdo a variables fisiológicas. Para alcanzar este objetivo, se propone un novedoso enfoque basado en *eye-tracking*, en el que se utiliza la dilatación pupilar como variable predictiva de la intención de click en sitio Web simulado.

3.1. Análisis de Dilatación Pupilar

La utilización de un dispositivo de *eye-tracking* permite capturar en tiempo real la visión de los usuarios y además los cambios en los tamaños de las pupilas dentro de intervalos de tiempo. Los datos de dilatación pupilar pueden ser representados como un flujo de datos con una componente de tiempo y ser mostrados como una curva de contracciones y dilataciones dependiendo del estímulo mostrado y el proceso cognitivo implementado como respuesta.

Basado en lo anterior, se declara la siguiente hipótesis de investigación: **Los cambios en los tamaños pupilares en el tiempo corresponden a una variable predictiva de la intención de click de los usuarios Web.** En este sentido, se utiliza la curva de la dilatación pupilar para caracterizar los estados de elección y no-elección, entendiendo una elección como: **el acto visible en el que un usuario realiza un click en uno de los objetos presentados como opción en un instante de tiempo determinado, dada como instrucción la navegación y elección libre.**

La hipótesis fue propuesta de manera que permita responder dos preguntas de investigación principales:

- **Pregunta 1: ¿Es la *Dilatación Pupilar* una variable que sirve para caracterizar estados de elección y no-elección para usuarios Web?**

▪ **Pregunta 2: ¿Es posible generar un modelo de predicción de intención del click basado en esta variable?**

Para responder estas preguntas de investigación, se diseñó e implementó un experimento en el que se recolectaron los datos del posicionamiento ocular y dilatación pupilar de los usuarios mientras realizaban tareas de elección en un sitio Web simulado.

3.2. Modelo de Clasificación

Se propone el uso de modelos de clasificación binaria para predecir la intención de click. Luego, se utilizan algoritmos de aprendizaje supervisado, donde el input es la curva de dilatación pupilar y el output es el parámetro de decisión con valor 1 para *elección* y 0 para *no-elección*. En ese sentido, el modelo considera tres algoritmos típicamente usados en *Web mining*, como Redes Neuronales Artificiales, Regresión Logística y Support Vector Machine.

Para los tres modelos se usa el 70% de los datos como set de entrenamiento y el 30% restante, como set de prueba. A continuación se describen rápidamente los algoritmos usados.

Para evaluar la performance de cada modelo de clasificación, se utilizan dos ratios derivados de la Matriz de Confusión: *Accuracy* y *Recall*. El primero sirve para medir cuán asertivo fue el modelo en todas sus predicciones, mientras que el segundo permite medir qué tan asertivo fue entre el total de casos positivos.

4. Recolección de Datos

Para obtener los datos necesarios, se realizó un experimento que considera los diferentes aspectos que permiten reproducir el proceso de elección del usuario Web, mientras se monitorea y recolecta los datos de dilatación pupilar y posicionamiento ocular. Esta etapa experimental fue llevada a cabo en el Laboratorio de Neurosistemas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

4.1. Diseño Experimental

La serie de experimentos fue diseñada considerando los siguientes aspectos:

4.1.1. Grupo Experimental

El grupo consistió en 25 sujetos sanos (11 mujeres y 14 hombres), estudiantes y profesionales de diversas áreas y disciplinas. La edad promedio del grupo

fue 26,1 años con una varianza de 2,2 años. Todos los sujetos declararon tener visión correcta y no presentaban enfermedades psiquiátricas o neurológicas que pudiesen interferir con los propósitos del experimento. Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado aprobado por el *Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile*.

4.1.2. Instrumentos

Se requiere un dispositivo de *eye tracking* para grabar el posicionamiento ocular y la dilatación pupilar durante las tareas del experimento. Para esto se utilizó el *SR Research Eye Link 1000* [26] a una tasa de muestreo de 1000 Hz. Por otro lado, los estímulos visuales, es decir, el sitio Web simulado, fue presentado en una pantalla *LG* de 32" situada a 60 centímetros del sujeto en una habitación experimental. Cada sujeto debía apoyar el mentón a un soporte para mantener la cabeza lo más quieta posible. La habitación experimental tenía la luz apagada durante el experimento. La Figura 1 muestra el *set up* donde los usuarios tomaron las pruebas, donde el dispositivo de *eye tracking*, el soporte y la pantalla pueden ser vistos claramente.



Figura 1: Set up del Experimento.

4.1.3. Protocolo

El sitio Web simulado está compuesto de tres partes principales: página de inicio, páginas de elección y página de salida, tal como se ve en la Figura 2. Cada parte está descrita a continuación:

1. Página de Inicio: Primero que todo, una se muestra una página de inicio con las instrucciones del experimento.
2. Páginas de Elección: En esta etapa, una página de forma de grilla que contiene 9 objetos de una misma categoría es mostrada para que el usuario elija uno de los nueve objetos. Todos los objetos son tomados de la base de datos de la *International Affective Picture System (IAPS)* [10] y corresponden al tipo de valencia neutral. Los sujetos tienen que hacer click sobre uno de los nueve objetos para elegirlo. Una vez que el usuario selecciona un objeto, una imagen de ruido rosa es presentada por 2 segundos, para presentar una nueva grilla de 9 objetos nuevamente. Este proceso es repetido 90 veces, para el que la instrucción explícita es: **Usando el mouse, elija uno de los objetos mostrados en la página, haciendo un click sobre él.**
3. Página de Salida: Finalmente, una página de despedida y agradecimiento es mostrada en pantalla.

Además, la serie de experimentos fue conducida según el siguiente protocolo experimental, que fue presentado con el software *SR Research Experiment Builder* [25]:

1. Bienvenida: El sujeto es agradecido por su participación en el experimento, se le explica el procedimiento y se le pide que lea y firme el consentimiento informado.
2. Los instrumentos deben estar encendidos y funcionando correctamente.
3. El sujeto es sentado de manera cómoda, apoyando el mentón en el soporte frente a la pantalla a unos 60 – 80 cm, asegurándose que los ojos coincidan con el centro de ésta.
4. El dispositivo de *eye-tracking* debe ser calibrado para el funcionamiento perfecto
5. Una vez realizada la calibración, empieza el experimento con la página de inicio, donde el sujeto lee las instrucciones.
6. Luego de las 90 categorías, se muestra la página de salida y el experimento es finalizado.

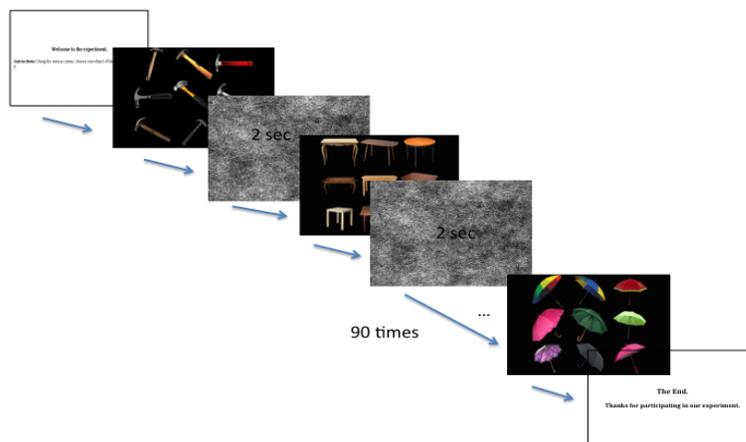


Figura 2: Secuencia del Experimento.

5. Resultados y Discusión

Posterior a la adquisición de los datos, se efectuó un análisis para poder responder a las preguntas de investigación propuestas en 3.1. En esta sección se describe dicho proceso y se entregan respuestas a esas interrogantes, discutiendo resultados y rendimientos.

5.1. Preprocesamiento y Transformación de los Datos

Es importante eliminar ruidos que afecten el resultado del estudio, por lo tanto, primero que todo, cada curva de dilatación pupilar fue preprocesada interpolando linealmente los pestaños, ya que cada vez que un sujeto cierra los ojos, esos datos se pierden. Posteriormente, se arreglaron los errores producidos por las sacadas y se utilizó un filtro pasa-bajo de 2 Hz, que permite suavizar la curva de dilatación pupilar, descartando las frecuencias mayores al umbral impuesto, eliminando ruidos y artefactos debidos a errores de medición del hardware.

Luego de tener los datos limpios, se definió una *observación* considerando los siguientes aspectos:

- Una observación empieza cuando el sujeto realiza una fijación sobre un objeto y termina cuando empieza otra fijación en otro objeto.
- Se estableció un umbral mínimo de tiempo de fijación de 300 milisegundos para ser considerada observación. De otra manera, sería considerada

como que el sujeto no prestó atención en ese objeto y sólo paso por encima durante una sacada.

- Para el análisis se consideraron los primeros 600 milisegundos de cada observación.

Las observaciones fueron transformadas usando el *Z-score* como forma de estandarizarlas y hacer sencilla la comparación entre los sujetos. Finalmente, se centraron las observaciones, removiendo una línea base de los 200 milisegundos previos a la observación.

5.2. Predicción de Click

La predicción del click fue analizada en dos pasos. El primero intentó responder la pregunta de investigación 1, es decir, intentar determinar si es que existen diferencias entre los tamaños pupilares para elección y no-elección. Luego, se aplica el modelo de clasificación para responder la pregunta 2, esto es, poder predecir la intención de click, utilizando la dilatación pupilar como input.

5.2.1. Pregunta 1 - Diferencia entre elección y no-elección

Usando los datos de *eye-tracking* fue posible de etiquetar las observaciones en dos grupos, *elección* y *no-elección*. Luego, un promedio fue calculado para todas las observaciones de todos los sujetos para cada grupo. La Figura 3 muestra las dos curvas con sus respectivos intervalos de confianza, donde se pueden ver gráficamente las diferencias entre los tamaños pupilares para elección y no-elección; la curva de elección (en azul), es mayor que la curva de no elección (en rojo).

Para validar estadísticamente esta diferencia, se llevó a cabo un Test *Lilliefors* de normalidad, para ver si ambas curvas presentaban una distribución normal. Con un 95 % de confianza, el test entregó un *p-valor* de 0,0970, mayor que el valor crítico de 0,0518, lo que implica que estas curvas no están normalmente distribuidas. Por lo tanto, para determinar si son estadísticamente diferentes, se realizó un Test *Wilcoxon*, cuyo resultado, con un 95 % de confianza, permitió rechazar la hipótesis nula que plantea que las curvas poseen la misma media.

En otras palabras, se pudo validar la hipótesis, debido a que para los objetos que fueron visualmente explorados y *elegidos* (clickeados), la dilatación pupilar fue estadísticamente mayor que para aquellos que no fueron seleccionados.

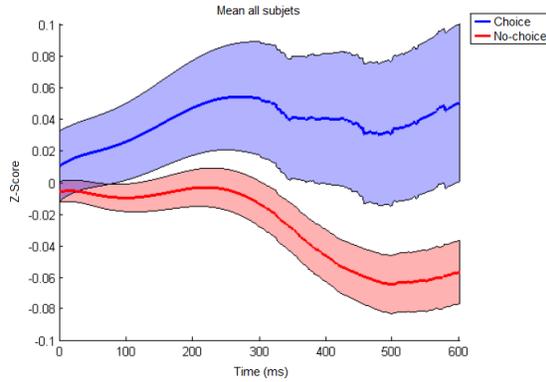


Figura 3: Diferencia entre *elección* y *no-elección*.

5.2.2. Pregunta 2 - Modelo Predictivo

Finalmente, se implementó el modelo de predicción declarado en 3.2. Cada algoritmo fue utilizado por separado, usando una distribución de 70 – 30 % de los datos para entrenamiento y prueba respectivamente. La idea era generar más de una opción para la predicción y así analizar distintos resultados.

El primer algoritmo empleado fue la Regresión Logística, para la cual se utilizó la función logística estándar para minimizar la función de costos y así obtener los valores beta de la regresión. Luego, probando los resultados, se obtuvo un nivel de *accuracy* del 75 % y un *recall* del 12 %.

Enseguida, se implementó el algoritmo SVM junto con una función de kernel *Gaussian Radial Basis* con un factor de escalamiento σ 1. De forma similar al caso anterior, este algoritmo presentó un *accuracy* aceptable del 72 % y un bajo *recall* del 15 %.

Para terminar, se aplicó el algoritmo RNA, donde se utilizó la función *Log-Sigmoid Transfer* como función de activación para cada capa, definida como $A = \text{logsig}(n)$, donde n corresponde a datos de input. Este modelo fue el que entregó los mejores resultados con un *accuracy* del 82 % y un *recall* del 19 %.

En definitiva, el modelo que se propone para estudiar y predecir la intención de click en un sitio Web es usar datos de dilatación pupilar generados por un dispositivo de *eye-tracking* para la aplicación de un algoritmo de RNA. Este algoritmo es preferido sobre los demás, porque entregó el mejor resultado en cuanto a *accuracy* y *recall*, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Es importante destacar que aun cuando los tres modelos entregaron altos niveles de *accuracy*, los valores de *recall* son bajos. Esto se debe a que los casos en que la variable objetivo toma el valor de 1 (elección), son eventos raros dentro de la totalidad del conjunto de observaciones. De esa manera, el clasificador intentó predecir de mejor manera cuando la variable objetivo toma

Tabla 1: Resultados de los modelos de predicción.

Modelo	Accuracy	Recall
Regresión Logística	75 %	12 %
Support Vector Machine	72 %	15 %
Redes Neuronales Artificiales	82 %	19 %

el valor de 0 (no-elección), entonces debido a que ese tipo de observaciones equivalen en cantidad a diez veces al tipo de elección, el modelo entrega como resultado un elevado *accuracy* y un disminuido *recall*.

5.3. Discusión General

Como es posible ver en 5.2.1, la dilatación pupilar muestra patrones de comportamiento determinados que diferencian la elección de la no elección. Sin embargo, dados los resultados del modelo de predicción, se puede interpretar que el fenómeno en estudio no fue clasificado correctamente. Esto es porque si la elección, estudiada como en este trabajo, puede ser clasificada como un evento extraño, los modelos típicos de clasificación no actúan de manera perfecta con este tipo de datos.

No obstante, existen diferentes maneras para solucionar este problema, como usar modelos de clasificación de eventos raros o aplicar técnicas de transformación como sobre-muestreo de los datos de casos extraños; tomar un subconjunto de casos normales que calce con la cantidad de casos extraños; o cambiar los costos en la matriz de confusión, otorgando mayores costos a la función objetivo cuando falle en la clasificación de eventos raros.

Además, la variabilidad de la dilatación pupilar entre sujetos es alta como para validar la hipótesis individualmente. De todas maneras, el promedio entre todos los sujetos muestra que la tendencia de las curvas permite separar la decisión de elegir y no elegir en dos grupos de manera estadísticamente significativa. Basado en esto, diversos tipos de análisis de curvas pueden ser realizados para extender y corroborar estos resultados. Determinar cuáles son las características más importantes de la curva de dilatación pupilar podría ser útil para generar modelos más empíricos para predecir la intención de click del usuario Web, por ejemplo, obtener variables tales como la máxima dilatación y mínima contracción, o velocidad y aceleración de la curva.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo se ha explorado la relación entre la dilatación pupilar y la intención de click del usuario Web, entendida como “el acto visible en el que un usuario realiza un click en uno de los objetos presentados como opción en un instante de tiempo determinado, dada como instrucción la navegación y elección libre”. Para la recolección de los datos necesarios, se condujo un experimento que consistió en recopilar los datos de posición ocular y dilatación pupilar con un dispositivo de *eye-tracking*, mientras los sujetos realizaban tareas de elección de objetos en un sitio Web simulado.

Considerando diferentes aspectos, se definió una observación de un objeto y se compararon las observaciones correspondientes a objetos seleccionados y no seleccionados por los usuarios. Se encontró una diferencia significativa entre los tamaños pupilares de esos objetos. Más precisamente, los objetos elegidos presentaron mayores tamaños de pupila que los elementos que no fueron escogidos; hecho que permitió validar la hipótesis de investigación planteada para este estudio.

Además, se propuso un modelo de predicción basado en el uso de Redes Neuronales Artificiales. Cada observación fue etiquetada como 1 o 0 para elección y no-elección respectivamente. Aunque el modelo se comportó bien en términos de *accuracy*, los valores de *recall* fueron bajos. Esto significa que no se pudo generar un modelo de calidad, ya que el fenómeno en estudio no fue clasificado correctamente.

Como trabajo futuro se proponen tres líneas de desarrollo. Primero, mejorar los resultados de la predicción mediante la aplicación de técnicas como sobre muestreo de casos raros o cambiando los costos de la matriz de confusión. Segundo, tratar de caracterizar la curva de dilatación pupilar con diversas *features* como dilatación máxima y mínima contracción o velocidad y aceleración de la curva. Finalmente, se propone complementar el análisis de *eye-tracking* con el uso de un dispositivo de electroencefalografía (EEG), para analizar las ondas del cerebro y poder determinar qué es lo que está realmente pasando al momento de tomar decisiones de elección a un nivel más cognitivo.

Agradecimientos: Este trabajo fue financiado por el proyecto FONDEF-CONICYT IT13I20049 y por el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ICM: P-05-004-F, CONICYT: FBO16).

Referencias

- [1] J. Beatty. Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological bulletin*, 91(2):276, 1982.
- [2] M. Bradley, L. Miccoli, M.A. Escrig, y P.J. Lang. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4):602–607, 2008.
- [3] R. Bucklin y C. Sismeiro. A model of web site browsing behavior estimated on clickstream data. *Journal of marketing research*, 40(3):249–267, 2003.
- [4] G. Buscher, E. Cutrell, y M. Morris. What do you see when you're surfing?: using eye tracking to predict salient regions of web pages. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 21–30. ACM, 2009.
- [5] P. Chandon, W.J. Hutchinson, y S.H. Young. *Measuring the value of point-of-purchase marketing with commercial eye-tracking data*. INSEAD, 2001.
- [6] L.E. Dujovne y J.D. Velásquez. Design and implementation of a methodology for identifying website keyobjects. In *Proceedings of the 13th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, pages 301–308. KES, 2009.
- [7] L. González y J.D. Velásquez. Una aplicación de herramientas de eye-tracking para analizar las preferencias de contenido de los usuarios de sitios web. *Revista de Ingeniera de Sistemas*, 26(1):95–118, September 2012.
- [8] E. Hess y J. Polt. Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science*, 143(3611):1190–1192, 1964.
- [9] I. Krajbich, C. Armel, y A. Rangel. Visual fixations and the computation and comparison of value in simple choice. *Nature Neuroscience*, 13(10):1292–1298, 2010.
- [10] P. Lang, M. Bradley, y B. Cuthbert. International affective picture system (iaps): Technical manual and affective ratings, 1999.
- [11] P. Loyola, G. Martínez, y J.D. Velásquez. Caracterizando los patrones de la mirada del usuario web: Una aproximación basada en teoría de grafos. *Revista de Ingeniera de Sistemas*, pages 87–107, 2014.

- [12] P. Loyola, P.E. Román, y J.D. Velásquez. Predicting web user behavior using learning-based ant colony optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(5):889–897, 8 2012.
- [13] P. Loyola y J.D. Velásquez. Characterizing web user visual gaze patterns: A graph theory inspired approach. In Dominik Slezak, Ah-Hwee Tan, JamesF. Peters, y Lars Schwabe, editors, *Brain Informatics and Health*, volume 8609 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 586–594. Springer International Publishing, 2014.
- [14] W. Moe y P. Fader. Capturing evolving visit behavior in clickstream data. *Journal of Interactive Marketing*, 18(1):5–19, 2004.
- [15] A. Montgomery, S. Li, K. Srinivasan, y J. Liechty. Modeling online browsing and path analysis using clickstream data. *Marketing Science*, 23(4):579–595, 2004.
- [16] E. Reutskaja, R. Nagel, C.F. Camerer, y A. Rangel. Search dynamics in consumer choice under time pressure: An eye-tracking study. *The American Economic Review*, pages 900–926, 2011.
- [17] S. A Ríos, J.D. Velásquez, E. Vera, H. Yasuda, y T. Aoki. Using sofm to improve web site text content. In *Advances in Natural Computation*, pages 622–626. Springer, 2005.
- [18] P. Román, G. L’Huillier, y J.D. Velásquez. Web usage mining. In *Advanced Techniques in Web Intelligence-I*, pages 143–165. Springer, 2010.
- [19] P. Román y J.D. Velásquez. Cognitive science for web usage analysis. *Advanced Techniques in Web Intelligence-2: Web User Browsing Behaviour and Preference Analysis*, 452:35, 2012.
- [20] P. Román y J.D. Velásquez. Cognitive science for web usage analysis. In *Advanced Techniques in Web Intelligence-2*, pages 35–73. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [21] P. Román, J.D. Velásquez, V. Palade, y L. Jain. New trends in web user behaviour analysis. In *Advanced Techniques in Web Intelligence-2*, volume 452 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 1–10. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [22] P.E. Román y J.D. Velásquez. A neurology-inspired model of web usage. *Neurocomputing*, 131:300–311, May 2014.

- [23] M. Schulte-Mecklenbeck, A. K'uhberger, y R. Ranyard. The role of process data in the development and testing of process models of judgment and decision making. *Judgment and Decision Making*, 6(8):733–739, 2011.
- [24] M. Spiliopoulou. Web usage mining for web site evaluation. *Commun. ACM*, 43(8):127–134, August 2000.
- [25] SR Research Ltd. *SR Research Experiment Builder User Manual*, 1.6.121 edition, 2004-2010.
- [26] SR Research Ltd. *EyeLink User Manual*, 1.4.0 edition, 2005-2008.
- [27] J. Srivastava, R. Cooley, M. Deshpande, y P. Tan. Web usage mining: Discovery and applications of usage patterns from web data. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 1(2):12–23, January 2000.
- [28] S.R. Steinhauer, G.J. Siegle, R. Condray, y M. Pless. Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *International Journal of Psychophysiology*, 52(1):77 – 86, 2004. Pupillometric Measures of Cognitive and Emotional Processes.
- [29] J.D. Velásquez. Web site keywords: A methodology for improving gradually the web site text content. *Intelligent Data Analysis*, 16(2):327–348, 2012.
- [30] J.D. Velásquez. Combining eye-tracking technologies with web usage mining for identifying website keyobjects. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 26(5-6):1469–1478, May 2013.
- [31] J.D. Velásquez, L.E. Dujovne, y G. L'Huillier. Extracting significant web-site key objects: A semantic web mining approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(8):1532–1541, 2011.

