

edmetic

Revista de Educación Mediática y TIC



Análisis del comportamiento en entornos de e-learning
Behavior analysis environments e-learning

Fecha de recepción: 23/10/2014

Fecha de revisión: 21/12/2014

Fecha de aceptación: 24/02/2015

Análisis del comportamiento en entornos de e-learning

Behavior analysis environments e-learning

Sérgio Gonçalves ¹, Davide Carneiro ², Florentino Fdez-Riverola ³ y Paulo
Novais ⁴

Resumen

La evaluación representa un aspecto determinante en la elaboración de estrategias de éxito durante el aprendizaje. En un contexto presencial, el docente puede observar el comportamiento de sus alumnos e identificar diferentes vías que faciliten la evaluación sin inducir al estrés, evitando las consecuencias negativas de éste en el resultado del aprendizaje. Sin embargo, en entornos de aprendizaje con e-Learning el contacto directo resulta imposible y, por lo tanto, deben existir formas alternativas que faciliten tanto la detección como la prevención de situaciones de estrés durante la evaluación. Resulta por tanto conveniente el análisis del estrés y la determinación de estrategias para la resolución de problemas derivados de su aparición. En este trabajo se propone un módulo de análisis de estrés para su aplicación durante la evaluación on-line de los alumnos, que es capaz de indicar al docente los instantes de tiempo más propicios para intervenir así como los contenidos que causan mayores dificultades. De esta forma, el educador podrá asistir de forma eficaz a aquellos alumnos que más lo necesiten.

Palabras Clave

Enseñanza a distancia, inteligencia artificial, estrés, rendimiento típico

¹ Informatics Department, University of Vigo, Ourense (Spain). sgoncalves@alumnos.uvigo.es

² Department of Informatics/CCTC, University of Minho, Braga (Portugal). dcarneiro@di.uminho.pt

³ Informatics Department, University of Vigo, Ourense (Spain) riverola@uvigo.es

⁴ Informatics Department, University of Vigo, Ourense (Spain). pjon@di.uminho.pt⁴

Abstract:

The evaluation is a determining factor in developing successful strategies for learning. In a classroom context, the teacher can observe the behavior of students and identify different ways to facilitate the assessment without inducing stress, avoiding the negative consequences of this on the result of learning. However, in learning environments eLearning direct contact is impossible and, therefore, there should be alternative ways to provide both detection and prevention of stress during the evaluation. It is therefore appropriate stress analysis and identification of strategies for solving problems arising from its appearance. In this work, a stress analysis module for use is proposed for the online student assessment, which is capable of indicating to the teaching moments more propitious time to intervene and the contents that cause greater difficulties. In this way, the teacher can effectively assist students who need it most.

Key Words:

Distance learning, artificial intelligence, stress, typical performance

1. Introducción

Las relaciones entre el profesor y los alumnos es un aspecto fundamental para lograr el éxito del aprendizaje, tanto por parte del alumno como del profesor, representando además uno de los principales aspectos que ayuda a determinar el éxito o fracaso del trabajo llevado a cabo por un docente. Las relaciones consideradas positivas, tanto a nivel de respeto como de empatía, destacan todas las capacidades de los alumnos y nos comprometen durante todo el proceso de aprendizaje (Hamre et al., 2006).

Existen diversos estudios que avalan el hecho de que una relación positiva entre el profesor y el alumno, medida por ejemplo en cantidad de conflictos, grado de proximidad, apoyo y dependencia, se encuentra directamente relacionada con una mayor y más fácil adaptación a la escuela, un aumento de competencias sociales y, no menos importante en este estudio, una mejora en los resultados académicos (Battistich et al., 2004; Birch y Ladd, 1998). Por otra parte, los docentes entienden que estas relaciones consideradas positivas, tienen como consecuencia una reducción en los niveles de absentismo escolar y en el aumento de los niveles de cooperación y motivación de los alumnos (Klem y Connell, 2004; Perry y Weinstein, 1998). (Crosnoe et al., 2004) demuestran que existe una mejoría en los resultados académicos y en la reducción de los problemas de disciplina. A mayores de los estudios comentados anteriormente, existen otros que abordan la importancia de las relaciones profesor-alumno e incluso la definición de la personalidad y de su desarrollo cognitivo (Davies, 2003).

Teniendo en cuenta el momento de crisis económica en la que muchos países se encuentran, resulta fácil percibir que medidas como el aumento del ratio de alumnos por clase y la carga de trabajo burocrático a la que muchas veces el profesor se ve sometido, tienden a degradar tanto la calidad de las relaciones (Hayes, 1997) como el tiempo del que el docente dispone para invertir en una relación positiva como la anteriormente comentada. Por otro

lado, los procesos de comunicación están en continua evolución y tienen lugar en un mayor número de plataformas on-line a través de herramientas de e-Learning. Este tipo de herramientas presentan todavía deficiencias inherentes que no hacen posible la existencia de un entorno rico a nivel de comunicación entre profesor y alumno.

En el presente trabajo se presentan vías que pretenden solucionar las deficiencias mencionadas anteriormente. En este sentido, es de esperar que la tecnología que separa físicamente las relaciones humanas, alcance niveles de desarrollo semejantes a los que existen en los métodos tradicionales de enseñanza presencial, manteniendo las ventajas de la utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Para conseguir este objetivo, resulta necesario el estudio y la combinación de diferentes áreas de conocimiento como son *Behavioral Biometrics* (Yampolskiy y Govindaraju, 2008), *Ambient Intelligence* (Aarts y Wichert, 2009) y *Behaviorism* (Bouton, 2009) con el fin de desarrollar una clasificación de estados de los alumnos durante su interacción con el ordenador, y más específicamente, con las plataformas de e-Learning.

1.1. e-Learning 3.0

Aunque la Web 3.0 aún se encuentre todavía en fase de desarrollo, todos los indicadores apuntan a su integración con la Inteligencia Artificial. La Web 2.0 da soporte a la creación de contenidos a gran escala que, en la mayoría de las ocasiones, son almacenados y pocas veces se utilizan por otros usuarios. Es en este punto donde el concepto de Web 3.0 y su relación con la Inteligencia Artificial juega un papel fundamental.

El concepto que soporta la Web 3.0 está basado en aplicaciones web capaces de aportar un valor añadido al usuario, proporcionándole información precisa y fidedigna. La idea de conocimiento en cualquier momento y lugar resulta de extrema importancia en la actualidad, máxime con la proliferación de diferentes dispositivos fijos y móviles. De esta forma, la

interoperabilidad entre diferentes plataformas de recursos y distinto tipo de dispositivos se debe tener muy en cuenta.

Con el fin de poder entender correctamente el concepto y la potencialidad del e-Learning 3.0, se debe valorar en su justa medida los siguientes aspectos:

- Considerar que la Web 3.0 consistirá en “Leer/Escribir/Colaborar”. El e-Learning 3.0 poseerá cuatro puntos clave: computación distribuida, tecnología móvil inteligente, filtros inteligentes y colaborativos y visualización e interacción 3D. La computación distribuida y la combinación con las tecnologías móviles permiten a los usuarios estar más cerca de los conceptos “en cualquier lugar e a cualquier hora”, proporcionando además soluciones inteligentes de búsqueda, gestión de documentos y organización de contenidos (Wheeler, 2009).
- Jonh Moravec (Moravec, 2008) afirma que el e-Learning 3.0 debe ser construido con base social y reinventado teniendo en cuenta el contexto. La enseñanza será constructivista. El centro del aprendizaje pasará de “qué aprender” a “cómo aprender”. El papel central será de la tecnología, que soporta todo el conocimiento, pero de forma invisible para los usuarios. La tecnología estará en segundo plano soportando el conocimiento.
- Existen investigadores que consideran que el conocimiento que puede ser procesado de forma automática será la base para que las herramientas Web 3.0 usen e interpreten la información, beneficiando a los autores de contenidos y a los educadores. Existirán plataformas de e-Learning 3.0 que se adaptarán a cada uno de los alumnos de forma particular (Coutinho, Pereira and Bottentuit Jr. 2009).

1.2. Entornos Virtuales: CARENCIAS

Una comunicación eficiente entre profesor y alumno es uno de los requisitos necesarios para conseguir un proceso de aprendizaje efectivo, de hecho, el estudiante necesita transmitir información al profesor relacionada con el aprendizaje y las metodologías empleadas en su consecución. Cuando el aprendizaje tiene lugar físicamente dentro del aula, el profesor recibe de forma inmediata feedback de las reacciones que los alumnos van mostrando, así como de sus comportamientos y actitudes.

Este modo tradicional de relación está cambiando poco a poco debido a la aparición de nuevas plataformas de comunicación que nacen como respuesta a las necesidades de movilidad, en particular los Entornos Virtuales (*Virtual Environments* – VEs), que surgen en el área de la educación y están teniendo bastante éxito.

Los VEs persiguen la disminución de las distancias entre las personas, aunque de forma virtual. En este sentido, presentan numerosos aspectos positivos, aunque no están ausentes de algunas desventajas, en particular en el dominio del e-Learning.

Blascovich (Blascovich et al. 2002) define los VEs como un conjunto de información sintética y sensorial que conduce a la percepción de entornos y contenidos como si estos no fueran sintéticos. En otras palabras, los VEs pueden ser vistos como entornos de simulación que, en cierta forma, tratan de simular entornos reales. Su principal objetivo es el de implementar, permitir y soportar algún tipo de interacción entre participantes. Las áreas típicas de aplicación de los VEs son la enseñanza en el aula, enseñanza informal, aprendizaje a distancia, comercio electrónico, juegos, simulación de vida real o sistemas de resolución de conflictos.

A pesar de una gran aceptación y utilización, las evoluciones tecnológicas que representan cambios muy significativos deben ser consideradas siempre con cierto cuidado. En este sentido, actualmente los VEs aún no son un sustituto de la comunicación personal (cara a cara), ni en el caso de un entorno de aprendizaje tradicional.

En la actualidad, un VE aún se percibe como algo “frio” o “distante” cuando se evalúa desde la perspectiva de las emociones u otros aspectos más complejos de las relaciones humanas. En este contexto, un aspecto fundamental es el del lenguaje corporal. Cuando interaccionamos en nuestro día a día, inconscientemente hacemos uso de nuestro lenguaje corporal para expresarnos de forma más enriquecedora. Mehrabian (Mehrabian, 1980), concluye que en la comunicación cara a cara existen tres elementos clave: las palabras, el tono de voz y el comportamiento no verbal. Además, concluye también que los elementos no verbales son de gran importancia en la comunicación de sentimientos y actitudes, afirmando que constituyen la mayoría de la información transmitida. En definitiva, la forma en la que las palabras son pronunciadas es más importante que las palabras en sí.

En la misma línea de investigación (Dodds, Mohler y Bülhoff 2011), concluyen que la falta de información gestual entre el emisor y el receptor limita el éxito del proceso de comunicación en un VE. Los autores demuestran a través de un experimento que el lenguaje corporal resulta fundamental para transmitir información, pero también resulta importante para recibir el feedback de esa transmisión, es decir, para comprender si una comunicación determinada se está llevando a cabo de forma correcta o se deben tomar iniciativas para garantizar el éxito en la comunicación.

La falta de feedback de un entorno así como de contenido significativo, son desventajas apuntadas también por otros investigadores (Campbell 1997; Costalli et al. 2001).

Para abordar esta situación existen diversos enfoques. Recientemente, (Alsina-Jurnet y Gutiérrez-Maldonado, 2010) analizaron la influencia de cinco características de los usuarios: ansiedad, inteligencia espacial, inteligencia verbal, personalidad y experiencia en el manejo de ordenadores. También (Rehm, Bee, y André, 2008) presentan la idea del análisis de comportamientos de los usuarios en el ámbito de sus antecedentes culturales, usando para ello acelerómetros que analizan los patrones de expresividad de los gestos

encuadrados en un modelo basado en dimensiones culturales. (Jaimes y Sebe, 2007) presentan el concepto de interacción multi-modal como siendo una forma de comunicación entre humanos y ordenadores utilizando más de un canal de comunicación (p.ej., el discurso, gestos o escritura).

Otro punto importante es también el aspecto de afectividad de la comunicación (Beale y Creed, 2009; Hudlicka 2003). Las emociones surgen en casi todos los modelos de comunicación humana en forma de expresiones faciales, gestos, tono de voz, tasa de respiración, temperatura corporal, etc. Una vez más, y dependiendo de las emociones, lo que es importante no es lo que se dice, sino cómo se dice.

Tal y como comenta (Picard, 2000), el reconocimiento del afecto es más preciso cuando combina diferentes formas, información sobre el usuario o su contexto, el objetivo y las preferencias.

La importancia del estrés en la definición de un VE debe ser también tomada en consideración. Evidentemente, el estrés es un factor de extrema importancia en la comunicación interpersonal de la misma manera que cualquier otro aspecto en nuestra vida. Sin embargo, los VEs actuales presentan carencias en cuanto a la existencia de modelos de análisis de estrés. Este hecho constituye un enorme obstáculo en la comunicación entre usuarios.

Todos los aspectos mencionados anteriormente, presentes en cualquier VE, son de gran importancia en el e-Learning puesto que tienen influencia directa en el rendimiento de los estudiantes. Generalmente, un profesor toma como base las relaciones de proximidad e interacciones diarias con los estudiantes tanto para evaluar el estado del aprendizaje como su evolución. De este modo, el profesor no se basa exclusivamente en los resultados cuantitativos de las pruebas realizadas. Toma como referencia los diálogos diarios, las acciones y reacciones de los alumnos, su comportamiento dentro y fuera del aula y otros aspectos de índole contextual que tradicionalmente son de extrema importancia pero que, en las soluciones tecnológicas, resultan

completamente secundarios.

Un profesor conoce a sus alumnos y sus particularidades únicas de comportamiento durante el proceso de aprendizaje. Esta proximidad resulta, en la actualidad, imposible de alcanzar en el e-Learning. Por un lado, este aspecto conlleva una dificultad añadida para que el profesor pueda conocer de forma correcta el estado y las necesidades de los estudiantes, a mayores de que el propio estudiante percibe esa distancia, lo que puede conllevar una sensación de abandono y disminución de la motivación para aprender.

De este modo, las plataformas de e-Learning en su estado actual distan bastante de las necesidades en términos de obtención de información contextual en la relación profesor-alumno. Esta es la motivación para el desarrollo de una forma no invasiva para la adquisición de información de contexto, en particular para el conocimiento de los niveles de estrés de los estudiantes durante la utilización de la plataforma de e-Learning, dado que el estrés resulta un punto determinante en el rendimiento de los alumnos.

Facilitando información de este tipo al profesor, se posibilita una mejor comprensión de los resultados de las evaluaciones, pero más importante todavía es el hecho de que se permite conocer y comprender cómo le afectan a cada alumno determinadas cuestiones particulares. Resulta por lo tanto posible, adecuar las metodologías de enseñanza, los objetivos y los procesos en aquellos casos en los que se crea conveniente.

Las plataformas de e-Learning disponen de un conjunto numeroso de herramientas de trabajo (actividades, recursos, soporte para evaluación, foros de discusión, etc.) sin embargo, el feedback que se proporciona al usuario y al evaluador sobre cómo discurre el proceso de aprendizaje es algo aún por conseguir para poder afirmar que se dispone de sistemas perfectos de aprendizaje.

El análisis del estrés en la utilización de un entorno de e-Learning es una de las carencias que presentan este tipo de sistemas. No es posible evaluar cómo reacciona el alumno ante una determinada prueba de evaluación, ni

se consigue percibir cuáles son sus dificultades y limitaciones con el fin de poder dar una respuesta adecuada y lograr así obtener unos niveles de éxito aceptables en su aprendizaje.

2.- Materiales y Métodos

Como se comentó con anterioridad, el principal objetivo de este trabajo es el estudio de los efectos del estrés durante la utilización de plataformas de e-Learning (como Moodle) y no tanto los resultados cuantitativos de los estudiantes. En concreto, se persigue la detección de estrés mediante el análisis de cambios de comportamiento basado en patrones de interacción en la plataforma Moodle.

Para la realización del presente trabajo, cada estudiante tuvo que realizar una determinada actividad en dos escenarios diferentes. Para cada escenario se recogen datos de utilización de dos periféricos empleados por los estudiantes para interactuar con la plataforma Moodle: el ratón y el teclado.

En el estudio participaron 6 grupos diferentes y fueron recogidos datos en 12 instantes de tiempo, uno para cada grupo y cada escenario. En el estudio participaron un total de 74 estudiantes (49 hombres y 25 mujeres) con edades comprendidas entre los 13 y 17 años.

Los datos recogidos fueron analizados con el fin de constatar diferencias estadísticamente significativas entre los escenarios bajo estudio. A mayores, se efectuaron cálculos de medidas de tendencia central y varianza para todas las variables de interés.

Teniendo en cuenta que las distribuciones existentes no se ajustaban a la normalidad, se utilizó el test estadístico Mann-Whitney-Wilcoxon (Mann y Whitney, 1947) para validar las diferencias entre las distribuciones de los datos de los dos escenarios propuestos. Este test fue propuesto inicialmente por F. Wilcoxon en el año 1945 para comparar tendencias centrales de dos muestras independientes de igual tamaño.

2.1. Caso de estudio

Uno de los momentos fundamentales en todo proceso de evaluación consiste en la realización de pruebas o actividades por parte de los usuarios del entorno de e-Learning, lo que conlleva una calificación que será tomada en cuenta de forma directa para evaluar su desempeño como alumnos.

La realización de actividades en la plataforma Moodle resulta bastante intuitiva y no presenta condicionantes para los alumnos que han formado parte del presente estudio. Sin duda alguna, los estudiantes que participaron en este estudio demostraron una destreza suficiente y facilidad de navegación por las distintas páginas que les fueron presentadas, lo que permite descartar cualquier condicionante que pudiese ser tenido en cuenta en una utilización normal de la plataforma, y que indujese a los usuarios una situación de estrés permanente.

Como se comentó anteriormente, durante la recogida de datos se presentaron dos tipos diferentes de escenarios. En el escenario A se llevó a cabo una tarea en la que a los alumnos se les presentaba una actividad de consolidación de conocimientos, que puede ser entendida como una revisión de los conceptos vistos a lo largo de un período de tiempo dado.

La actividad A fue llevada a cabo por los alumnos sin que el profesor estableciera ningún condicionante para su realización. Simplemente se solicitaba que, en el entorno de e-Learning con el que los alumnos estaban familiarizados, realizaran la actividad propuesta.

Durante la realización de este tipo de actividades, se observó que todo el proceso transcurrió sin ningún sobresalto y sin interrupciones, llevándose a cabo de forma bastante rápida y eficiente, lo que denota una concentración alta y un compromiso considerable.

Cada uno de los alumnos pudo, al final de la actividad y después de enviar las respuestas, analizar sus respuestas para darse cuenta de los errores cometidos y comparar con los recursos facilitados por el profesor, que se

encontraban disponibles para su consulta en la plataforma Moodle.

En el escenario B se solicitó la realización de otra actividad distinta (actividad B). En este caso, el profesor después de un diálogo con los alumnos sobre el tipo de evaluación a la que iban a ser sometidos, y tomando como base las respuestas de los alumnos en la actividad A, comentó las características de esta nueva prueba de evaluación.

En este momento surgió alboroto en el aula, pues la utilización de la expresión "actividad de evaluación" trajo consigo cierta impaciencia y nerviosismo en los alumnos. A esto, se sumó el hecho de que la prueba contaría para la evaluación de la materia. A mayores de los condicionantes anteriormente comentados, se transmitió información de que existiría un tiempo límite para la realización de la prueba, tiempo que debería ser gestionado de forma correcta por los alumnos para que no fueran sorprendidos por el final del test.

Después de conocer la información oportuna, los alumnos comenzaron con la realización de la actividad B utilizando la clave suministrada por el profesor. Durante el tiempo que duró la tarea, se notó una gran impaciencia por parte de algunos alumnos. El ruido en el aula se volvió más audible que en el caso de la actividad A.

Durante el transcurso de la actividad, el profesor fue alertando constantemente a los alumnos de la importancia de los resultados de la prueba y de la necesidad de que contralaran el tiempo disponible.

Al final del tiempo preestablecido, se constató que algunos alumnos resultaron sorprendidos por el final de la actividad, así como que existía gran desilusión por no haber respondido a todas las preguntas de manera razonada y concentrada.

El estrés evidenciado por algunos alumnos fue evidente. Algunas de las razones argumentadas por los alumnos revelaron esta situación, siendo los factores más comentados los siguientes:

- La limitación del tiempo disponible.

- El ruido existente.
- Las constantes intervenciones del profesor.
- La existencia de una clave de acceso a la actividad.
- El peso en la evaluación de los resultados obtenidos.

La actividad realizada era bastante semejante a la inicialmente propuesta, aunque se notó que debido a los factores condicionantes, algunas respuestas que inicialmente fueron resueltas de forma correcta, en una segunda fase fueron realizadas de forma incorrecta o incompleta.

Para entender mejor el proceso desarrollado, las Figuras 1 y 2 resumen el esquema de trabajo llevado a cabo en ambas actividades.

Las principales funcionalidades proporcionadas por la herramienta son las siguientes:

- Selección de la ubicación del fichero de *log*.
- Selección del usuario que realiza la interacción.
- Presentación de los movimientos del ratón y el teclado.

Todas las operaciones del usuario son almacenadas y se monitorizan los movimientos del ratón y la utilización del teclado. Con los métodos implementados se construye un fichero de log, en el que cada línea tiene la siguiente estructura:

Utilización del teclado:

[KD/KU],[Tiempo en milisegundos], [Pos X],[Pos Y]

En el que: KD - presionar una tecla, KU – soltar una tecla

Movimientos del ratón:

[MV/MW/MD/MU],[Tiempo en milisegundos],[Pos X],[Pos Y]

[MD/MU],[Tiempo en milisegundos],[LEFT|RIGHT], [Pos X],[Pos Y]

En el que: MV – Movimiento del ratón, MW – Movimiento de scroll del ratón,

MD – Presionar un botón del ratón, MU – Soltar un botón del ratón



Figura 1 - Proceso de recogida de datos – escenario A



Figura 2: Proceso de recogida de datos - escenario B.

Fuente: Elaboración propia

Para cada interacción del usuario con la plataforma de e-Learning, la herramienta de recogida de datos efectúa el registro de ese movimiento con el ratón o acción con el teclado. En el registro se almacena información relativa al tipo de movimiento y las coordenadas en las que la acción tuvo lugar, además del instante de tiempo en el que ocurrió.

Dado el elevado número de movimientos de tipo MV (uno por cada pixel de desplazamiento del ratón), estos son registrados en intervalos de tres. De este modo se tiene una precisión elevada en relación a los movimientos del ratón, pero reduciendo de forma sustancial la cantidad de información registrada.

2.1.1 Parámetros estudiados

Durante todo el proceso de análisis, resulta fundamental definir parámetros adecuados para la elaboración de conclusiones sólidas. De este modo, los datos almacenados permiten recoger información acerca de las siguientes características:

Tiempo presión de tecla – intervalo de tiempo entre 2 eventos consecutivos KEY DOWN y KEY UP ejecutados en el teclado.

Tiempo entre utilización de las teclas – intervalo de tiempo entre 2 eventos consecutivos KEY UP y KEY DOWN, es decir, cuánto tiempo tardó el usuario en presionar otra tecla.

Velocidad – distancia recorrida por el ratón (píxeles) a lo largo del tiempo (milisegundos). La velocidad se calcula para cada intervalo definido por 2 eventos consecutivos MOUSE UP y MOUSE DOWN.

Se asume que se llevan a cabo 2 eventos consecutivos MOUSE UP y MOUSE DOWN, mup y mdo , en las coordenadas $(x1, y1)$ y $(x2, y2)$ respetivamente, que tienen lugar en los instantes de tiempo $t1$ y $t2$. Se asumen además dos vectores $posx$ y $posy$, de tamaño n , que almacenan las coordenadas de 2 eventos consecutivos MOUSE MOV entre mup y mdo . La velocidad entre dos clics viene determinada por $\frac{r_dist}{(t2-t1)}$, en la que r_dist representa la distancia recorrida por el ratón, calculada según la Ecuación 1.

$$r_dist = \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{(posx_{i+1} - posx_i)^2 + (posy_{i+1} - posy_i)^2}$$

Ecuación 1 – Distancia entre 2 clics

Aceleración – la velocidad del ratón (píxeles/milisegundos) a lo largo del tiempo (milisegundos). El valor de la aceleración se calcula para cada intervalo definido por 2 eventos consecutivos MOUSE DOWN y MOUSE UP, utilizando para ello los intervalos y los datos calculados para la funcionalidad Velocidad.

Tiempo entre clics – intervalo de tiempo entre 2 eventos consecutivos de

MOUSE UP y MOUSE DOWN. Determina el tiempo que el estudiante tardó en llevar a cabo un nuevo clic con el ratón.

Duración de doble clic – Intervalo de tiempo entre 2 eventos consecutivos de MOUSE UP, siempre que este tiempo sea inferior a 200 milisegundos. Los intervalos superiores no son considerados como doble clic.

Exceso medio de distancia – medida de exceso medio de distancia recorrida por el ratón entre 2 eventos consecutivos de MOUSE UP y MOUSE DOWN.

Se asumen 2 eventos consecutivos MOUSE UP y MOUSE DOWN, mup y mdo , con coordenadas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) . Para el cómputo de esta característica se mide primero la distancia en línea recta entre las coordenadas de mup y mdo , $s_dist = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$. Se mide a mayores la distancia recorrida por el ratón, sumando la distancia entre 2 eventos consecutivos MOUSE MV. Teniendo 2 vectores $posx$ y $posy$ de tamaño n que almacenan las coordenadas de los eventos MOUSE MV entre mup y mdo , la distancia recorrida por el ratón se calcula mediante la Ecuación 1. El exceso medio de distancia entre dos clics consecutivos se obtiene del cálculo r_dist/s_dist .

Distancia media del ratón a la línea recta – mide la distancia media del ratón en relación a la línea recta definida por 2 clics consecutivos.

Se asumen 2 eventos consecutivos MOUSE UP y MOUSE DOWN, mup y mdo , con coordenadas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) . Se asumen además 2 vectores $posx$ y $posy$, de tamaño n , que almacenan las coordenadas de 2 eventos consecutivos MOUSE MOV entre mup y mdo . El sumatorio de las distancias entre cada posición y una línea recta definida por los puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) se obtiene mediante la ecuación en que $ptLineDist$ devuelve la distancia entre el punto especificado y el punto más próximo de la línea recta definida por (x_1, y_1) y (x_2, y_2) . La media de la distancia del ratón en relación a la línea recta definida por dos clics consecutivos se obtiene mediante $\frac{s_dists}{n}$.

$$s_dists = \sum_{i=0}^{n-1} ptLine\ Dist(posx_i, posy_i)$$

Ecuación 2 – Distancia entre 2 eventos consecutivos

Distancia del ratón a la línea recta – funcionalidad semejante a la descrita en el punto anterior puesto que el valor de *s_dists* se calcula entre 2 eventos consecutivos MOUSE UP y MOUSE DOWN, *mup* y *mdo*, de acuerdo con la Ecuación 2. Sin embargo, el valor devuelto es la suma en lugar de la media, como ocurría en el caso anterior.

Suma de ángulos – con esta funcionalidad el objetivo es determinar si el movimiento llevado a cabo revela una tendencia más a la “izquierda” o a la “derecha”.

Se asumen 3 eventos consecutivos MOUSE MOVE, *mov1*, *mov2* y *mov3*, en las coordenadas (x_1, y_1) , (x_2, y_2) y (x_3, y_3) . El ángulo α entre la primera línea (definida por (x_1, y_1) y (x_2, y_2)) y la segunda línea (definida por (x_2, y_2) y (x_3, y_3)) se obtiene mediante $degree(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3) = \tan(y_3 - y_2, x_3 - x_2) - \tan(y_2 - y_1, x_2 - x_1)$. Se asumen además 2 eventos consecutivos MOUSE UP y MOUSE DOWN, *mup* y *mdo*. Teniendo 2 vectores *posx* y *posy* de tamaño *n* que almacenan las coordenadas de los eventos MOUSE MOV realizados entre *mup* y *mdo*, la suma de los ángulos entre estos dos clics se calcula mediante la Ecuación 3.

$$s_angle = \sum_{i=0}^{n-2} degree(posx_i, posy_i, +posx_{i+1}, posy_{i+1}, posx_{i+2}, posy_{i+2})$$

Ecuación 3 – Suma de ángulos entre dos clics

Suma de ángulos, valor absoluto – muy parecida a lo comentado anteriormente. Sin embargo, el objetivo final en este caso es conocer el número de veces que el ratón cambió de dirección, independientemente de su sentido. En concreto, la única diferencia es la de utilizar el valor absoluto obtenido por la aplicación de la función $degree(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$, tal y como muestra la Ecuación 4.

$$s_angle = \sum_{i=0}^{n-2} |degree(posx_i, posy_i, +posx_{i+1}, posy_{i+1}, posx_{i+2}, posy_{i+2})|$$

Ecuación 4 – Valor absoluto de la suma de ángulos entre dos clics

Distancia entre clics – representa la distancia total recorrida por el ratón entre 2 clics consecutivos, es decir, entre 2 eventos MOUSE UP y MOUSE DOWN.

Se asumen 2 eventos consecutivos de MOUSE UP y MOUSE DOWN, *mup* y *mdo*, en las coordenadas (*x1*, *y1*) y (*x2*, *y2*), respetivamente. De igual modo, se asumen 2 vectores *posx* y *posy* de tamaño *n* que almacenan las coordenadas de los movimientos consecutivos MOUSE MOV entre *mup* y *mdo*. La distancia total recorrida por el ratón viene determinada por la Ecuación 1.

3. RESULTADOS

En esta sección se realiza un análisis detallado de cada una de las características descritas en el apartado anterior, para las cuales se presenta los resultados obtenidos.

El objetivo es la identificación de comportamientos comunes a todos los participantes. Para hacer posible este análisis, se calculó la media para los valores de cada característica por cada estudiante. Estos datos se combinaron posteriormente en un único conjunto para posibilitar su análisis simultáneo.

Tiempo de presión de tecla

Cuando se analiza el tiempo medio de presión de una tecla, la principal conclusión es que un estudiante que presenta estrés tiende a mantener presionadas las teclas un período corto de tiempo. En los datos recogidos en los experimentos el valor de esta característica para el escenario A fue de 102.85 ms., mientras que para el escenario B se obtuvo un valor de 97.8 ms. (Figura 3a). Esta tendencia se observó en un 70.5% de los estudiantes. Si se tiene en cuenta la mediana, la media baja de 98.5 ms. a 96.2 ms., mostrando una tendencia decreciente en un 68.9% de los casos analizados. Sin embargo,

estos valores no indican que el estudiante escriba más rápidamente en el escenario B (con estrés), sino que simplemente emplea menos tiempo cuando presiona las teclas.

Cuando se analiza la significancia de las diferencias entre las distribuciones del escenario A (escenario base) y el escenario B (con estrés) para cada uno de los estudiantes, solamente un 31% de los casos presentan comportamientos estadísticamente significativos. Pero de cualquier forma, la tendencia decreciente en el tiempo recogido para esta característica existe.

Tiempo entre utilización de las teclas

Este parámetro mide el tiempo empleado entre la pulsación de dos teclas, lo que define la velocidad de tecleo.

En el escenario A el estudiante emplea una media de 3 segundos entre la pulsación de dos teclas (2904.86 ms.). En situación de estrés, este tiempo aumenta hasta alcanzar los 5202.19 ms. Esta tendencia se observa en un 60% de los estudiantes cuando se analiza la media, y un 83.6% cuando se tiene en cuenta la mediana, donde se pasa de 449.156 ms. a 1979.51 ms.

Se puede por tanto afirmar que los estudiantes utilizan el teclado a menor ritmo en una situación de estrés, una vez que se identificaron diferencias significativas en el 54% de los casos analizados.

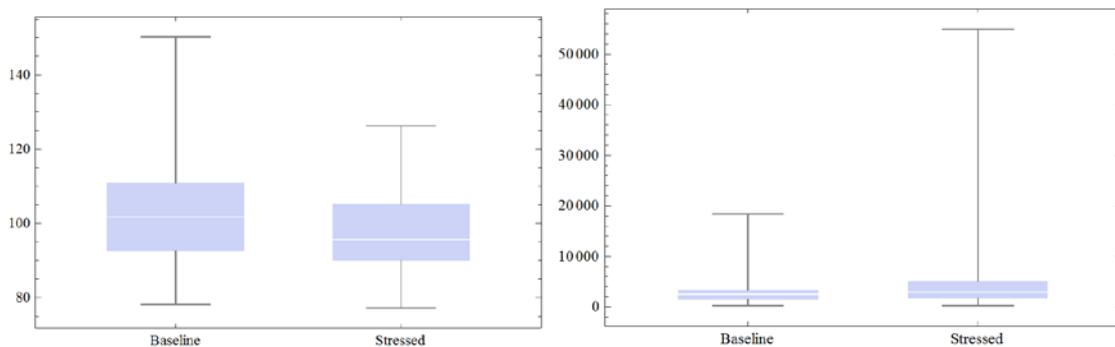


Figura 3 – (a) Tiempo medio de presión de una tecla. (b) Tiempo transcurrido entre la presión de dos teclas

Fuente: Elaboración propia

Aceleración

Aunque en un principio se podría pensar que cuando los estudiantes se encuentran en situación de estrés, sus movimientos de ratón son más rápidos, repentinos o involuntarios, los resultados apuntan precisamente en sentido inverso: la aceleración del ratón es menor bajo situaciones de estrés.

El valor medio de la aceleración entre dos clics consecutivos es, para el escenario A, de 0.532 px/ms^2 , bajando hasta los 0.449 px/ms^2 en el escenario B (Figura), lo que representa una diferencia de -0.083 px/ms^2 . Esta tendencia decreciente en el valor medio de la aceleración fue observada en el 77.42% de los estudiantes. El valor medio de la aceleración es de 0.2 px/ms^2 en el escenario A y de 0.169 px/ms^2 en el escenario B. El 87.1% de los estudiantes evidencian una disminución de los valores medios de aceleración, lo que apunta a una tendencia que puede ser generalizada en un elevado número de estudiantes.

Las diferencias observadas en el 77% de los estudiantes son estadísticamente significativas, hecho que apunta a que los estudiantes se ven afectados por el estrés.

Velocidad

Tal y como en el caso anterior, inicialmente sería razonable pensar en un aumento de la velocidad del ratón ante situaciones de estrés, sin embargo, ocurre justamente lo contrario: los movimientos del ratón fueron más lentos en los estudiantes sometidos a estrés. Se observó una disminución desde 0.58 px/ms . a 0.4 px/ms . en el valor medio de la velocidad entre 2 clics en el 77.4% de las muestras. La diferencia fue aún mayor en la mediana, puesto que la disminución de velocidad afectó al 90.3% de los estudiantes, bajando de 0.22 px/ms . a 0.189 px/ms . Tal y como ocurría en el caso de la aceleración, un elevado número de estudiantes demostró la misma tendencia para el caso de la velocidad, aunque las diferencias estadísticamente significativas fueron detectadas en el 81% de los estudiantes.

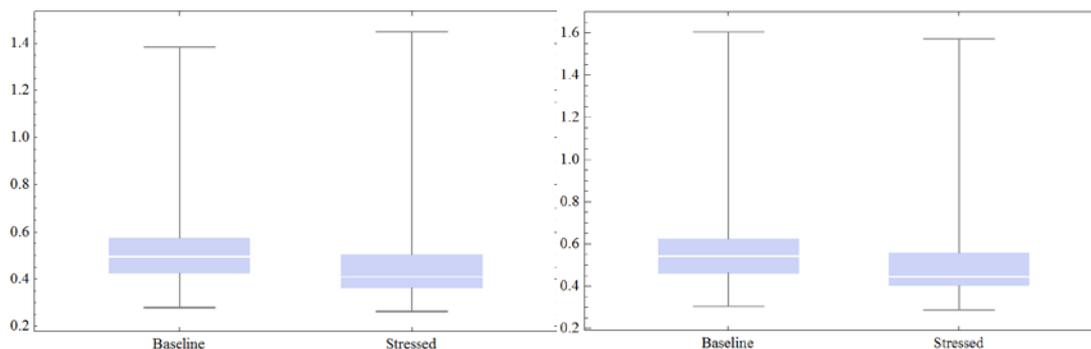


Figura 4 – (a) Tiempos de aceleración. (b) - Velocidad de movimiento

Fuente: Elaboración propia

Tiempo entre clics

El número de clics al que los estudiantes someten al ratón se ve afectado por los factores de estrés, pudiendo identificar claramente una tendencia: en situaciones de estrés se consume menos tiempo entre cada evento consecutivo de clic de ratón. En el escenario A, cada estudiante pasa aproximadamente 7 segundos sin efectuar ningún clic (7033 ms.), mientras que en situación de estrés (escenario B) ese valor disminuye casi 2 segundos, hasta alcanzar los 5104 ms. Esta tendencia fue observada en el 80.6% de los estudiantes (Figura 1a).

En cuanto a la mediana, el valor es de 3149.18 ms. para el escenario A, disminuyendo hasta los 2349.61 ms. en el escenario B. De este modo, la mediana disminuye en el 74.2% de las situaciones.

Sin embargo, si consideramos las diferencias más significativas para cada estudiante, solamente el 32% de las muestras presenta diferencias relevantes entre los dos escenarios. De esta forma, a pesar de existir una tendencia, esta no está claramente marcada.

Duración de doble clic

Dada la naturaleza de las actividades propuestas para la recogida de datos, en la que los estudiantes no tiene que llevar a cabo operaciones con doble clic de forma obligatoria, esta característica fue finalmente descartada del análisis.

Exceso medio de distancia

En situaciones de aumento de estrés, el exceso medio de distancia recorrida por el ratón disminuye. En esta característica se calcula la cantidad de pixeles que el ratón recorre en exceso entre dos clics, para cada pixel de desplazamiento realmente necesario. Se constató el hecho de que, en la mayoría de los casos, el movimiento del ratón se vuelve más preciso y eficiente en el escenario B (con estrés). En ausencia de estrés, el ratón presentó un exceso de 7.59 pixeles para cada pixel realmente necesario. En situaciones de estrés, el valor disminuyó hasta los 6.53 pixeles (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Sin embargo, solamente en el 61.29% de los estudiantes se observó este comportamiento. Existen, no obstante, un elevado número de estudiante que se vuelven menos eficientes y mueven más el ratón, lo que apunta a la conveniencia de disponer de modelos personalizados.

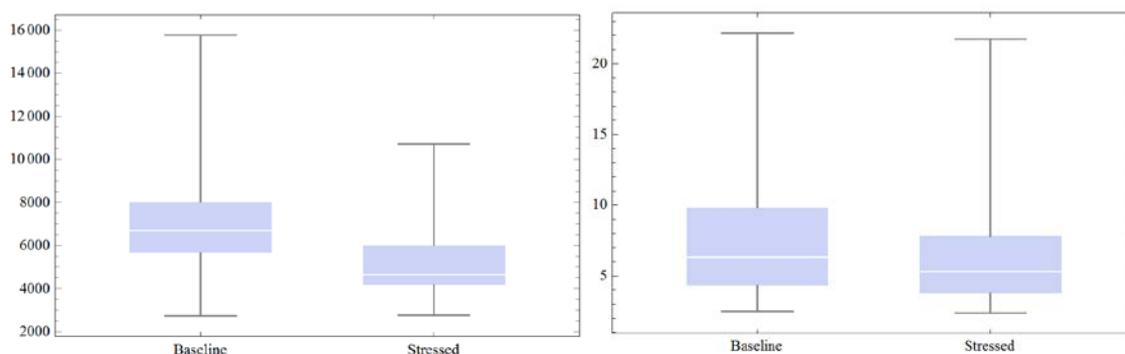


Figura 1 – (a) Tiempo entre clics del ratón. (b) - Exceso de distancia

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la mediana, los valores disminuyen de 1.96 pixeles a 1.68 pixeles para los escenarios A y B, respectivamente. Esta situación ocurre en el 69.35% de los casos analizados.

Distancia media del ratón a la línea recta

La distancia media del ratón a la línea recta definida por 2 clics consecutivos presenta una tendencia de disminución con el estrés, indicando que los estudiantes son más eficientes en la forma en la que mueven el ratón,

realizando movimiento en líneas más rectas para conseguir el objetivo deseado. El valor medio para todos los estudiantes fue de 59.85 píxeles en el escenario A, disminuyendo a 44.51 píxeles en el escenario B. Una disminución del 25.63% (Figura 6) en el 85.48% de los estudiantes. De igual forma, la mediana disminuyó en el 82.26% de los estudiantes, desde un valor de 30.14 píxeles hasta los 16.63 píxeles.

Distancia del ratón a la línea recta

Esta característica está relacionada con la anterior, aunque mide el valor total en lugar del valor medio. De esta forma, los valores obtenidos están en línea con los observados anteriormente. La suma de las distancias del ratón al punto más próximo en la línea recta entre dos clics es de 782.03 píxeles para el escenario A, disminuyendo a 549.752 píxeles en el escenario B (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El 87.1% de los estudiantes presenta un comportamiento semejante. El valor de la mediana también disminuyó desde 241.1 píxeles hasta los 104.07 píxeles en el 80.65% de los estudiantes.

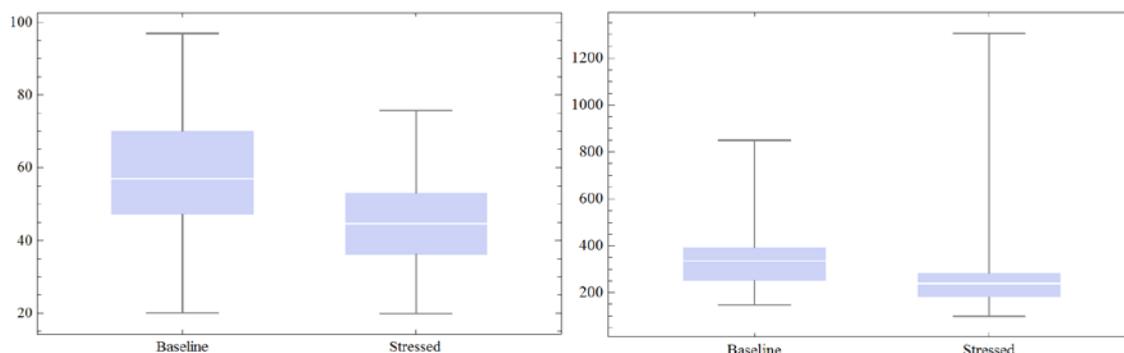


Figura 6 - (a) Distancia media del ratón a la línea recta. (b) Distancia del ratón a la línea recta

Fuente: Elaboración propia

Suma de ángulos

De la observación acerca de si el ratón se mueve más hacia la izquierda o hacia la derecha en situaciones donde existe estrés no se han extraído conclusiones relevantes. El estrés no parece tener influencia en esta característica, y los estudiantes tienden a utilizar el ratón más en la dirección

izquierda en los 2 escenarios, de forma independiente a si existen o no factores estresantes. Los valores recogidos apuntan a una media de -12.42 en el escenario A y de -10.43 en el escenario B (Figura 7).

Resulta complicado apuntar una razón para este hecho constatado en el comportamiento de los estudiantes, pero se puede asumir que podría ser debido a la naturaleza de la interfaz de las actividades propuestas. De la misma forma, la mediana también disminuye desde -6.55 hasta -2.6 para los escenarios A y B, respectivamente.

Suma de ángulos, valor absoluto

Los resultados de esta característica son intrigantes. En lugar de conocer el lado para el cual se mueve el ratón, se trata de averiguar cuántas veces el ratón se movió en una dirección. Sin estrés, entre dos clics la alteración de movimiento tuvo lugar de media 8554.4, mientras que con estrés el valor disminuyó a 5119.75, lo que representa una disminución de 64.64 entre cada 2 clics (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). El 69.35% de los estudiantes presentan ese comportamiento. El valor de la mediana, también disminuyó de 6598.54 a 3134.04 para los escenarios A y B, respectivamente.

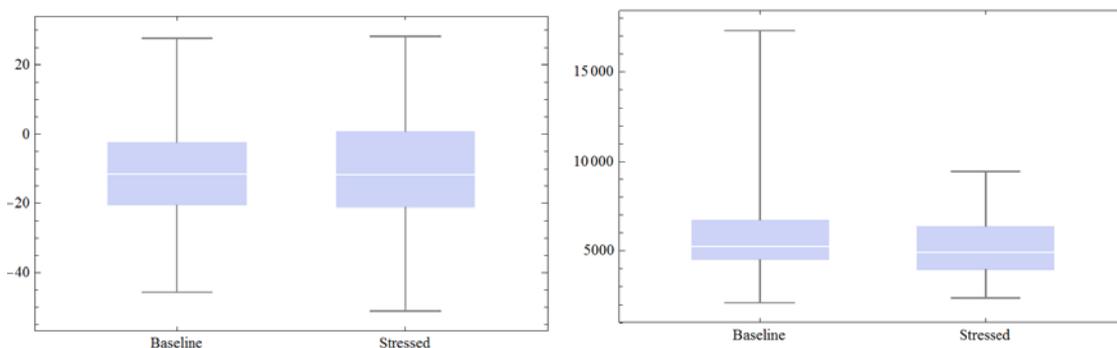


Figura 7 - (a) Suma de ángulos. (b) Suma de ángulos, valor absoluto

Fuente: Elaboración propia

Distancia entre clics

La distancia total recorrida por el ratón entre dos clics consecutivos también presenta una disminución como consecuencia del estrés. De media, el ratón

de un alumno sin estrés se movió 342.61 píxeles entre cada 2 clics consecutivos. Este valor disminuyó en 92 píxeles para alcanzar los 250.64 píxeles en el caso de sufrir estrés, es decir, una disminución media del 27% (Figura 8). El 85.5% de los estudiantes presentan este comportamiento. El valor de la mediana también disminuyó para el 87.1% de los estudiantes, pasando de 186.5 píxeles a 103.5 píxeles.

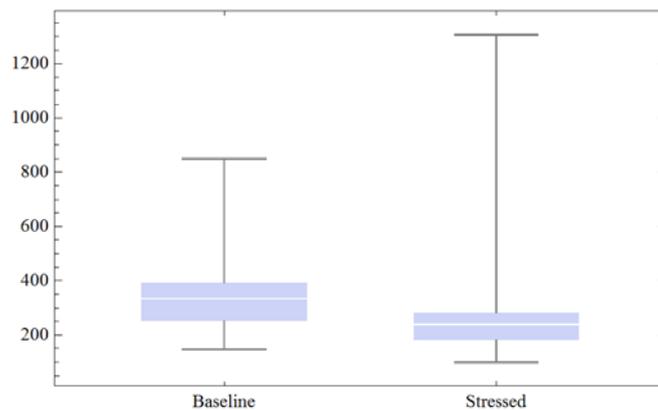


Figura 8 – Distancia entre clics

Fuente: Elaboración propia

3.1. Análisis de Resultados

Durante el desarrollo del presente estudio se encontraron dos tipos de comportamientos que, por su frecuencia en un variado número de alumnos, pueden ser considerados como casos-tipo. En este sentido se considera que, a pesar de que los modelos genéricos podrían funcionar, su personalización debe ser considerada para lograr una mejora en el éxito de los resultados, hecho que queda patente en las diferencias de comportamiento encontradas.

“Eficiente y concentrado”

Este caso es un excelente ejemplo de un comportamiento habitual observado en el presente trabajo: en situación de estrés, los estudiantes tienden a ser más eficientes y estar más centrados en las tareas que llevan a cabo. El ratón se mueve y se utiliza cerca de las áreas en las que están colocados los controles

que permiten responder a las preguntas planteadas.

La Figura 9a muestra el movimiento del ratón en el escenario A (sin estrés). Como se puede observar, el ratón se mueve en un área amplia y registra una variedad de rutas no necesarias para la realización de la tarea, evidenciándose de este modo un desperdicio de actividad.

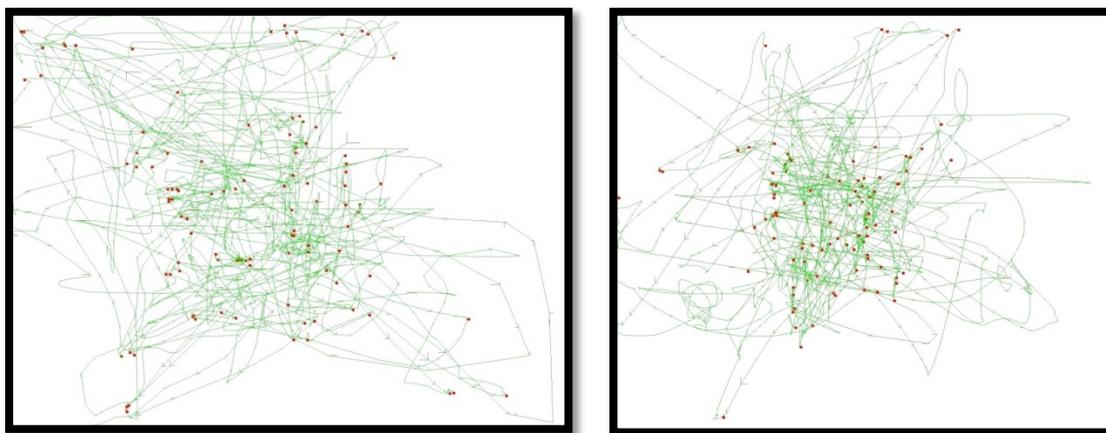


Figura 9 –Mapa de utilización del ratón en un contexto sin estrés (a) e con estrés (b).

Fuente: Elaboración propia

La Figura 9b muestra el mapa de utilización del ratón bajo un escenario de estrés. Como se puede observar, los movimientos tienden a estar más concentrados en el área central, zona en la que están localizados los elementos de la interfaz de usuario que permiten interaccionar con la actividad. Esta constatación visual resulta consistente con el análisis de datos efectuado.

Cuando se analiza la cantidad de veces que el ratón efectuó movimientos de cambio de dirección, se puede afirmar que el ratón se movió más para la izquierda (8.03 de media entre cada 2 clics consecutivos). Esta situación resultó aún más evidente en el escenario de estrés (30.5 de media). Estos resultados son estadísticamente significativos con un p-valor de 0.0148716.

Tanto la aceleración como la velocidad presentan diferencias estadísticamente significativas.

La aceleración, disminuye desde 0.55 px/ms^2 a 0.43 px/ms^2 con un p-valor de 0.00079. La velocidad también disminuyó de un valor medio de 0.61 px/ms . a 0.48 px/ms . con un p-valor de 0.00015.

Como era de esperar, las distancias recorridas son menores cuando se está en una situación de estrés, disminuyendo desde 276.36 a 232.42 pixeles.

En conclusión, el estudiante que presenta este perfil es aquel que ante una situación de estrés se vuelve más eficiente y concentrado en las tareas que debe realizar, presentando movimientos más estables y precisos para optimizar su desempeño.

"Menos eficiente"

Otro grupo de estudiantes tienden a presentar un comportamiento ligeramente diferente: a pesar de mover el ratón más lentamente y con menos aceleración, realizan más movimientos en situaciones de estrés. El número de muestras pertenecientes a este grupo es sustancialmente menor que el descrito anteriormente.

Tal y como ocurre con la mayoría de los estudiantes, los valores de aceleración disminuyen desde 0.42 px/ms^2 a 0.4 px/ms^2 , presentando las diferencias entre las distribuciones un p-valor de 0.0006. La misma situación ocurre con la velocidad de movimiento del ratón, que disminuye desde 0.46 px/s a 0.43 px/s con un p-valor de 0.00012.

Sin embargo, al contrario que en el perfil anterior, la distancia media del ratón al punto más próximo definido por la línea recta entre 2 clics consecutivos aumenta de 35.41 pixeles a 46.8 pixeles. Este aumento también se constata en la suma absoluta de los ángulos, que pasa de un valor de 4365.17 a 4799.07, indicando de este modo que el ratón presenta alteraciones en la dirección un mayor número de veces cuando se está bajo situaciones de estrés (realiza movimientos con curvaturas más amplias).

La distancia recorrida entre un clic consecutivo aumenta de 234.5 pixeles de media en el caso de ausencia de estrés, a 257.9 en el caso contrario.

La Figura 10a muestra el patrón de desplazamiento del ratón para un estudiante durante el escenario que no presenta estrés. En ella se puede observar cómo los movimientos llevados a cabo tienen lugar en un área reducida. En la Figura 10b (escenario de estrés), estos movimientos se encuentran dispersos por un área más amplia, evidenciando algunas curvas sin sentido aparente, o innecesarias.

El estudiante que presenta este perfil no es tan destacado como el del caso anterior, aunque sea como sea, fue un patrón detectado y debe ser considerado en el desarrollo de modelos de análisis del estrés. Una vez más, resulta importante la idea de dar soporte específico a aspectos individuales.

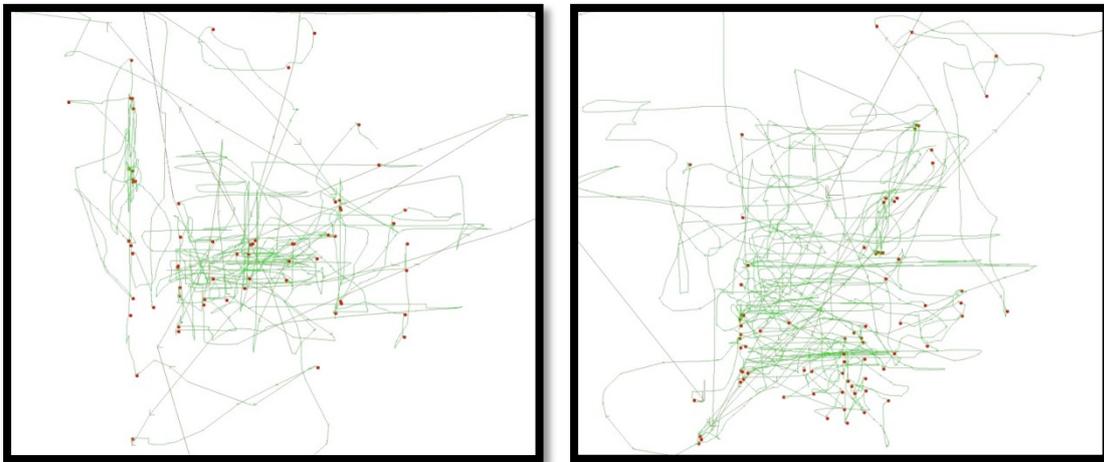


Figura 10 – Patrón de movimiento sin estrés (a) e con estrés (b)

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Como se ha comentado anteriormente, el análisis del estrés es uno de los parámetros que ejerce una fuerte influencia en el rendimiento de los alumnos.

Los resultados obtenidos apuntan como conclusión principal a que en situaciones de estrés los alumnos tienden a comportarse de forma más eficiente, como se observa por la reducción de acciones no necesarias

durante la realización de una determinada tarea, encontrándose de ese modo más centrados en su objetivo. Existen, sin embargo, algunos alumnos que presentan un comportamiento opuesto al descrito, presentando una menor eficiencia en sus acciones con el ratón y el teclado. Estos dos hechos conllevan que:

- 1) Se pueden desarrollar modelos genéricos para conseguir modelar la respuesta de los alumnos al estrés.
- 2) Los modelos personalizados no deben ser olvidados, puesto que el estrés es un fenómeno individual ante el cuál cada persona reacciona de forma individualizada.

Del análisis de resultados resulta evidente la influencia que el estrés tiene en la acción de los alumnos, siendo un hecho que, aunque cuantificable, resulta imposible de medir.

En la sección de análisis de resultados se presentan los valores que reflejan el estrés de los alumnos que influencia los valores obtenidos en los dos escenarios probados: con y sin presencia de estrés.

Otro aspecto interesante es el análisis de las calificaciones obtenidas por los alumnos en cada uno de los escenarios propuestos (con y sin estrés). La recogida de datos se llevó a cabo en los 6 grupos de alumnos, y para 4 de ellos se evidenció una reducción media de la calificación obtenida bajo situación de estrés. Es decir, en escenarios que presentan factores estresantes los alumnos tienden a obtener peores resultados, pese a que el grado de dificultad de las actividades llevadas a cabo fue semejante en ambos casos. De hecho, en algunos casos la actividad estaba compuesta por cuestiones idénticas.

Resulta notable que los factores de estrés llevaran a algunos alumnos a cometer confusiones y malas interpretaciones de ciertas preguntas, algo que en el escenario normal no sucedió. La Figura presenta las calificaciones medias de aquellos grupos en los que la media disminuyó entre los escenarios con y sin estrés.

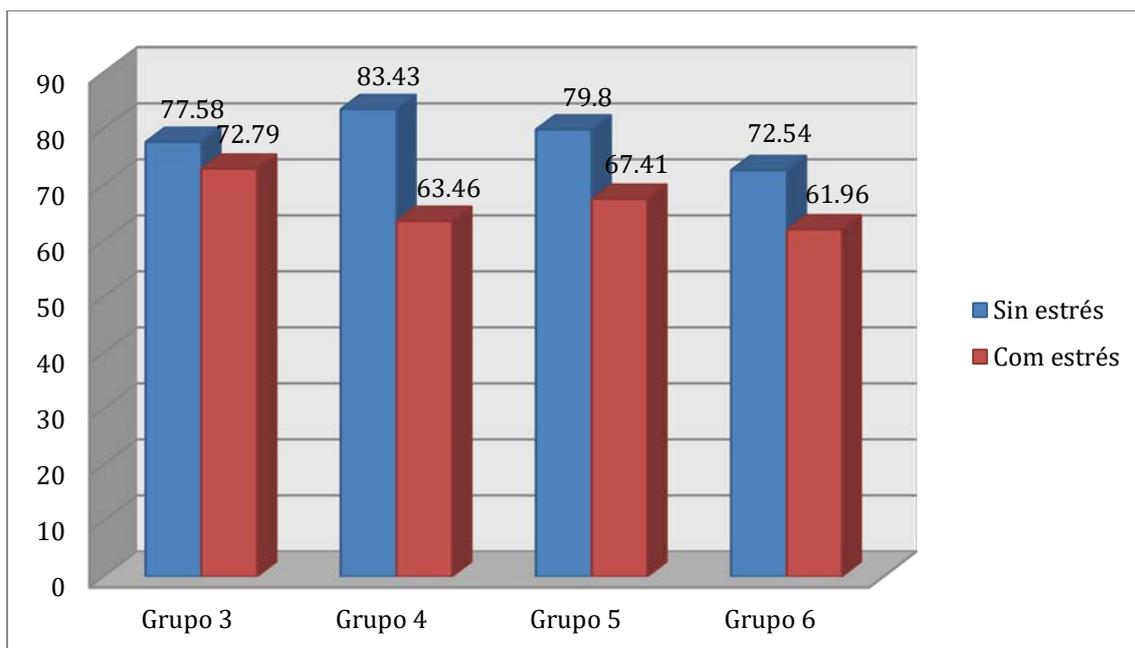


Figura 11 – Calificaciones medias – grupos con disminución a causa del estrés.

Fuente: Elaboración propia

De forma complementaria, la Figura presenta los resultados de los 2 grupos en los que la recogida de datos evidenció un aumento de las calificaciones medias de los alumnos entre los escenarios con y sin estrés. Curiosamente, estos 2 grupos están formados por los alumnos cuya media de edad es superior.

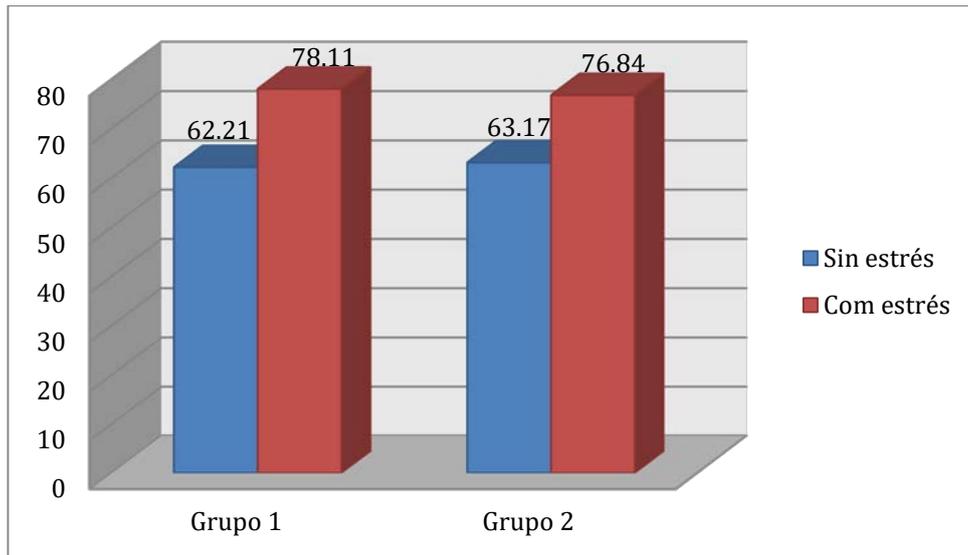


Figura 12 – Calificaciones medias – grupos con aumento a causa del estrés

Fuente: Elaboración propia

5. Trabajo Futuro

En el presente trabajo, la recogida de datos incidió esencialmente sobre tareas en las que la necesidad de utilizar el ratón era significativamente superior al teclado. En una próxima fase se dará importancia al equilibrio en la utilización de teclado y ratón para, de esta forma, complementar las conclusiones obtenidas con los datos recogidos. De este modo, con la adquisición de datos suficientes de ambos dispositivos, será posible el establecimiento de un modelo de análisis más detallado.

Paralelamente a este trabajo, se está llevando a cabo un estudio similar para medir los efectos de la fatiga en la utilización del teclado y el ratón. El objetivo de este estudio es poder determinar si los efectos de la fatiga pueden llegar a ser medidos y cuantificados del mismo modo que sucede con el estrés.

De este modo se abrirá el camino para el desarrollo de clasificadores no invasivos capaces de actuar en tiempo real para proporcionar al docente una descripción precisa del estado de los estudiantes. Se hace posible superar con ello la distancia virtual, y hacer que el profesor sea capaz de entender las

dificultades de sus alumnos en situaciones en que estos presentan dificultades.

El profesor tendrá a su disposición información de sus alumnos y, de esta forma, podrá ajustar las estrategias de aprendizaje y las metodologías que mejor se adapten a los cambios que estos presentan durante la evaluación, haciendo que el proceso de aprendizaje sea más eficiente.

Otras posibilidades analizadas actualmente están relacionadas con la utilización de distintos tipos de técnicas de Inteligencia Artificial. Algoritmos que sean adecuados y permitan la obtención de resultados de análisis y desarrollo de herramientas con niveles altos de confianza.

Agradecimientos.

Este trabajo está financiado en parte por fondos procedentes de la ERDF (European Regional Development Fund) a través del programa COMPETE (operational programme for competitiveness) y fondos nacionales de la FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) provenientes de los proyectos FCOMP-01-0124-FEDER-028980 (PTDC/EEISII/1386/2012) y PEst-OE/EEI/UI0752/2014.

Referencias bibliográficas

- AARTS, E., Y WICHERT, R. (2009). Ambient intelligence. *In Technology Guide*. pp. 244-249. Springer Berlin Heidelberg.
- ALSINA-JURNET, I., Y GUTIÉRREZ-MALDONADO, J. (2010). Influence of personality and individual abilities on the sense of presence experienced in anxiety triggering virtual environments. *International journal of human-computer studies* 68(10): 788-801.
- BATTISTICH, V., SCHAPS, E., Y WILSON, N. (2004). Effects of an elementary school intervention on students' "connectedness" to school and social adjustment during middle school. *The Journal of Primary Prevention*, 24(3), 243-262.

- BEALE, R., Y CREED, C. (2009). Affective interaction: How emotional agents affect users. *International Journal of Human-Computer Studies* 67(9): 755–776.
- BIRCH, S. H., Y LADD, G. W. (1998). Children's interpersonal behaviors and the teacher-child relationship. *Developmental Psychology*, 34(5), 934-946.
- BLASCOVICH, J., LOOMIS, J., BEALL, A.C., SWINTH, K.R., HOYT, C.L., Y BAILENSON, J.N. (2002). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological Inquiry* 13(2): 103–124.
- BOUTON, M. E. (2009). Behaviourism, thoughts, and actions. *British Journal of Psychology*, 100(S1), 181-183.
- CAMPBELL, D. (1997). Explorations into virtual architecture: a HIT Lab gallery. *IEEE Multimedia*, 4(1):74-76.
- COSTALLI, F., MARUCCI, L., MORI, G., Y PATERNO, F. (2001). Design criteria for usable web-accessible virtual environments. In Proc. *international cultural heritage informatics meeting (ICHIM)*, 3–7.
- COUTINHO, C.P., Y BOTTENTUI, J.B. (2009). *Handbook of Research on Practices and Outcomes in E-Learning*. eds. Harrison Hao Yang and Steve Chi-Yin Yuen. IGI Global. Recuperado de <http://www.igi-global.com/chapter/web-web-learning/38344/>
- CROSNOE, R., JOHNSON, M. K., Y ELDER, G. H. (2004). Intergenerational bonding in school: The behavioral and contextual correlates of student-teacher relationships. *Sociology of Education*, 77(1), 60-81.
- DAVIS, H. A. (2003). Conceptualizing the role and influence of student-teacher relationships on children's social and cognitive development. *Educational Psychologist*, 38(4), 207-234.
- DODDS, T. J., MOHLER, B.J. Y BÜLTHOFF, H.H. (2011). Talk to the Virtual Hands: Self-Animated Avatars Improve Communication in Head-Mounted Display Virtual Environments. *PloS one* 6(10): e25759.

- Gomes, M. J. (2003). Gerações de Inovação Tecnológica no Ensino a Distância. In *Revista Portuguesa de Educação, Braga: Universidade do Minho, Instituto de Educação e Psicologia*, 16(1), 137-156
- GOMES, M.J. (2004). *On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other*. Educação a Distância. Braga: Centro de Investigação em Educação.
- MANN, H.B., Y WHITNEY, D.R. (1947). *Ann. Math. Stat.* 18: 50–60.
- HAMRE, B. K., PIANTA, R. C., GEORGE, B.G. (Ed), Y Minke, K. M. (Ed), (2006). *Student-Teacher Relationships. Children's needs III: Development, prevention, and intervention.* , (pp. 59-71). Washington, DC, US: National Association of School Psychologists.
- HAYES, D. (1997). Helping teachers to cope with large classes. *ELT Journal*, 51(2), 106-116.
- HUDLICKA, E. (2003). To feel or not to feel: The role of affect in human-computer interaction. *International Journal of Human-Computer Studies* 59(1), 1–32.
- JAIMES, A., Y SEBE, N. (2007). Multimodal human-computer interaction: A survey. *Computer vision and image understanding* 108(1), 116–134.
- KLEM, A. M., Y CONNELL, J. P. (2004). Relationships matter: Linking teacher support to student engagement and achievement. *Journal of School Health*, 74(7), 262-273.
- MEHRABIAN, A. (1980). *Basic dimensions for a general psychological theory: Implications for personality, social, environmental, and developmental studies*. Oelgeschlager, Gunn & Hain Cambridge, MA.
- MORAVEC, J.W. (2008). A new paradigm of knowledge production in higher education. *On the Horizon* 16(3), 123–136. <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=1074-8121&volume=16&issue=3&articleid=1740566&show=html>
- PERRY, K. E., Y WEINSTEIN, R. S. (1998). The social context of early schooling and children's school adjustment. *Educational Psychologist*, 33(4), 177-194.

PICARD, R.W. (2000). *Affective computing*. MIT press.

REHM, M., BEE, N. Y ANDRÉ, E. (2008). Wave like an Egyptian: accelerometer based gesture recognition for culture specific interactions. In Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: *Culture, Creativity, Interaction*, 1, 13–22.

WHEELER, S. (2009). *e-Learning 3.0*. <http://steve-wheeler.blogspot.pt/2009/04/learning-30.html> (Enero 6, 2014).

YAMPOLSKIY, R. V., Y GOVINDARAJU, V. (2008). Behavioural biometrics: a survey and classification. *International Journal of Biometrics*, 1(1), 81-113.

Como citar este artículo:

Gonçalves, S., de Carneiro, D., Fdez-Riverola, F., & Novais, P. (2015). Análisis del comportamiento en entornos de e-learning. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 4(2), 137-172.