



Universidad Internacional de La Rioja
Facultad de Educación

Trabajo fin de máster

¿Tiempos Difíciles? La digitalización de la enseñanza

Presentado por: Pedro Lara Astiaso
Tipo de trabajo: Estado de la cuestión
Director/a: Daniel Moreno Mediavilla

Ciudad: Madrid
Fecha: 17/02/2017

Resumen

La revolución digital ha traído consigo profundas transformaciones en casi todos los ámbitos de la existencia humana. Entre ellos, la educación se destaca como uno de los más afectados por la llegada de las tecnologías digitales, cuya implantación en las aulas está siendo objeto de un encendido e intrincado debate. Intereses económicos y agendas políticas oscurecen las evidencias científicas, que son ignoradas, ocultadas y manipuladas con el fin de favorecer tal o cual postura del debate. El empleo poco riguroso de terminología científica no hace sino enturbiar aún más las cosas.

Dada el papel fundamental que juega la educación en el bienestar de toda sociedad, es de vital importancia que el debate transcurra al margen de intereses económicos y partidistas, y que esté sustentado en evidencias científicas y empíricas. Para lograrlo, es necesario, en primer lugar, acudir directamente a las fuentes y revisar las evidencias disponibles; y en segundo lugar, aclarar términos y ofrecer un marco científico que facilite la interpretación de tales evidencias. Estos son, precisamente, los objetivos del presente trabajo.

Palabras clave: tecnologías digitales, nativo digital, neuroplasticidad, multitarea, aprender a aprender

Abstract

The Digital Revolution has brought along dramatic transformations in almost every sphere of human existence. Education stands out as one of the domains most deeply influenced by the arrival of the digital technologies, whose implementation in schools is being hotly debated. Unfortunately, the debate is often clouded by commercial interests and political agendas. The scientific and empirical evidences are frequently concealed or manipulated in order to support such or such other stance. Besides, the inaccurate use of scientific terminology does not do anything but muddling the debate even more.

Given the fundamental role of education in guaranteeing the welfare of any society, it is crucially important for the debate to take place apart from economic and political agendas, and firmly grounded on empirical and scientific evidences. For that to happen, it is necessary, first, to turn to the sources and review the available evidences; and second, to come to terms and provide a scientific framework useful for the analysis of the evidence. These are precisely the aims of the present master thesis.

Keywords: digital technologies, digital native, neuroplasticity, multitasking, learning to learn.

Índice

1. Justificación y planteamiento del problema.....	3
2. Finalidad del trabajo	5
3. Justificación de la bibliografía.....	5
4. Marco teórico	7
4.1. Contexto del debate.....	7
4. 2. Fundamentos científicos.....	11
4.2.1. Biología evolutiva	12
4.2.2. Neurociencia	15
4.2.2.1. Neuroplasticidad	18
4.2.2.1.1. Plasticidad Sináptica	19
4.2.2.1.2. Neurogénesis	21
4.2.2.2. Neuroplasticidad y debate de las TIC	25
4.3. Evidencias científicas y empíricas	27
4.3.1. ¿Pérdida de memoria o metamemoria?	28
4.3.2. La multitarea: ¿Baja capacidad de atención o atención distribuida?.....	33
4.3.3. La pantalla.....	38
4.3.3.1. Cognición incorporada	38
4.3.3.2. ¿Lápiz o teclado?	40
4.3.3.3. ¿Papel o pantalla?	41
4.3.3.4. La gamificación	43
5. Discusión.....	44
6. Conclusiones	47
7. Limitaciones y prospectiva	49
8. Bibliografía	51

1. Justificación y planteamiento del problema

“Pues bien, lo que yo quiero son Hechos. No enseñéis a estos niños y niñas nada más que Hechos. En la vida sólo son necesarios los Hechos. No plantéis otra cosa; arracad de raíz todo lo demás. Sólo con Hechos podemos educar las mentes de estos animales racionales: ninguna otra cosa les será útil jamás.”

Con estas líneas comienza Dickens *Tiempos Dificiles* (Dickens, 1854), una de sus obras más conocidas. Desde el estrado de una clase llena de estudiantes, Thomas Gradgrind, director y propietario del colegio, instruye a un recién contratado profesor en el arte de la enseñanza: isólo Hechos!

Famosa por ser la novela más breve y polémica de Dickens, *Tiempos Dificiles* constituye una formidable crítica de la filosofía utilitarista. Sin renunciar a la ironía y la ternura que le caracterizan, el genio victoriano muestra, en toda su crudeza, la desolación que trae consigo el utilitarismo. En el aula, en el hogar, en el puesto de trabajo, en todos los ámbitos de la existencia y la acción humana, sufren los personajes la opresión de la eficiente trituradora utilitarista: “En la vida, caballero, lo único que necesitamos son hechos, inada más que hechos!”

El utilitarismo es una corriente filosófica que fue iniciada por el excéntrico y acaudalado intelectual inglés Jeremy Bentham. Sus más famosas máximas éticas: “el mayor placer para la mayoría”, y “el dolor y el placer son los soberanos que gobiernan la conducta humana”, constituyen un compendio de su pensamiento. Estas y otras ideas de Bentham fueron articuladas, desarrolladas y defendidas por su ahijado, el afamado filósofo y niño prodigio John Stuart Mill. De la mano de Bentham y Mill, el utilitarismo logró una gran aceptación entre la clase política británica. Una serie de reformas económicas y sociales, impulsadas desde el Parlamento y llevadas a cabo entre los años 1833 y 1845, hicieron efectiva la dominación utilitarista del Reino Unido. A esta tendencia se opusieron enérgicamente intelectuales como John Ruskin, Thomas Carlyle —a quien Dickens da voz en *Tiempos Dificiles*— y Matthew Arnold, entre otros, dando lugar a un encendido debate sobre la validez de los postulados utilitaristas y las consecuencias de su aplicación en los ámbitos educativo y laboral.

Hoy, casi dos siglos después, tiene lugar otro debate, igualmente intenso, en el mundo de la enseñanza. Esta vez, el motivo de controversia no es una filosofía, sino una tecnología: la tecnología digital. Mejor dicho, el motivo de controversia es el uso que debe darse a dicha tecnología. ¿Qué consecuencias tiene el uso extendido de

dispositivos electrónicos en los centros educativos? ¿Son válidos los argumentos que se utilizan para justificarlo? ¿Cuáles son las ventajas e inconvenientes de la enseñanza *online*? ¿Qué tiene que decir la ciencia al respecto de todo esto? El debate gira en torno a estas y otras preguntas similares.

Como en tiempos de Dickens, intereses económicos enturbian las aguas del debate. Entonces eran los magnates de la industria textil quienes se beneficiaban de la aplicación de reformas de carácter utilitarista; ahora son los emporios mediáticos y las multinacionales de las tecnologías digitales los que se enriquecen gracias al uso masivo de las TIC en los entornos educativo y laboral.

Como en tiempos de Dickens, la nueva tendencia educativa goza del respaldo de la clase política. Entonces, el parlamento británico impulsaba reformas sociales diseñadas de acuerdo con los principios de Bentham; ahora, muchos gobiernos recomiendan el uso de las tecnologías digitales en los centros educativos (Spitzer, 2013).

Y como en tiempos de Dickens, partidarios y detractores de las reformas se apoyan en los resultados de la investigación científica para defender sus posturas (Prensky, 2001a; Carr, 2011). Y entonces, como ahora —y como casi siempre—, dichos resultados son frecuentemente manipulados e interpretados en función de los intereses políticos y económicos de uno y otro bando.

Pero la similitud entre ambas disputas no se limita a las formas: el debate de ahora está profundamente influenciado por el de entonces. Y es que la filosofía de Bentham y Mill sigue teniendo una gran influencia en el pensamiento contemporáneo. Este debate, como todos los que atañen a cuestiones sociales, no puede entenderse fuera del marco histórico, económico y cultural en que se desarrolla. Todo hombre es hijo de su tiempo, y nieto de tiempos pasados.

Queda patente la complejidad del asunto. Y queda patente también la relevancia del mismo para el futuro de la educación y, por ende, del conjunto de la sociedad. Los partidarios del uso de las TIC en los centros educativos, como Susan Price, fundadora y CEO de Firecat Studio, son optimistas, y hablan de la necesidad de adaptarse a la nueva realidad (Anderson & Rainie, 2012). Los detractores, como el escritor y periodista Nicholas Carr, afirman que tal adaptación, como muchas otras, puede resultar altamente perjudicial (Carr, 2011).

Urge, por tanto, examinar las evidencias y revisar la validez de los argumentos en que se apoyan ambas posturas. Ese es, precisamente, el objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster: aclarar las aguas del debate para permitir que este sea fructífero, y lograr así

que la política educativa esté siempre encaminada a garantizar la calidad de la formación del alumno, y no a satisfacer los intereses de unos pocos. De no lograrlo, estos tiempos serán, como los de Dickens, unos *Tiempos Difíciles*.

2. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es exponer y discutir los resultados de las investigaciones sobre los efectos de las TIC en la educación, para contribuir a que el debate sobre la digitalización de la enseñanza sea limpio, claro y beneficioso para los estudiantes y el conjunto de la sociedad.

Para alcanzarlo, se tratará de conseguir los siguientes objetivos específicos:

- Enmarcar el debate, haciendo una breve reseña histórica del mismo, introduciendo y explicando sus términos, y exponiendo las distintas posturas existentes.
- Proporcionar unos fundamentos de biología evolutiva y neurociencia que permitan aclarar el significado de términos científicos frecuentemente mal empleados en el debate, e interpretar adecuadamente las investigaciones de psicología cognitiva y educación.
- Exponer e interpretar las evidencias de los campos de la psicología cognitiva y la educación que arrojan luz sobre los efectos de la digitalización, tanto en términos generales como en el caso particular de la educación.

3. Justificación de la bibliografía

Las fuentes bibliográficas utilizadas para la elaboración de este trabajo han sido localizadas mediante tres estrategias fundamentalmente: lectura de artículos periodísticos, búsqueda en revistas especializadas, y consulta a los expertos.

Los artículos periodísticos fueron muy útiles para conseguir una visión general del debate: contexto, historia, puntos de acuerdo y desacuerdo, disciplinas implicadas, evidencias y protagonistas. En consecuencia, resultaron ser un punto de partida excelente para la búsqueda de bibliografía especializada, y para la identificación de los expertos de las distintas disciplinas.

La búsqueda en revistas especializadas se inició, como se ha dicho, a partir de los artículos periodísticos, que proporcionaban enlaces a algunos de los artículos más relevantes. Para ampliar la búsqueda, se consultó la bibliografía de dichos artículos, tratando de identificar a los grupos de investigación más importantes de cada tema y disciplina, y de llegar a *reviews* que ofrecieran una visión general de los mismos. Con frecuencia, estas dos estrategias tuvieron resultados convergentes. Además, se realizaron búsquedas de palabras clave en varias bases de datos: buscadores generales y especializados, fundaciones educativas, universidades, asociaciones académicas, grupos editoriales de revistas científicas, etc. Entre ellas destacan *Google*, *Google Scholar*, *Pubmed*, *Nature Publishing Group*, *Science*, *PNAS*, *Kaiser Family Foundation* y *Pew Research Center*.

Finalmente, los expertos fueron identificados gracias a los artículos periodísticos y a la ampliación de la bibliografía especializada. Marc Prensky, Nicholas Carr, Frank Wilson, Clifford Nass, Daniel Wegner, Manfred Spitzer, Tracey Shors, Elizabeth Gould y Eric Kandel fueron los más relevantes. De todos ellos se estudiaron sus declaraciones, investigaciones y opiniones, recogidas en artículos científicos, artículos de divulgación, entrevistas y, en algunos casos, libros.

Por otra parte, para desarrollar los fundamentos científicos, se recurrió a libros de texto de biología evolutiva y de neurociencia, así como a revistas especializadas y a sitios web de instituciones educativas americanas.

Prácticamente toda la bibliografía utilizada se encontraba en lengua inglesa, con algunas fuentes en alemán y en español. Las traducciones se han llevado a cabo de la forma más literal posible, tratando siempre de conservar el significado y el tono originales.

4. Marco teórico

4.1. Contexto del debate

Los términos *nativo digital* e *inmigrante digital* fueron acuñados y popularizados por el pedagogo y periodista estadounidense Marc Prensky, en dos artículos publicados en el año 2001 (Prensky, 2001, 2001a). En ellos afirma que la aparición y rápida difusión de la tecnología digital en la última década del pasado siglo ha cambiado la forma que tienen los estudiantes de pensar y procesar información. Ello dificulta en gran medida su aprendizaje según los métodos de enseñanza tradicionales. Dicho de otro modo, para poder mantener su atención y desarrollar un aprendizaje satisfactorio, los niños criados en un mundo saturado de nuevas tecnologías y medios de comunicación digitales necesitan de un entorno educativo rico en tales avances tecnológicos. Prensky bautizó a estos niños como *nativos digitales*. En contraste con estos, aquellas personas que no se criaron en un mundo digitalizado, y que han adoptado muchas de las nuevas tecnologías siendo ya adultos, fueron llamadas *inmigrantes digitales*. De acuerdo con Prensky, por más que los inmigrantes digitales traten de adaptarse al mundo digital, siempre retendrán su “acento de inmigrante digital.” Los nativos digitales, por el contrario, “son hablantes nativos del lenguaje digital de internet, los ordenadores y los videojuegos.”

Según Prensky, esto ha conducido a un conflicto intergeneracional entre nativos e inmigrantes digitales. En palabras del científico Chris Jones: “la existencia de un entorno con tecnologías de acceso digital y universal referidas a internet, combinada con un compromiso activo en estas nuevas tecnologías, conduce a una abrupta ruptura entre las generaciones” (Thomas, 2011). Dicha ruptura se vuelve especialmente evidente y relevante en el ámbito educativo. De acuerdo con Prensky (2001), el mayor problema al que se enfrenta la educación hoy en día es que los profesores, inmigrantes digitales en su mayoría, que hablan un idioma anticuado, están tratando de enseñar a unos estudiantes que emplean un idioma totalmente nuevo.

La publicación de los dos famosos artículos de Prensky (2001, 2001a) trajo consigo un vivo debate que continúa en la actualidad. A lo largo de estos años, diversos expertos han ido introduciendo términos que pretenden identificar a las generaciones criadas en un ambiente altamente digitalizado. Además de los ya mencionados “nativo digital” e “inmigrante digital” (Prensky, 2001, 2001a, 2009, 2010; Palfrey & Gasser, 2008), los más comúnmente utilizados son “Millennials” (Howe & Strauss, 1991, 2000, 2003), “Generación Net” (Tapscott, 1998, 2009), y “Generación Y” (Jorgensen, 2003; Weiler,

2005; McCrindle, 2006). Otros, menos utilizados, son “Generación IM” o “Generación del Mensaje Instantáneo” (Lenhart, 2001), “Generación Gamer”, en referencia obvia a los videojuegos (Carstens, 2005), e incluso “Homo Zappiens” (Veen, 2003), por su supuesta habilidad para controlar flujos de información de forma rápida y eficiente. Estos términos difieren ligeramente en la definición y el uso que los expertos hacen de ellos, pero en general son usados indistintamente.

Cuestiones terminológicas aparte, existen diferencias entre los expertos en cuanto a la tesis de la brecha generacional que propugnan Prensky y sus partidarios, conocidos como “tecnoevangelistas.” Algunos, como Sue Bennett, profesora de la universidad de Wollongong, afirman que, en lo que se refiere a competencias digitales, puede haber tanta variación dentro de la generación de los nativos digitales como entre estos y los inmigrantes digitales (Bennett, 2008). De acuerdo con ellos, generalizaciones como la que propone Prensky ignoran factores culturales, geográficos, socioeconómicos, cognitivos y personales de gran relevancia. No es raro ver inmigrantes digitales que superan a los nativos en conocimientos y destrezas tecnológicas. Y aunque parezca obvio, conviene recordar que las personas que hicieron posible la revolución digital —científicos, ingenieros, inventores, diseñadores y primeros usuarios—eran, de acuerdo con la metáfora de Prensky, inmigrantes digitales. Confundir el uso frecuente (y probablemente superficial) de la tecnología con el conocimiento genuino de la misma es engañoso y dañino para el debate.

Otros, como Henry Jenkins, cuestionan las implicaciones de la metáfora “inmigrante digital”, propuesto por Prensky. En opinión de Jenkins, dicha metáfora tiende a exagerar la brecha entre los adultos, a los que presenta como torpes e irremisiblemente anclados en el pasado, y los jóvenes, a los que ve como expertos. De ese modo, inhabilita a los adultos y les hace sentirse inútiles e indefensos, ayudando así a justificar su decisión de desentenderse de los asuntos de los llamados nativos (Jenkins, 2007).

Ante semejantes críticas, Prensky ha suavizado su postura, introduciendo el concepto de “sabiduría digital”, que define como la mejora de las capacidades cognitivas humanas a través de la tecnología digital. En su opinión, los esfuerzos de la comunidad educativa han de ir encaminados en este sentido (Prensky, 2010).

Jones, sin embargo, considera que esta y las anteriores formulaciones de Prensky son obstinadamente deterministas: “aunque supera la división clara entre nativos e inmigrantes digitales, el argumento sigue conteniendo un imperativo moral: la mejora de las capacidades humanas a través de los medios digitales es necesaria para tener éxito.” Según él, asumir que las tecnologías digitales pueden determinar el futuro de toda una generación es erróneo e inútil (Thomas, 2011).

Finalmente, Bennett y Maton insisten en la falta de evidencias que apoyen los argumentos de Prensky, Palfrey y otros (Bennett, 2008). Estos autores subrayan la importancia de que las investigaciones sobre asuntos tan relevantes y contendidos sean sólidas y transparentes. Y recomiendan un cambio de enfoque: olvidarse de las diferencias generacionales y centrarse en las experiencias de la gente joven con las tecnologías digitales, en cómo estas son integradas en la maraña de contextos y actividades de la vida cotidiana. En palabras de Jenkins, “parte del reto consiste en entender cómo se “fabrica” un nativo digital y qué consecuencias tiene serlo” (Jenkins, 2007).

Pero independientemente de la idoneidad de los términos elegidos por Prensky y otros, de la realidad de la postulada brecha generacional, y de otros aspectos polémicos de sus tesis que, como se ya se ha indicado, han sido profunda y vigorosamente debatidos (Thomas, 2011; Jones & Shao, 2011; Bennett, 2008), lo que es indiscutible es que el uso de las tecnologías digitales se ha incrementado espectacularmente en los últimos años.

De acuerdo con un estudio-resumen publicado en Estados Unidos el año 2008, el joven promedio de 21 años ha enviado o recibido 250.000 correos electrónicos o SMS, ha pasado 10.000 horas manejando su móvil, ha jugado 5.000 horas a videojuegos, y ha estado conectado 3.500 horas a redes sociales como Facebook (Windisch, 2008). Con la irrupción arrolladora de las aplicaciones de mensajería instantánea y al imparable crecimiento de las redes sociales —favorecidos ambos por el auge de los dispositivos móviles—, cifras como esas se han quedado ridículamente pequeñas.

En febrero de 2012, el Pew Research Center, un *think tank* independiente con sede en Washington D.C., publicó un estudio titulado *The Future of the Internet*, que recogía los resultados de una encuesta realizada en 2011 a una muestra no aleatoria de 1.021 expertos en internet. Los encuestados debían opinar sobre las posibles consecuencias que el uso frecuente de internet pueda tener en la generación net, eligiendo una de las dos opciones que se les ofrecían y explicando el porqué de su elección. Cerca del 55% de los expertos se decantó por la siguiente afirmación:

“En el año 2020, los cerebros de adolescentes y adultos jóvenes acostumbrados a la multitarea estarán “cableados” de forma diferente a la de los cerebros de las personas mayores de 35 años, y esto tendrá en general unos efectos beneficiosos (2).”

Mientras que un 42%, aproximadamente, prefirió esta otra:

“En el año 2020, los cerebros de adolescentes y adultos jóvenes acostumbrados a la multitarea estarán “cableados” de forma diferente a la de

los cerebros de las personas mayores de 35 años, y esto tendrá en general unos efectos perniciosos (2).”

Según señalan los autores del estudio, muchos de los expertos que se decantaron por la opción optimista admitieron que su elección expresaba más una esperanza que una opinión madura. Algunos opinaron que el escenario real sería una combinación entre los dos propuestos. El resultado de la encuesta puede considerarse, por tanto, un empate (Anderson & Rainie, 2012).

Así pues, los expertos coinciden en que la digitalización tiene consecuencias. ¿Pero son estas consecuencias favorables o desfavorables? La división entre los expertos fue evidente.

Rápida adaptación, procesamiento de información rápido y eficiente, metamemoria, creatividad para resolver problemas complejos, alta capacidad para la multitarea, instinto natural para el manejo de la tecnología: los tecnoevangelistas se muestran optimistas. Insisten en la necesidad de transformar el sistema educativo para conseguir que los estudiantes se adapten a la nueva realidad digital. En su opinión, aprender a manejar las herramientas digitales no sólo mejorará el aprendizaje de los alumnos, sino que les proporcionará las habilidades necesarias para alcanzar el éxito laboral en la era digital (Forzani, 2012).

Por otra parte, superficialidad, falta de juicio crítico, baja capacidad de atención y de retención, pérdida de habilidades sociales, tecnoddependencia, y hasta estancamiento científico y tecnológico son las predicciones y miedos de los tecnoescépticos, que piden cautela ante los cambios educativos propuestos por los tecnoevangelistas (Koutropoulos, 2011).

Pero unos y otros tienen también cosas en común. Ambos son conscientes de que la digitalización tiene consecuencias; discuten sobre si son beneficiosas o perjudiciales. Y ambos recurren al saber científico para justificar su postura: términos como adaptación, evolución, “cableado” del cerebro, neuroplasticidad, patrones de pensamiento, etc. son un lugar común en el debate sobre el uso de las TIC en educación. No es de extrañar, entonces, que cada vez más científicos —biólogos, neurólogos, pedagogos, psiquiatras y psicólogos cognitivos— se estén uniendo a un debate que hasta hace poco parecía restringido a periodistas y expertos en tecnología digital. A través de libros, entrevistas y conferencias, han contribuido a avivar el debate entre los expertos y a despertar el interés público. Ciertamente, sus declaraciones no están exentas de controversia (Goldacre, 2011), pero las evidencias científicas que

aportan son tremendamente útiles para aclarar las aguas de un debate a menudo enturbiado por intereses ideológicos, económicos y políticos.

Tales evidencias constituyen el eje conductor del presente trabajo. Evidencias que han sido recabadas y convenientemente publicadas en los últimos años por investigadores de diversas disciplinas, y que van desde la investigación básica en neurociencia hasta estudios empíricos en instituciones educativas. Pero la sola evidencia no basta, sino que requiere de un marco hermenéutico adecuado para su interpretación. Por ese motivo, este trabajo incluye explicaciones de conceptos, ideas y descubrimientos científicos de las disciplinas implicadas en el debate: neurociencia, biología evolutiva y psicología cognitiva, principalmente.

4. 2. Fundamentos científicos

Tecnoevangelistas y tecnoescépticos recurren a menudo a términos como adaptación, evolución y supervivencia para justificar sus enfrentadas posturas. Unos y otros resaltan la enorme capacidad de adaptación del ser humano (y su cerebro) a los cambios que se producen en el medio; unos y otros insisten en el insoslayable imperativo de la evolución, y en la necesidad de someterse a él; unos y otros aseguran estar preocupados por la supervivencia de la especie humana; y unos y otros, inevitablemente, comenten falacias que no hacen sino enmarañar el debate y confundir a la opinión pública.

Las causas de tales confusiones pueden resumirse en tres: generalización y empleo equívoco de términos científicos, desconocimiento de las evidencias científicas, e interpretaciones erróneas de dichas evidencias. Así, se habla de las adaptaciones neurológicas como fenómenos intrínsecamente beneficiosos (Prensky, 2001a), se afirma que la especie humana está evolucionando para adaptarse a la era digital, y algunos hasta postulan la existencia de una nueva especie: el *homo digitalis* u *homo zappiens* (Cendoya, 2013). Estos y otros absurdos deben evitarse. Y nada mejor para lograrlo que aclarar términos, presentar las evidencias disponibles, y proponer un marco científico que posibilite una interpretación lógica de las mismas. Tal es el objetivo de la presente sección del trabajo.

Primeramente, se ofrece una breve introducción a la biología evolutiva, en que se aclara qué es y qué no es la evolución biológica. A la luz de dichas aclaraciones, se discutirá la validez de algunos argumentos típicamente utilizados en el debate sobre las TIC.

Después, se introducirán algunos conceptos y principios de neurociencia que resultan imprescindibles para entender en qué consiste esa propiedad del cerebro que con tanta

frecuencia se saca a colación en las discusiones sobre la tecnología digital: la neuroplasticidad. Hecha la introducción, se examinarán consecuencias que puede tener la neuroplasticidad en el aprendizaje y sus implicaciones en el debate que nos ocupa.

En cuanto a la psicología cognitiva, dadas las lógicas restricciones de extensión, resulta muy difícil ofrecer una introducción general de la misma que resulte de utilidad para la comprensión de la cuestión que se trata. Por este motivo, se irán intercalando y comentando aspectos y resultados relevantes de dicha disciplina a lo largo de la siguiente sección del trabajo.

En aras de una mayor claridad, la discusión e interpretación de las evidencias, y de las especulaciones de los científicos, se desarrollará conforme vayan tratándose los distintos puntos conflictivos del debate. En el apartado final de “Discusión” se realizará una breve reflexión sobre los aspectos sociales, económicos y culturales del debate.

4.2.1. Biología evolutiva

Como ya se ha indicado más arriba, las discusiones en torno a cuestiones evolutivas pueden enmarañarse como consecuencia del uso impreciso del término evolución. En su acepción más general, la palabra evolución significa cambio, desarrollo o variación a lo largo del tiempo. En este sentido, se habla de la evolución de los teléfonos móviles, de la evolución de un enfermo, de la evolución del método científico, etc., pudiéndose aplicar el término a entes materiales —vivos e inertes— e inmateriales, y sin que su uso implique referencia alguna a la forma en que tiene lugar dicho cambio o desarrollo. Pero no es esto lo que un científico quiere decir cuando habla de evolución biológica.

La evolución biológica implica cambio, ciertamente, pero un cambio de una naturaleza muy particular. De acuerdo con una de las definiciones más extendidas, la evolución es el cambio en los caracteres heredables —fenotípicos y genotípicos— de las poblaciones biológicas a lo largo de sucesivas generaciones (Hall, 2008). Dicho cambio ocurre como consecuencia de la cooperación de dos procesos: la variación hereditaria y la selección natural; y es el responsable de la diversidad de formas de vida que existen sobre la Tierra, y que descienden de un antepasado común. Esta definición distingue claramente el término evolución tal y como es empleado en biología, del término general arriba mencionado. El primero hace referencia a un ámbito concreto de cambio: las poblaciones biológicas; y a un mecanismo de cambio: la combinación de variación hereditaria y selección natural. Veamos con más detenimiento la naturaleza de dicho mecanismo.

En su libro sobre evolución, el reputado paleontólogo inglés Colin Patterson explica la evolución usando el siguiente argumento deductivo:

1. Todos los organismos se reproducen.
2. Todos los organismos exhiben variaciones hereditarias. Es decir, ningún organismo es idéntico a sus progenitores.
3. Dichas variaciones difieren en sus efectos sobre la reproducción: algunas son favorables, otras perjudiciales, y otras neutras.
4. Por lo tanto, dentro de una población, los organismos con variaciones favorables para la reproducción proliferarán, mientras que el número de aquellos cuyas variaciones sean desfavorables tenderá a menguar. Dicho de otra manera, los miembros de la población son seleccionados en función de su aptitud reproductiva, dando lugar a la evolución de la población (Patterson, 1999).

A día de hoy, existe un acuerdo generalizado en cuanto a la validez de esta teoría. Las evidencias que la sustentan vienen de fuentes diversas: el registro fósil, la morfología comparativa, la biogeografía y, en un lugar preponderante, la genética; y su poder explicativo es inmenso. No obstante, existen muchos mitos y confusiones en torno a la evolución biológica. Por la importancia que tienen para entender el tema central del presente trabajo de fin de máster, es necesario aclarar aquí algunos de ellos.

En primer lugar, la teoría de la evolución no ofrece una explicación satisfactoria del comportamiento humano. Casi cualquier científico estará de acuerdo en que los humanos son producto de la evolución, pero se apresurará en añadir que también lo son de la cultura. No es que la psicología humana no esté condicionada en parte por la historia evolutiva, pero los factores culturales pesan más que los genéticos en la gran mayoría de los casos (Pigliucci, 2013). Y los segundos no son reducibles a los primeros, a pesar de lo que afirmen algunas teorías pseudocientíficas hace tiempo desechadas por la comunidad científica, pero frecuentemente aireadas en la prensa (Downey, 2008).

En segundo lugar, y en contra de una creencia muy extendida —y expresada en el adagio: “la supervivencia del más fuerte”—, la selección natural no es un asunto de fortaleza o resistencia, sino de aptitud reproductiva, que no es lo mismo. La fuerza, la velocidad, la resistencia, la agilidad, la capacidad para el camuflaje, etc., son irrelevantes sino resultan en una ventaja reproductiva. Sólo una cosa es importante: el número de descendientes fértiles que con que cada individuo pueda contribuir a la siguiente generación (University of California Berkeley).

En tercer lugar, la evolución no entiende de progreso; no es una mejora constante y gradual de los organismos vivos; no es una escalera que lleva a la materia viva en un camino siempre ascendente, como Lamarck y Spencer erróneamente creían. Más bien, y como dijo el propio Darwin, es un frondoso árbol cuyas ramas se adaptan constantemente a innumerables y cambiantes circunstancias, convergiendo en unas ocasiones y divergiendo en otras. Es cierto que la selección natural resulta en una mejora de la capacidad de supervivencia y de la aptitud reproductiva, pero esto no significa que la evolución sea un proceso de mejora. Primero, porque la selección natural no produce organismos perfectamente adaptados al medio. Segundo, porque otros mecanismos de la evolución no resultan en un cambio adaptativo: la mutación, la migración y la deriva génica pueden llegar a ser perjudiciales y a dificultar la adaptación. Y tercero, porque la idea de progreso no tiene ningún sentido en cuando de evolución se trata, pues depende de la perspectiva de cada individuo. Además, las circunstancias cambian con mucha frecuencia, y un organismo muy bien adaptado a un entorno determinado puede encontrarse en seria desventaja si cambian las tornas (University of California Berkeley).

En cuarto lugar, y como se desprende de la definición expuesta, son las poblaciones, y no los individuos, las que evolucionan. Los cambios que un individuo experimenta a lo largo de su vida no son causa ni consecuencia de modificaciones en el genoma (University of California Berkeley). Salvo casos de mutación inducida por radiación o agentes químicos, la secuencia genética de un individuo permanece inalterada a lo largo de su vida, y por lo tanto no evoluciona.

Finalmente, y en estrecha relación con la confusión explicada en el párrafo anterior, existe la creencia de que la evolución consiste en la selección de unos pocos individuos de entre los muchos que luchan por adaptarse. Efectivamente, la selección natural conduce a la progresiva adaptación de las especies al medio. Pero tal proceso de adaptación no implica esfuerzo, ni lucha, ni deseo de supervivencia alguno por parte del individuo. Como ya se ha dicho repetidas veces, la selección natural es el resultado de la variación genética en una población, y del hecho que algunas variantes contribuyan con más prole que otras a la siguiente generación. Pero la variación genética es consecuencia de mutaciones aleatorias: o bien un individuo tiene genes que le permitan sobrevivir y reproducirse, o no los tiene; no puede adquirirlos por mucho que lo intente (University of California Berkeley).

A la vista de estas aclaraciones, resulta evidente el frecuente abuso que los expertos del debate de las TIC hacen de términos como evolución, adaptación y especie. Es cierto que, por el momento, no se ha hablado más que de evolución biológica, y podría

argüirse que el uso que se hace de tales términos se refiere más bien a cuestiones culturales, fisiológicas y psicológicas. La puntualización es legítima y relevante para el debate, y como tal será debidamente abordada más adelante. Pero cuando se habla de ventajas evolutivas, de evolución de la especie humana, y de la bondad inherente a toda adaptación al medio, la biología evolutiva ha de reclamar su turno en el debate.

No existe tal cosa como una nueva especie de ser humano digitalizado, llámese esta quiera llamarse. No hay ningún gen que sea responsable de la “pericia digital”. Si lo hubiera, no podría ser adquirido por aquellos que no lo tuvieran. Y si pudieran adquirirlo, no les conferiría ventaja reproductiva alguna. Ergo, no habría evolución. Dicho de otra manera: no hay ninguna población humana que esté evolucionando biológicamente hacia una nueva especie digitalizada, y si la hubiera, la educación nada tendría que decir en el asunto.

Queda claro, por tanto, que el empleo de argumentos basados en la biología evolutiva es contraproducente para el debate; y que términos como evolución y adaptación han de usarse con rigor, para no cometer equívoco y confundir a la opinión pública.

4.2.2. Neurociencia

Uno de los argumentos más repetidos por los tecnoevangelistas es que el cerebro humano ha evolucionado para poder adaptarse a cualquier cosa que el medio requiera para sobrevivir, y por tanto la digitalización no debería presentar ningún problema. Antes al contrario: una vez que el cerebro humano se haya adaptado a la era digital, se podrá sacar el máximo partido a la tecnología y alcanzar niveles de desarrollo y bienestar nunca vistos. Este argumento presenta varios puntos débiles.

El primero es fácilmente detectable si se recuerda lo expuesto sobre evolución en el apartado anterior: la evolución no entiende de “paras”; la selección natural es ciega a todo lo que no sea aptitud reproductiva. El cerebro humano no ha evolucionado “para” lograr un objetivo, simplemente ha evolucionado. Este primer inconveniente puede solventarse fácilmente si se modifica la premisa de la siguiente forma: “el cerebro humano ha evolucionado de tal forma que es capaz de adaptarse a cualquier cosa que el medio requiera para sobrevivir.” Pero el argumento sigue siendo problemático. En primer lugar porque los órganos, como los individuos y las especies, no evolucionan. Y en segundo lugar porque, implícitamente, comete la falacia de asimilar evolución a progreso. Teniendo estas correcciones en cuenta, la premisa puede ser reformulada de este modo: “la evolución ha resultado en la aparición de una especie, el *Homo Sapiens Sapiens*, cuyo cerebro puede adaptarse a cualquier cosa que el medio requiera para

sobrevivir.” Una mirada atenta descubrirá que puede omitirse la primera parte sin perder ninguna información relevante para el debate. Así como no es necesario estudiar el *Big Bang* para modelizar la mecánica celeste, ni hablar de Pangea para explicar la formación de los huracanes, tampoco es necesario recurrir a la evolución para comprender el funcionamiento del cerebro. Esto no hace sino reforzar la conclusión del apartado anterior, y es que los términos y argumentos de la biología evolutiva no hacen más que entorpecer el debate.

Prescindiendo entonces de adiciones innecesarias, el argumento es el siguiente: “el cerebro del ser humano puede adaptarse a cualquier cosa que el medio requiera para sobrevivir, y por tanto la digitalización no debería presentar ningún problema.” No ocurre lo mismo con el argumento, que sigue presentando dos problemas graves, y estrechamente relacionados. El primero de ellos guarda un cierto parecido con el mencionado error de equiparar evolución y progreso. Para entenderlo, resulta útil recurrir al siguiente modelo:

1. Un sistema se encuentra en un medio con condiciones I y tiene una configuración interna A (situación I-A).
2. Se produce un cambio en el medio, pasando las condiciones de I a F.
3. Por un lapso de tiempo infinitesimal, el sistema se encuentra en un medio con condiciones F y tiene una configuración interna A (situación F-A).
4. El sistema responde modificando su configuración interna de A a B.
5. El sistema se encuentra ahora en un medio con condiciones F y tiene una configuración interna B (situación F-B).

Es lógico pensar que la situación final, F-B, es mejor que la intermedia, F-A; de lo contrario, el sistema no cambiaría su configuración. El error consiste en asumir que la situación final, F-B, ha de ser necesariamente mejor para el sistema que la inicial, I-A. Dicho de otra forma, si bien es cierto que la adaptación (paso de F-A a F-B) es beneficiosa para el sistema, no puede afirmarse lo mismo del proceso global de cambio de medio y adaptación (paso de I-A a F-B).

Multitud de ejemplos pueden ilustrar este punto. Bastará uno, particularmente ilustrativo y muy relacionado con el tema del debate: corresponde al ámbito de la neurología, y tiene que ver con el sistema de recompensa del cerebro. Cuando se alcanza un objetivo, el cerebro responde liberando el neurotransmisor dopamina, que proporciona la excitación que acompaña al éxito. Al hacerlo, la dopamina también consolida las conexiones neuronales que ayudaron a alcanzar dicho objetivo,

favoreciendo el aprendizaje. Pero el sistema de recompensa tiene también una cara negativa.

Muchas sustancias y actividades adictivas pueden activar la secreción de dopamina sin necesidad de que el sujeto haya alcanzado objetivo alguno. El consumo repetido de tales sustancias provoca un aumento permanente de la concentración de dopamina en el cerebro, provocando daños en el sistema de recompensa. Si la concentración de dopamina es muy alta durante un tiempo prolongado, las neuronas responden reduciendo el número de receptores de dopamina (D2). Este proceso, conocido como *desensibilización*, es la causa de la *tolerancia*: la necesidad de una estimulación cada vez mayor para lograr el mismo nivel de excitación y calmar el ansia compulsiva; y explica el mecanismo de la adicción a las drogas (Berke, 2000; Koob, 2004).

Un ejemplo dramático como este sirve para esclarecer el error de asimilar adaptación a mejora. En ambos casos se produce un cambio en las condiciones del medio; en ambos casos el sistema responde para adaptarse al cambio, es decir, para minimizar daños; y en ambos casos las consecuencias son devastadoras. Por supuesto, en muchas ocasiones la situación final, tras el cambio y la adaptación, es mejor que la inicial; pero no es algo que pueda darse por hecho. Es necesario estudiar cada caso con detenimiento.

Pero el ejemplo llama la atención, además, sobre el otro punto débil del argumento: asumir que la capacidad de adaptación del cerebro es ilimitada. Esta suposición errónea es el origen de gran parte de los mitos y confusiones sobre el cerebro que circulan entre los profanos de la neurociencia. Pues bien, para que el debate sea fructífero, es necesario acabar con los mitos y aclarar las confusiones. Y nada mejor que comenzar formulando correctamente el argumento:

“El cerebro del ser humano es un sistema de almacenamiento y procesamiento de información muy complejo, que de una manera continua y dentro de sus posibilidades, intenta adaptar su estructura y funcionamiento a las cambiantes exigencias del entorno. Por tanto, antes de embarcarse en una carrera digitalizadora desenfrenada, es necesario estudiar cómo responde el cerebro ante la digitalización, para determinar qué ventajas e inconvenientes tiene el uso masivo de la TIC en la enseñanza, y saber así qué medidas y precauciones han de tomarse.” El pilar central de dicho estudio será un concepto enormemente popular y frecuentemente mal utilizado, pero sumamente importante: la neuroplasticidad.

4.2.2.1. Neuroplasticidad

En el año 1998 se publicaron los resultados de una investigación que cambió para siempre el paradigma de la neurociencia: el grupo del doctor Fred H. Gage, del Salt Institute for Biological Studies, California, demostró que la regeneración de neuronas cerebrales en un humano adulto es posible (Eriksson, 1998). Hasta entonces, y a pesar de la gran cantidad de evidencias en su contra (Kaplan, 2001), uno de los dogmas centrales de la neurología afirmaba que la generación de neuronas en individuos adultos ocurría únicamente en animales de órdenes inferiores, como aves y roedores; nunca en primates (Rakic, 1985). Según se creía, la pérdida de neuronas era irreversible en un humano adulto, al ser imposible reemplazar las neuronas muertas. Usando marcadores neuronales y técnicas de inmunofluorescencia, el equipo de Gage verificó la aparición de nuevas neuronas en el hipocampo de humanos adultos, demostrando así que la generación de neuronas, o neurogénesis, no es un proceso exclusivo de las primeras etapas del desarrollo.

Ese mismo año de 1998, neurocientíficos del University College de Londres, liderados por el profesor Christopher D. Frith, demostraron que la capacidad de orientación y localización espacial está íntimamente asociada al hipocampo derecho. Se comprobó, además, que la activación del hipocampo derecho estaba estrechamente relacionada con la exactitud en la localización de los obstáculos y la navegación precisa entre los mismos (Maguire, 1998). El importante vínculo entre esta investigación y la del equipo del doctor Gage no se hizo evidente hasta dos años después.

En el año 2000, y en el marco de la misma investigación, el grupo de Frith llevó a cabo un estudio comparativo de la estructura cerebral de humanos adultos, en función de su experiencia en navegación espacial. Usando imagen por resonancia magnética nuclear (NMRI), los científicos demostraron que el hipocampo posterior de los taxistas de Londres tenía un volumen considerablemente mayor que el de las personas del grupo de control. La región anterior del hipocampo, por el contrario, era mayor en los sujetos del grupo de control. Además, en el caso de los taxistas, se comprobó la existencia de una altísima correlación entre el volumen del hipocampo y el tiempo de conducción (Maguire, 2000). Un nuevo estudio comparativo realizado tres años más tarde sirvió para descartar la posibilidad de que las diferencias observadas se debieran a una capacidad innata para la orientación, que implicase una mayor probabilidad de trabajar como taxista (Maguire, 2003).

Estos resultados, además de corroborar la función vital del hipocampo en la localización espacial, indicaban que el cerebro de un humano adulto puede sufrir

cambios plásticos en su estructura en respuesta a los requerimientos del medio. Y este principio del comportamiento cerebral no se reduce únicamente al hipocampo y la localización espacial: investigaciones posteriores han demostrado que es universal. Así, en aquellos que aprenden a hacer malabares aumenta el volumen del córtex occipito-temporal, el área encargada de la percepción visual del movimiento (Draganski, 2004); los hombres que toca en una orquesta sinfónica tienen una mayor densidad de materia gris en el área de Broca (Sluming, 2002, 2007); y los estudiantes de medicina sufren un aumento constante en el volumen del hipocampo durante su preparación para el MIR o equivalentes, que se mantiene varios meses después de aprobar el examen (Draganski, 2006). En todos los casos, la dedicación y el tiempo de entrenamiento, y no las capacidades innatas, marcan la diferencia entre el fracaso y el éxito.

Todas estas investigaciones apuntan a un mismo hecho: el cerebro de un humano adulto cambia continuamente en respuesta a los requerimientos ambientales. Puede decirse, parafraseando a Manfred Spitzer, que “el cerebro funciona de manera similar a un músculo: si se utiliza, crece; si no se utiliza, se atrofia” (Spitzer, 2013). Cuanto más intenso y sostenido sea el esfuerzo a que está sometido, más profundos y permanentes serán los cambios que experimente. Esta propiedad del cerebro se conoce como neuroplasticidad.

Dada la importancia central de la neuroplasticidad, y la frecuente mención que se hace de ella en la prensa, podría pensarse que se trata de una propiedad bien definida y entendida por la comunidad científica. Sin embargo, no es este el caso, y el término puede significar cosas muy diferentes, dependiendo del ámbito de la neurociencia en que se utilice (Shaw, 2001). En palabras del neurocientífico Vaughan Bell, “el término neuroplasticidad suena muy técnico, pero no tiene una definición aceptada, y en su sentido más amplio, quiere decir simplemente que algo en el cerebro ha cambiado” (Bell, 2010). Todo cambio en la estructura del cerebro puede ser atribuido a la neuroplasticidad, sin que ello contribuya a nuestro entendimiento más que atribuir el giro de la Tierra alrededor del Sol al movimiento. Decir que un cambio se debe a la neuroplasticidad no ayuda en nada: hace falta precisar en qué ha consistido el cambio, cuáles son sus causas, y cuáles sus posibles consecuencias. Para ello, es necesario profundizar algo más en el estudio de la neuroplasticidad.

4.2.2.1.1. Plasticidad Sináptica

Todo alumno de biología de tercero de ESO debe aprender los principios celulares básicos del funcionamiento del sistema nervioso. Debe aprender que el impulso nervioso se transmite de unas neuronas a otras a través de las sinapsis, o uniones entre

neuronas. Debe aprender que hay dos tipos de sinapsis, eléctricas y químicas. Debe aprender que la transmisión del impulso nervioso en las primeras es similar a la transmisión intraneuronal, mientras que en las segundas juegan un papel fundamental unas sustancias químicas llamadas neurotransmisores. Y debe aprender que, precisamente por eso, la transmisión es mucho más lenta en las segundas que en las primeras (LOMCE, 2013). Pero lo más interesante es lo que, sorprendentemente, el alumno no debe aprender es: ¿para qué?

¿Para qué existen las sinapsis químicas? ¿No son acaso un estorbo? El impulso nervioso podría transmitirse más rápida y eficientemente si solamente hubiera sinapsis eléctricas, sin hendiduras sinápticas ni neurotransmisores. Teniendo en cuenta que el número de sinapsis químicas en el cerebro humano está estimado en mil billones (más o menos el número de estrellas que habría en doce mil galaxias como la Vía Láctea), la pregunta es no sólo interesante, sino enormemente relevante. Su respuesta gira en torno al eje central de este apartado: la neuroplasticidad; y para dar con ella, es bueno comenzar echando la vista atrás en el tiempo.

En 1882, el psicólogo francés Théodule-Armand Ribot escribía que el soporte fisiológico de la memoria debería incluir “una asociación, una conexión específica establecida entre un número determinado de elementos.” Y especulaba con la posibilidad de que dicha asociación se fortaleciera con la repetición, “haciéndose tan estable como las conexiones anatómicas originales.” (Ribot, 1882) Algunos años después, en su Croonian Lecture de 1894, Santiago Ramón y Cajal sugería que el mecanismo neurológico del aprendizaje no tendría por qué requerir la formación de neuronas nuevas. En vez de eso, el premio Nobel español postulaba que los recuerdos podrían formarse al fortalecer las conexiones entre las neuronas para hacer su comunicación más eficiente (Ramón y Cajal, 1894). La teoría hebbiana del aprendizaje, introducida por el psicólogo Donald Hebb entre los años cuarenta y cincuenta del pasado siglo, recogía las ideas de Ribot y Cajal, y proponía que la modulación sináptica era un elemento clave en los procesos de aprendizaje (Hebb, 1949).

Desde entonces, la comunidad científica ha ido reuniendo sobradas evidencias experimentales para aceptar esas hipótesis. Los descubrimientos de Bliss y Lømo en 1973 demostraron que las sinapsis químicas tienen las características necesarias para ser un soporte físico de codificación y almacenamiento de información: pueden experimentar cambios rápidos en su fortaleza, que son persistentes y activados por patrones de estimulación fisiológica (Bliss, 1973). Más tarde, se comprobó que los fármacos que inhiben el fortalecimiento de las sinapsis químicas causan amnesia (Morris, 1989), y se demostró la correlación existente entre fortalecimiento de dichas

sinapsis y el aprendizaje (Roman, 1987; Bailey, 1993). Varios estudios mostraron también que las modificaciones que experimenta una sinapsis química dependen del tipo de aprendizaje (Bartsch, 1995). Estos y otros muchos descubrimientos han contribuido a establecer uno de los dogmas de la neurociencia moderna: que las modificaciones en las sinapsis químicas son la base fisiológica de la memoria a largo plazo, y por ende del aprendizaje. Resulta evidente, entonces, que la pérdida de velocidad y eficiencia energética es un precio a pagar muy pequeño: sin sinapsis químicas no habría aprendizaje posible.

Esta capacidad que tienen las sinapsis químicas de ser fortalecidas o debilitadas, en respuesta a aumentos o disminuciones en su actividad, es lo que los neurocientíficos denominan plasticidad sináptica, y es uno de los tipos de neuroplasticidad más importantes. Los impulsos nerviosos modifican las sinapsis químicas por las que pasan, aumentando la fortaleza de la conexión. El proceso es análogo a lo que ocurre con los caminos de monte: cuanta más gente los transita, más transitables se vuelven. En el cerebro, los impulsos nerviosos tienden a abrirse paso por los “caminos mejor asfaltados” de la red neuronal, y ese proceso de asfaltado es el aprendizaje. Recuérdese el número exorbitado de sinapsis químicas que hay en un cerebro humano, considérese esto en conjunto con el hecho de que los recuerdos no se almacenan en lugares concretos del cerebro, sino dispersos en una red neuronal, y podrá tenerse una idea adicional de la importancia de la plasticidad sináptica como base del aprendizaje y la memoria.

4.2.2.1.2. Neurogénesis

Como ya se ha visto, varios experimentos realizados entre finales del pasado siglo y principios del presente demostraron que, contrariamente a la doctrina establecida, la formación de nuevas neuronas en cerebros de humanos adultos es posible (Gage, 1998; Maguire, 2000). No sólo eso, sino que dicha formación, o neurogénesis, está relacionada con los procesos de aprendizaje y memorización (Maguire, 2003).

La neurogénesis es el proceso de formación de neuronas a partir de células madre neuronales. A día de hoy, la comunidad científica está de acuerdo en que la neurogénesis ocurre en dos regiones del cerebro de un mamífero adulto: el hipocampo y el bulbo olfativo (Gould, 2007). Existen, además, evidencias de neurogénesis en otras zonas del cerebro, pero de momento no ha sido posible replicarlas de forma consistente.

Aunque no existen datos cuantitativos referidos al cerebro humano, se sabe que en el hipocampo de las ratas se forman entre cinco mil y diez mil nuevas neuronas cada día.

Dicha formación está claramente influenciada por gran variedad de factores ambientales. Por ejemplo, el consumo de alcohol retrasa la aparición de nuevas neuronas en el hipocampo de un humano adulto (Anderson, 2012); experimentos con roedores han demostrado que el ejercicio físico incrementa la tasa de neurogénesis, mientras que el aislamiento social la reduce (Stranahan, 2006); la privación del sueño y toda forma de estrés tienen efectos negativos en la formación de nuevas neuronas (Mirescu, 2006, 2006a); y los antidepresivos y los arándanos han probado ser buenos estimulantes neurogenéticos del hipocampo (Shors, 2009). ¿Pero cuál es la relación de todo esto con el aprendizaje?

Los ejemplos de los taxistas londinenses y los estudiantes de medicina demostraban que un entrenamiento exitoso provocaba un aumento de tamaño en el hipocampo, como consecuencia del incremento del número de neuronas es esa parte del cerebro. Sin embargo, hacer ejercicio, tomar antidepresivos y comer arándanos también favorecen la neurogénesis, y el consecuente aumento del tamaño del hipocampo, pero no implican per se aprendizaje alguno. ¿Cuál es la diferencia entre ambos casos? En lo que al cerebro se refiere, ¿es equivalente estudiar y aprobar el MIR a desayunar todos los días tostadas con mermelada de arándanos? Por desilusionante que pueda parecer, la respuesta es un rotundo no.

El ejercicio físico y el consumo de arándanos estimulan la formación de nuevas neuronas en el hipocampo, pero no garantizan que dichas neuronas sobrevivan: la mayor parte de ellas mueren a las pocas semanas de su aparición. ¿Para qué tanta neurogénesis entonces? “A la vista de nuestra investigación con ratas, parece que la respuesta más acertada es: las neuronas se forman ‘por si acaso’. Si los animales son sometidos a retos cognitivos, las nuevas células sobrevivirán. Si no, desaparecerán.” Así contesta la neurocientífica y psicóloga cognitiva Tracey J. Shors, una de las pioneras de la investigación de la relación aprendizaje-neurogénesis (Shors, 2009). En colaboración con Elizabeth Gould, actualmente profesora en la Universidad de Princeton, Shors descubrió que es el proceso de aprendizaje lo que rescata a las nuevas neuronas del hipocampo de una muerte segura (Gould, 1999). Pero no todos los tipos de aprendizaje funcionan.

A lo largo de los años y mediante una serie de experimentos con ratas y primates, Gould y Shors han demostrado que el aprendizaje permite la supervivencia de las neuronas formadas en el hipocampo si y sólo si la experiencia de aprendizaje es nueva, exigente y exitosa. Entrenar una habilidad ya dominada no impide la muerte de las nuevas células. Aprender habilidades sencillas, que no requieran esfuerzo mental, no impide la muerte de nuevas células. Y un aprendizaje fallido, por más horas que se dediquen al

entrenamiento, no impide la muerte de nuevas células (Shors, 2014). Por qué ocurre así no está todavía claro, pero todo apunta a que la razón deriva de uno de los principios básicos de la fisiología animal y vegetal, que puede formularse así: en un organismo pluricelular, una célula aislada no puede sobrevivir.

Varios investigadores han demostrado que las tareas que conllevan un aprendizaje exigente provocan una activación más intensa de las zonas del hipocampo en que se encuentran las nuevas neuronas, concretamente en el giro dentado. Más aún, han comprobado que el “ajetreo” neuronal en el hipocampo está ligado al aprendizaje: los animales que muestran más activación son aquellos que mejor aprenden las tareas (Curlik, 2011). Además, los experimentos indican que hay un período crítico de tiempo en que el aprendizaje es capaz de evitar la muerte de las células recién formadas. Este período crítico corresponde a la fase en que dichas células, que hasta entonces no estaban especializadas, comienzan a diferenciarse en neuronas: desarrollan dendritas y axones, y comienzan a responder adecuadamente a ciertos neurotransmisores (Leuner, 2006).

Estos descubrimientos sugieren que las recién formadas células han de estar lo suficientemente maduras e interconectadas con otras neuronas del cerebro para poder tomar parte en el aprendizaje. Es en ese estado del desarrollo neuronal cuando un aprendizaje exigente favorece la diferenciación de las nuevas neuronas, e induce la sinaptogénesis y el fortalecimiento sináptico en las mismas, engarzándolas en la red neuronal y garantizando así su supervivencia. Por el contrario, si no hay aprendizaje, o si este no ha requerido esfuerzo alguno por parte del animal, las neuronas no reciben la estimulación que necesitan para integrarse en la red neuronal y mueren. La actividad física y los arándanos pueden estimular la formación de nuevas neuronas en cerebros de mamíferos adultos, pero es necesario un aprendizaje exigente y significativo para que estas sobrevivan.

Ahora bien, la demostrada relación de causación entre el aprendizaje significativo y la supervivencia de las neuronas formadas (Dalla, 2006; Waddell, 2008; Curlik, 2011) no indica nada sobre la función de estas últimas. Es evidente que no pueden ser las responsables del mismo aprendizaje que ha hecho posible su supervivencia. La mayor parte del aprendizaje ocurre casi instantáneamente, en el orden de segundos, si no menos. Además, el cerebro no puede esperar cerca de una semana para que se formen nuevas neuronas, se diferencien y se engarchen en la red neuronal cada vez que un animal tiene que aprender algo. ¿Cuál es, pues, la función de estas rescatadas neuronas?

Para averiguarla, Gould y Shors decidieron estudiar las capacidades cognitivas de animales que no experimentasen neurogénesis en el hipocampo, y compararlas con las de animales normales. “Si estas células [las formadas por neurogénesis] son importantes para el aprendizaje”, razonaban, “aquellos animales que carezcan de ellas serán peores estudiantes” (Shors, 2009). Para evitar la formación de neuronas, administraron a las ratas durante varias semanas un fármaco llamado MAM, que inhibe la división celular (Gould, 1999). Comprobaron que las ratas que habían sido tratadas con el fármaco se desempeñaban igual que el resto en tareas sencillas que implicaban al hipocampo. Sin embargo, dichas ratas demostraron tener dificultades a la hora de aprender tareas más complejas. Parece claro, por tanto, que si las nuevas neuronas son necesarias para el aprendizaje, entran en juego únicamente en situaciones complejas, que demandan cierto esfuerzo cognitivo.

Según Shors, este tipo de especialización tiene mucho sentido desde el punto de vista biológico, pues a un animal no le conviene depender de la neurogénesis para responder a situaciones en que está en juego su supervivencia: la primera requiere alrededor de una semana, la segunda es cuestión de segundos. Así que es muy razonable pensar que las neuronas rescatadas estarán implicadas en el aprendizaje de nuevas estrategias que refinen y extiendan habilidades ya adquiridas. En la jerga de la psicología y la pedagogía, eso es lo que se denomina “aprender a aprender” (Shors, 2009).

Por cuestiones de índole ética y también práctica, resulta difícil llevar a cabo investigaciones de este tipo con seres humanos. No obstante, y por desgracia, la medicina moderna proporciona la clave para extrapolar estos resultados a humanos: la quimioterapia. La quimioterapia funciona inhibiendo la división celular, impidiendo así el avance de los tumores y reduciendo su extensión. Desgraciadamente, los fármacos descubiertos hasta el momento no sólo inhiben la división de células tumorales, sino de muchas otras, incluyendo las del hipocampo. Es decir, la quimioterapia inhibe la neurogénesis (Mustafa, 2008). No resulta sorprendente entonces que un porcentaje importante de las personas que están sometidas a un tratamiento de quimioterapia suelen quejarse de que les cuesta aprender y recordar las cosas, aunque no tengan dificultad cognitiva alguna para llevar a cabo tareas sencillas y cotidianas (Seigers, 2008).

En resumen, las investigaciones realizadas hasta la fecha sugieren que las experiencias de aprendizaje exigentes, repetidas y significativas favorecen la supervivencia de las neuronas generadas en el hipocampo de mamíferos adultos. Además, indican que dichas células están directamente involucradas en procesos de aprendizaje posteriores que se pueden incluir en la competencia conocida como “aprender a aprender”.

4.2.2.2. Neuroplasticidad y debate de las TIC

A lo largo del presente apartado se han ido explorando aspectos de la neuroplasticidad, que serán de gran ayuda para interpretar y discutir los resultados de varias investigaciones de psicología cognitiva que se exponen en la próxima sección del trabajo. Conviene, no obstante, detenerse un momento antes de proceder a tal discusión, para analizar ciertas tendencias que ha generado la popularización del término “neuroplasticidad”, y que están causando bastante confusión en el debate sobre las TIC en la educación; y en muchos otros.

El cerebro cambia, sí, pero su capacidad de cambio no es ilimitada. Y los cambios que sufre no son necesariamente favorables. La cuestión, como ya se ha dicho, es investigar cuáles son las causas del cambio, en qué consiste este, y qué consecuencias tiene. Decir simplemente que tal cosa puede cambiar el cerebro, o que la neuroplasticidad del cerebro le permitirá adaptarse a tal otra no ayuda en nada. Desgraciadamente, este comportamiento es bastante habitual entre tecnoevangelistas y tecnófobos. Los primeros pregonan el gran potencial que esconde el cerebro humano y que podrá ser liberado gracias a la tecnología digital, trayendo así una era dorada de prosperidad y desarrollo tecnológico nunca vistos. Los segundos, por el contrario, alertan contra los daños irreparables que, por oscuras razones generalmente relacionadas con los neurotransmisores, está causando la tecnología digital al cerebro humano, y que precipitarán sin remedio a la humanidad entera a unos tiempos aciagos. Y la neurociencia se limita a exponer que el cerebro cambia, pero que no puede adaptarse a cualquier cosa; y que el cerebro cambia, para bien y para mal. Y la neurociencia pide — porque lo requiere— tiempo y cautela.

El cerebro cambia, sí, pero este descubrimiento no es nuevo. Quizás una de las razones por las que el término neuroplasticidad se ha hecho tan popular es la creencia de que su existencia era algo desconocido hasta hace poco. Uno de los mantras más aireados en la prensa y las redes sociales es que, gracias a los recientes descubrimientos de la neurociencia, se sabe por fin que el cerebro no es inmutable. Sin embargo, y como recoge este trabajo, las primeras evidencias de plasticidad cerebral datan del siglo diecinueve (Lindley, 1897), y la investigación al respecto se extiende a lo largo de todo el siglo veinte (van Gijn, 2009; Bach-y-Rita, 1967; Azmitia, 2007). Parece ser que el origen de esta confusión se debe, por una parte, al descubrimiento de Fred H. Gage en 1998 de que la neurogénesis en humanos adultos es posible, y por otra parte, a la proliferación de técnicas de imagen cerebral en ciencia y medicina, y a su popularidad en los medios.

Y finalmente, el cerebro cambia, sí, pero eso no lo explica todo. En palabras de Tom Stafford, profesor de psicología cognitiva de la Universidad de Sheffield, “toda la neurociencia es la ciencia que estudia cómo cambia el cerebro, y si no te dicen exactamente en qué consiste el cambio, entonces están haciéndote perder el tiempo o tratando de engañarte”, o ambas cosas (Stafford, 2006). El uso abusivo que se hace de la neuroplasticidad en los medios para explicar cualquier aspecto de la psicología humana ha convertido el término en un mero recurso dialéctico, una palabra hueca que, sin aclaraciones adicionales, no aporta nada más que confusión. Esta tendencia a utilizar términos o evidencias neurocientíficas en cualquier debate que verse sobre la mente o el comportamiento humano se conoce como “neuroesencialismo”, aunque algunos lo llaman también, con mucho acierto, “neuroestupidez.” Clíodhna O’Connor, profesora del University College de Londres, distingue entre el “neurorealismo,” o empleo de imágenes cerebrales para tratar de hallar unas bases objetivas para el estudio del comportamiento humano; el “neuroesencialismo,” o la creencia de que el cerebro es la esencia única de la personalidad; y la “neuropolítica,” definida como el “uso interesado de la neurociencia para apoyar agendas políticas e ideológicas.” La información acerca del cerebro tiene hoy un gran poder retórico, de tal forma que hasta la evidencia neurocientífica más irrelevante otorga autoridad y credibilidad al argumento que de ella abuse (O’Connor, 2012).

Es imprescindible, por tanto, no caer en el neuroesencialismo e incorporar al debate las investigaciones de psicólogos y pedagogos que permitan poner en su sitio las evidencias neurocientíficas. Por supuesto, estas últimas pueden ser de ayuda, además de para aclarar confusiones y enterrar mitos populares, para comprender e interpretar los resultados de experimentos psicológicos y pedagógicos. Pero jamás pueden ser el único punto de referencia para el debate sobre las TIC en educación, ni para ningún otro. Por este motivo, lo que resta de este trabajo se dedicará a exponer las investigaciones en el campo de la psicología cognitiva y la educación que sean más relevantes para el debate en cuestión.

4.3. Evidencias científicas y empíricas

Evolución, adaptación y neuroplasticidad han sido conceptos clave en la discusión sobre las bases biológicas y neurocientíficas del debate de las TIC en la enseñanza. Es tiempo ahora de subir unos peldaños: del cerebro a la mente, y de la mente a la educación.

Desde el punto de vista de un educador, la revolución digital puede resumirse en dos palabras: internet y pantalla. Ambos avances han cambiado las reglas del juego de la enseñanza: internet por ser una fuente de información casi ilimitada, permanente y de acceso instantáneo; y la pantalla por ser el umbral que separa lo real de lo virtual. Las consecuencias de este cambio son difíciles de sobrestimar.

Internet, siempre disponible, siempre con la respuesta adecuada, “el amigo que todo lo sabe y que nunca falla” (Wegner, 2013), ha transformado radicalmente el mundo de la educación, y la sociedad al completo. Los descubrimientos más recientes de la psicología cognitiva no dejan lugar a dudas: la disponibilidad permanente de la nube, la inmensidad de la red, y la rapidez con que esta puede navegarse están dejando una huella profunda en la mente de los usuarios. Coinciden en esto tecnoescépticos y tecnoevangelistas; coinciden incluso en las capacidades y procesos cognitivos en que tal huella se hace manifiesta. Pero no coinciden en la bondad de las consecuencias. ¿Pérdida de memoria o metamemoria? ¿Baja capacidad de atención o atención distribuida? ¿Multitarea sí o multitarea no? Estas preguntas, íntimamente relacionadas entre sí, son las que vertebran el debate. Pero hay algo más, algo sin lo cual nada de esto sería posible: la pantalla.

La pantalla, esa omnipresente superficie, fiel compañera de fatigas de inmigrantes y nativos digitales, es la ventana de acceso a la red y a la nube, el portal del mundo virtual. Su luminosidad, superficialidad y ubicuidad no son asuntos triviales, como se verá más adelante. Ebook o libro, lápiz o teclado, deslizar o manipular, superficie o volumen, fragmentación o integración, inmediatez o espera, son algunas de las controversias que suscita el uso de las pantallas y que han sido prolijamente investigadas por neurocientíficos, psicólogos y pedagogos.

En esta sección del trabajo se presentan por fin las evidencias científicas que conciernen directamente al debate sobre el uso de las tecnologías digitales en la educación. Los fundamentos de neurociencia explicados anteriormente ayudarán a entender algunos de los resultados que se expondrán a continuación, pero también a evitar extrapolaciones reduccionistas y absurdas. La exposición tendrá como protagonistas a los dos avances tecnológicos ya mencionados: internet y la pantalla, las

consecuencias de cuyo uso se estudiarán de forma independiente. En ambos casos se recurrirá a los principios de la psicología que sean de ayuda para entender los experimentos más importantes.

4.3.1. ¿Pérdida de memoria o metamemoria?

“Es como un vaso en el que se está vertiendo agua sin parar, de tal forma que el agua que se encuentra en el borde tiene que derramarse continuamente para hacer sitio al agua que entra.” Con esta comparación explica Tony Schwartz, CEO del Energy Project y autor del libro *Be Excellent at Anything*, la realidad de una mente conectada a internet. En su opinión, los usuarios de internet ya no son capaces de manejar la gran cantidad de información a que están expuestos. Están constantemente perdiendo la información que acaban de recibir, constantemente reemplazándola; no tienen forma de almacenarla. “Te acabas sintiendo sobrepasado, porque lo que te queda es un cúmulo interminable de datos a los que no eres capaz de dar forma ni significado” (Gregoire, 2013).

A estas alturas del trabajo, la vida del nativo digital es de sobra conocida, pero algunas estadísticas adicionales pueden dar una idea aún más certera del tipo de existencia a que se refiere Schwartz: dos tercios de los usuarios de smartphones comprueban su teléfono en busca de mensajes, alertas y llamadas incluso cuando este no suena o vibra (Pew Research Center, 2017); el usuario medio chequea su smartphone cada seis minutos y medio; el 59% de los usuarios usan el smartphone para mirar el correo electrónico en el baño (Gregoire, 2013); un adulto medio pasa 5,6 horas al día conectado a internet, un adolescente 9 horas, y la tendencia es al alza (Wallace, 2015). En resumidas cuentas, el usuario medio de internet vive sometido a una sobrecarga informativa. Ahora bien, ¿son las consecuencias de dicha sobrecarga tan devastadoras como afirma Schwartz? Responder a esta pregunta requiere acudir a la psicología cognitiva y, de nuevo, pero esta vez sólo un poco, echar la vista atrás en el tiempo.

En la década de los ochenta, el psicólogo de Harvard Daniel Wegner detuvo su atención en un fenómeno tan común como aparentemente banal: los cónyuges suelen repartirse las tareas memorísticas (Wegner, 1985). Un ejemplo del propio Wegner servirá para ilustrarlo. “Una pareja recibe una invitación para asistir a un cumpleaños. Tras muchos años juntos, cada uno de los miembros sabe intuitivamente lo que hacer. Uno se enterará de la etiqueta. El otro recordará el día y el lugar del evento.” Juntos, saben mucho. Separados, no tanto (Wegner, 2013). Wegner sospechaba que esta división tiene lugar porque los humanos tenemos muy buena “metamemoria.” Somos conscientes de nuestras fortalezas y debilidades mentales, e intuimos certeramente las

habilidades memorísticas del resto. “Compartimos las tareas memorísticas porque ello nos convierte en un colectivo más inteligente”, afirmaba. Experimentos posteriores confirmaron sus hipótesis y extendieron el alcance de las mismas (Wegner, 2013).

Toda clase de conocimientos, del dato más trivial al teorema más sublime, son distribuidos entre los miembros de un grupo social. Y cada uno de los miembros no recuerda únicamente la información almacenada en su propia mente, sino que “recuerda” además qué clase de información almacenan el resto de los miembros en las suyas. “Sencillamente, grabamos tanta información dentro de nuestras mentes como fuera de ellas”, indica Wegner. Esta distribución evita esfuerzos innecesarios y contribuye a aumentar la capacidad memorística del grupo como tal. Delegando gran parte de la responsabilidad de memorizar en el grupo, cada miembro puede dedicar sus recursos cognitivos a profundizar en las áreas de las que es responsable, logrando así acceso a un conocimiento que es al mismo tiempo más amplio y más profundo del que podría obtener por sí solo. De este modo, aumenta la cohesión grupal, pues cada miembro necesita el conocimiento colectivo para poder sobrevivir. Este fenómeno fue bautizado por Wegner y sus colaboradores como “memoria transactiva” (Wegner, 1985).

Ahora bien, esta forma de distribuir la información a través de la memoria transactiva se desarrolló en la era pre-digital, cuando la mayoría de las interacciones sociales ocurrían cara a cara y la mente humana era el único sistema de almacenamiento de información dinámico. La llegada de los ordenadores y de internet ha cambiado por completo el panorama.

Pocos años atrás, el equipo de investigación de Wegner demostró hasta qué punto internet está reemplazando a los miembros de la sociedad como ayuda en la distribución de las tareas memorísticas. Mediante una serie de experimentos, los investigadores descubrieron que la gente trata a internet como un sujeto de memoria transactiva: delegando en la nube la memorización de internet en vez de almacenarla internamente. Esta tendencia a delegar en la nube es tan irrefrenable que dificulta a los usuarios la memorización de información que saben que podrán encontrar online. Además, los experimentos demostraron que la gente piensa inmediatamente en internet cuando se le solicita una información de que no dispone. “Es como si estuviésemos programados para dirigirnos al ordenador cada vez que nos encontramos con lagunas de conocimiento,” señalaban los autores de la investigación. Finalmente, se constató el papel cada vez más preponderante que tiene la metamemoria en la actividad cognitiva de los usuarios de internet: la gente recuerda con más probabilidad

dónde encontrar una información que los detalles de la misma si se le garantiza que podrá tener acceso a ella cuando lo desee, como ocurre con la nube (Sparrow, 2011).

Los resultados de esta investigación sugieren que la gente considera a internet un miembro de su grupo social en términos de memoria transactiva. Los usuarios delegan sus recuerdos en la nube como si esta fuese un familiar o un amigo. No obstante, internet es diferente a cualquier compañero humano de memoria transactiva que haya existido: almacena muchísima más información y puede ofrecerla mucho más rápidamente. Lo sabe prácticamente todo, y está siempre presente, basta con teclear en el portátil o deslizar el dedo por la pantalla del móvil. Así, parece que el acceso generalizado a internet no sólo está acabando con la necesidad de distribuir la información entre los miembros de un grupo social, sino eliminando incluso las responsabilidades memorísticas de cada uno de los miembros del mismo. Esto es lo que los investigadores han dado en denominar el “efecto Google” (Wegner, 2013). Pero las novedades cognitivas que ha traído consigo la revolución digital no acaban aquí, y es que internet está alterando incluso la percepción que tienen los usuarios de lo que saben: la distinción entre memoria interna, lo que un miembro del grupo sabe, y memoria externa, la información que posee el resto del grupo, cambia radicalmente cuando el compañero de memoria transactiva es internet.

Una investigación muy reciente realizada por un grupo de científicos de la Universidad de Yale ha demostrado que las fronteras entre el conocimiento personal de un usuario y la ingente cantidad de información que atesora la nube se están disipando. El grupo, liderado por el profesor Frank C. Keil, ha comprobado que buscar información en internet crea una ilusión por la cual la gente confunde el acceso a la información con su entendimiento de la misma. Los experimentos realizados muestran que la búsqueda de información online induce a los usuarios a sobrestimar su nivel de conocimiento, creyendo erróneamente que la información que han obtenido de la red estaba ya almacenada en su mente. Conforme la tecnología digital facilita el acceso a una cantidad cada vez más grande de información, la capacidad de los usuarios de evaluar su conocimiento offline real es cada vez menor. Así, esta confusión de los límites entre el conocimiento interno y externo puede conducir a la gente a sobrevalorar su capacidad de enfrentarse a retos cognitivos sin ayuda externa (Fisher, 2015).

Más recientemente aún, un grupo de investigación de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign ha descubierto que la búsqueda de información en internet es un potente condicionante. Mediante tres experimentos, los investigadores demostraron que usar la red para obtener una determinada información aumenta las probabilidades de volver a utilizarla en el futuro para obtener otra información cualquiera. No sólo eso,

sino que además disminuye la disposición de los usuarios a buscar en su memoria antes de recurrir a la nube para recabar una información que necesitan; y esto redundaría en un peor aprendizaje de dicha información. En palabras de los autores del descubrimiento, “parece que llevar a cabo unas pocas búsquedas en Google es suficiente para reducir temporalmente el deseo de una persona de enfrentarse a retos cognitivos desafiantes” (Storm, 2016).

Hasta aquí los resultados de las investigaciones más relevantes. ¿Qué conclusiones pueden extraerse de ellas? Como tantas veces, hay opiniones enfrentadas entre los científicos.

Daniel Wegner advertía unos años atrás que la revolución digital parece haber creado una generación de gente que cree saber más de lo que nunca nadie ha sabido, cuando lo cierto es que su dependencia de internet puede significar justo lo contrario: que las nuevas generaciones sepan cada vez menos acerca del mundo que les rodea. Sin embargo, continuaba Wegner, a medida que la especie humana se integre en lo que él llama la “inter-mente,” desarrollará un nuevo tipo de inteligencia que ya no estará anclada en los recuerdos internos de la gente. De este modo, conforme los individuos se vayan liberando de la necesidad de recordar hechos, podrán dedicar sus recién estrenados recursos mentales a empresas más ambiciosas. Gracias a los avances en computación y transmisión de datos, “[los humanos] podremos trascender algunos de los límites naturales de la memoria y el pensamiento, impuestos por los defectos de la cognición humana,” aventuraba Wegner. Y lanzaba un mensaje tranquilizador: “este cambio no significa que estemos en peligro de perder nuestra identidad. Estamos simplemente fundiéndonos con algo más grande, formando una colaboración transactiva con la fuente de información más potente que jamás ha existido.” (Wegner, 2013).

El psiquiatra alemán Manfred Spitzer se muestra mucho menos optimista. En su famoso libro *Demencia Digital*, asegura que los hallazgos realizados por Wegner y sus colaboradores son perfectamente explicables en base a dos fenómenos cognitivos de sobra conocidos. El primero de ellos es el “efecto Zeigarnik,” así llamado en honor a su descubridora, la psicóloga rusa Bluma Zeigarnik. Durante los años veinte del pasado siglo, Zeigarnik, discípula del famoso psicólogo de la *Gestalt*, Kurt Lewin, descubrió que las acciones inacabadas tienen casi el doble de probabilidades de ser grabadas en la memoria que las acciones acabadas (Zeigarnik, 1927). Ello implica que toda actividad o recurso que induzca al sujeto a percibir una acción como acabada será perjudicial para la memorización y el aprendizaje. La vasta cantidad de información almacenada en internet, y la facilidad y rapidez con que esta puede consultada están amenazando con

extinguir las tareas cognitivas inacabadas, alerta Spitzer (Spitzer, 2013). Los resultados obtenidos por los psicólogos de la Universidad de Illinois no han hecho sino confirmar las predicciones de Spitzer (Storm, 2016). El segundo fenómeno al que se refiere el psiquiatra alemán es el olvido voluntario, que fue descubierto en los años sesenta del pasado siglo, gracias a unos experimentos realizados con estudiantes. Los investigadores proporcionaron a los estudiantes unos contenidos que debían aprender; y después del tiempo de estudio, comunicaron a los estudiantes de qué contenidos serían examinados y de cuáles no. No obstante, en el examen subsiguiente se incluyeron preguntas de todos los contenidos estudiados, y se comprobó que los estudiantes fueron incapaces de recordar los contenidos que supuestamente habían sido descartados para el examen (Bjork, 1968). Los participantes en el experimento de Wegner mostraron un comportamiento muy similar, recuerda Spitzer. Como indicaron los propios autores del artículo: “era evidente que los participantes no hicieron esfuerzo ningún de memorización porque pensaban que podrían consultar los enunciados más tarde” (Sparrow, 2011). Según Spitzer, al delegar cada vez más tareas cognitivas en internet, los usuarios están entregando el control sobre su comportamiento y sus actividades mentales (Spitzer, 2013).

Los temores del profesor Spitzer cobran aún más fuerza a la vista de lo expuesto en este trabajo acerca de la plasticidad cerebral. Las investigaciones sobre la plasticidad sináptica y su papel en la memoria han demostrado que, a nivel cerebral, el procesamiento de una materia y su aprendizaje son una y la misma cosa (Mayford, 2012). El correlato neuronal del aprendizaje es el fortalecimiento de las sinapsis químicas, y dicho fortalecimiento es consecuencia del paso repetido de impulsos nerviosos, es decir, del procesamiento de información. Además, y como demuestran las investigaciones en neurogénesis de la última década, el aprendizaje de tareas complejas es requisito indispensable para poder enfrentarse a retos aún más complejos en el futuro (Shors, 2009). Dicho de otra manera, para aprender a aprender es necesario primero aprender; y para aprender es necesario procesar la materia una y otra vez. De ahí que resulte tan preocupante la tendencia creciente de los usuarios a abandonar cada vez más tareas de memorización, y a delegar en internet los desafíos cognitivos que se les presentan (Sparrow, 2011; Storm, 2016). Y de ahí también que los argumentos que recurren a la “inter-mente” y a “un nuevo tipo de inteligencia que ya no esté anclado en los recuerdos de la mente” tengan tan poco fuste. A primera vista, parecen de ciencia-ficción; tras un poco de neurociencia, se quedan sólo en ficción. Wegner y otros afirman que la digitalización podrá liberar a la especie humana de la necesidad de recordar hechos y ayudarle a trascender los límites naturales del pensamiento. Quizás una analogía sirva para mostrar lo absurdo de tal predicción: gracias a la plasticidad

muscular, el triunfo de la automoción liberará a los humanos de la necesidad de caminar y les ayudará a trascender los límites naturales de la locomoción. De este modo, podrán dedicar sus recursos locomotores a empresas motoras más ambiciosas, como permanecer sentados todo el día y deslizar ágilmente sus dedos por una pantalla táctil. Es obvio que delegar cada vez más “tareas locomotoras” conduciría, y de hecho conduce, a la atrofia muscular. Y a nadie se le ocurre celebrar este hecho ni justificar su bondad recurriendo a la plasticidad muscular.

Por otra parte, afirmar que la actual tendencia no es más que una nueva manifestación de la memoria transactiva, y que por tanto no hay motivos para la preocupación, es como poco inexacto (Thompson, 2013). La memoria transactiva es un recurso imprescindible para la cohesión y la supervivencia de un grupo humano, nadie lo discute. Pero necesita de la existencia de responsabilidades cognitivas, de memorias internas: cada miembro del grupo es experto en algo, y los demás se benefician de esa experiencia. Si cada miembro del grupo pudiera adquirir la experiencia del resto simplemente “consultando” la memoria externa, no habría memoria transactiva, y probablemente el grupo se disgregaría. Además, ser un experto consiste en poseer una gran cantidad de conocimientos, y tener la capacidad de utilizarlos con flexibilidad y rapidez, lo cual es imposible cuando dichos conocimientos están almacenados en una memoria externa (Benjamin, 2008). Con la supremacía de internet, el experto es sólo uno, y los usuarios abandonan cada vez más sus responsabilidades cognitivas, recurriendo a la memoria externa y reteniendo únicamente su metamemoria. Así, la memoria transactiva está dando paso a una memoria centralizada; y esto es algo nunca visto, y no muy alentador. Todo apunta a que Tony Schwartz no andaba desencaminado.

4.3.2. La multitarea: ¿Baja capacidad de atención o atención distribuida?

“Las personas con las que hablábamos decían continuamente, mira, cuando de verdad necesito prestar atención, apago todos los aparatos y me concentro al cien por cien. Y por desgracia, han adquirido hábitos mentales que les impiden concentrarse al cien por cien. No pueden resistirse a lo irrelevante. Sencillamente, no pueden prestar atención a una sola cosa.” Así describía la realidad de las personas habituadas a la multitarea el fallecido Clifford Nass, matemático, sociólogo, pionero en el estudio de la interacción hombre-computador y profesor de comunicación de la Universidad de Stanford (Nass, 2013). Aunque no es un invento de la era digital, la multitarea, o realización simultánea y consciente de varias actividades, nunca había sido tan intensa y generalizada como

ahora. La llegada de internet y los medios digitales ha convertido la multitarea en el modo normal de trabajo e interacción social de las nuevas generaciones; y de las no tan nuevas. Y su aceptación no para de crecer (Rideout, 2010). Este testimonio de un joven participante en un estudio de la Kaiser Family Foundation sirve para entender a qué se refiere Nass con la multitarea:

“Cada segundo que estoy online lo paso en modo multitarea. En este mismo momento estoy viendo la televisión, comprobando mi email cada dos minutos, leyendo una discusión sobre quién mató a JFK, grabando música en un CD y escribiendo este mensaje” (Rideout, 2006).

¿Qué efectos tiene este tipo de comportamiento? El profesor Nass se mostraba tajante: “el modo multitarea, tan estimulado y recompensado en esta nuestra era digital, puede modificar tu cerebro de forma muy perjudicial.” Y Clifford Nass no fue nunca ningún tecnófobo. Al contrario, su motivación para estudiar y entender la multitarea fue la envidia que sentía hacia aquellos que parecían ser capaces de vivir continuamente en multitarea: “Tenía envidia de mis estudiantes y quería saber si era verdad que podían hacer algo de lo que yo no era capaz. Quería conocer el secreto de su éxito” (Nass, 2013). Así que él y sus colaboradores en Stanford, Eyal Ophir y Anthony Wagner, se dispusieron a realizar una investigación que les diera la respuesta. (En lo que sigue, se utilizará el término multitarea para referirse únicamente a la multitarea digital o mediática.)

En conjunto, los experimentos que realizaron demostraron que las personas habituadas a la multitarea tienen más dificultades para filtrar estímulos distractores presentes en el medio, son menos capaces de ignorar las informaciones irrelevantes de su memoria, y son menos eficientes a la hora de cambiar de tarea. Este último resultado fue especialmente sorprendente, dada la importancia que tiene el cambio de tarea en el desempeño de la multitarea. Nass y sus colaboradores llevaron a cabo varios test adicionales para confirmar que las diferencias de rendimiento observadas no se debían a diferencias entre las capacidades cognitivas de ambos grupos. Además, demostraron que incluso dentro de las personas habituadas a la multitareas había diferencias apreciables: los participantes más multitarea eran más sensibles a las distracciones (Ophir, 2009).

Posteriormente investigaciones han confirmado los resultados relativos a la filtración de estímulos distractores (Cain, 2011), pero no todos han podido replicar aquellos relativos al cambio de tarea (Alzahabi, 2013). También se ha descubierto que las persona multitarea se desempeñan peor que las no multitarea en las tareas que

implican a la memoria de trabajo (Minear, 2013); y que esta tendencia es independiente de la existencia de estímulos distractores, y va unida también a peores rendimientos de la memoria a largo plazo. Se confirma, por tanto, que la multitarea frecuente está relacionada con una capacidad reducida de utilizar el pasado, remoto o cercano, para comprender el presente (Uncapher, 2016). Todas las investigaciones concuerdan en asociar la multitarea crónica con una mayor distribución de la atención, lo que puede dar lugar a una mayor dificultad para filtrar la información irrelevante.

Por otro lado, los estudios empíricos han revelado que la práctica de multitarea durante el tiempo de estudio está asociada con bajos rendimientos académicos (Rosen, 2013). Se ha demostrado también que los estudiantes que realizan una actividad en modo multitarea tardan más tiempo en acabarla, o en alcanzar el mismo rendimiento, que aquellos que la realizan en dedicación exclusiva (Bowman, 2010; Fox, 2009); y que los estudiantes que tienen el portátil encendido durante una clase magistral recuerdan peor los contenidos de la misma (Hembrooke, 2003). Sin embargo, la relación entre la práctica frecuente de la multitarea y el rendimiento académico es desconocida, tanto en estudiantes universitarios como en adolescentes (Uncapher, 2016).

Hasta el momento se han tenido en cuenta investigaciones de dos tipos: estudios empíricos y experimentos controlados. Los primeros tienen la desventaja evidente de que no permiten dilucidar relaciones de causación entre las distintas variables; mientras que los segundos no utilizan escenarios realistas, por lo que sus resultados no son fácilmente extrapolables a la vida real. Para remediar estas limitaciones, el propio Clifford Nass llevó a cabo un nuevo experimento, en condiciones más realistas (Lottridge, 2015). Los resultados mostraron un panorama mucho más complejo que el de los experimentos controlados anteriores. Se demostró que los multitarea se beneficiaban cuando las fuentes de información proporcionada eran relevantes, y se veían perjudicados cuando eran irrelevantes. Los no multitarea, por su parte, no se veían muy afectados por el cambio. Parece razonable pensar que los multitarea han desarrollado técnicas eficientes de muestreo de información, que les son muy útiles cuando todas las fuentes son relevantes; sin embargo, son incapaces de ignorar el material interesante pero irrelevante. “Por desgracia,” señalan los autores, “la multitarea crónica casi siempre ocurre en presencia de fuentes de información irrelevante” (Lottridge, 2015). Cuanto más expuestos a los medios digitales están los usuarios, más practican la multitarea (Ellis, 2010); y cada vez más estudiantes practican la multitarea mientras estudian o hace los deberes (Rosen, 2013). El experimento, en definitiva, no fue tan realista como los autores pretendían. No sólo eso, sino que las condiciones de trabajo que permitieron el buen desempeño de los

multitarea, además de ser poco realistas, difícilmente pueden ser consideradas como multitarea.

Todas las investigaciones concuerdan en la correlación de la multitarea crónica con déficits en habilidades cognitivas que son críticas para manejarse adecuadamente en la vida: almacenar, organizar y recuperar información. Sin embargo, la dirección de causalidad es aún desconocida: si la multitarea frecuente es la causa de las deficiencias observadas en los HMMs o si la gente con tales deficiencias es más propensa a la multitarea. Un poco de neurociencia puede arrojar algo de luz sobre el asunto.

En el año 2007, se publicó una investigación neurocientífica sobre los efectos de las distracciones en el aprendizaje. Los experimentos mostraban que la activación del hipocampo durante el aprendizaje se producía únicamente en ausencia de distracciones (Poldrack, 2007). Como ya se ha dicho repetidas veces, el hipocampo es fundamental para el aprendizaje y la memoria: organiza la memoria a corto plazo, dirige el almacenamiento de los recuerdos en la memoria a largo plazo. Se sabe, además, que la neurogénesis en el hipocampo ocurre como consecuencia de la realización exitosa de tareas cognitivas desafiantes. Y se sabe también que las neuronas generadas como consecuencia de la misma son la base neurológica de la capacidad de aprender a aprender, es decir, del uso creativo de los recursos mentales para resolver problemas nuevos y complejos. Más recientemente, se ha descubierto que la codificación de información en la memoria a largo plazo depende no sólo de la activación de las regiones del cerebro relevantes para la tarea que se realiza, sino también de la desactivación de aquellas que son irrelevantes (Jiang, 2015). A la vista de todo esto, está claro que la multitarea dificulta el uso de la memoria de trabajo, la memoria a largo plazo, y la creatividad, porque inhibe la activación y el desarrollo del hipocampo.

No sólo eso, sino que algunas investigaciones apuntan a que la multitarea induce al que la practica a considerar toda tarea cognitiva, por novedosa y compleja que esta sea, como ya aprendida y rutinaria (Poldrack, 2007; Jiang, 2015). Es decir, que el que habitualmente practica la multitarea no sólo maneja la información de una forma superficial, sino que además no es consciente de ello. Sorprende el parecido entre esta situación y la pérdida de las fronteras entre la memoria interna y externa provocada por el uso frecuente de internet (Wegner, 2013; Fisher, 2015).

Adicionalmente, el hecho de que los hábitos de atención puedan modificarse con el entrenamiento adecuado, y de que la multitarea crónica pueda conducir a trastornos de la atención invitan a desestimar la hipótesis de una propensión innata a la multitarea (Spitzer, 2013). Contribuye a esto también la constatación de Nass de que existían

diferencias cognitivas internas en el grupo de los multitarea (Ophir, 2009). Por tanto, hay indicios abundantes que sugieren que la multitarea crónica es la causa de los déficits cognitivos a ella asociados. No obstante, aún es necesario esperar a futuras investigaciones que confirmen esta hipótesis.

Sin necesidad de conocer a ciencia cierta la relación de causación entre la multitarea crónica y los déficits cognitivos a ella asociados, se pueden extraer algunas conclusiones de lo expuesto hasta ahora.

En primer lugar, que la capacidad para la multitarea no puede mejorarse a base de entrenamiento. Al contrario, todo indica que la práctica repetida de la multitarea conduce a un empeoramiento cada vez más acusado de la capacidad para la multitarea. Es más, algunas investigaciones apuntan a que la mejor forma de mejorar la multitarea es practicar la “monotarea” (Just, 2008).

Segundo, que los déficits cognitivos de que adolecen las personas habituadas a la multitarea son una cuestión no tanto de no prestar atención a lo relevante, como de prestársela a lo irrelevante (Ophir, 2009; Jiang, 2015). Y por lo tanto, dichas personas sólo pueden desempeñarse con buenos resultados en entornos controlados, lo que dificulta su integración en el sistema educativo actual. Fuera del ámbito de la escolarización, la creación de dichos entornos resulta muy poco realista.

Tercero, que como demuestran los estudios empíricos y neurocientíficos, la práctica de la multitarea en el entorno de enseñanza y de estudio dificulta enormemente el aprendizaje. De acuerdo con esto, la digitalización de los centros educativos puede ser muy perjudicial para el aprendizaje de los estudiantes.

Valgan a modo de resumen estas líneas extraídas de una entrevista realizada al profesor Clifford Nass poco antes de su muerte:

“La investigaciones son casi unánimes, algo muy poco común en ciencias sociales, e indica que la gente que practica la multitarea con frecuencia tiene una gran variedad de déficits. Básicamente son negados para la mayoría de las tareas cognitivas, incluida la multitarea. En nuestras investigaciones, la gente que dice ser la mejor en multitarea, porque la practican a todas horas, resulta ser la peor. Es como un fumador empedernido que dice que el tabaco no le hace daño porque ya se ha acostumbrado a fumar. Por desgracia, las cosas no funcionan así.” (Nass, 2013).

4.3.3. La pantalla

4.3.3.1. Cognición incorporada

“Son sus manos las que hacen del hombre el más inteligente de los animales,” decía el presocrático Anaxágoras. Lejos de ser la fantasía de un pensador antiguo, esta afirmación ha demostrado tener gran parte de verdad. A lo largo de las pasadas dos décadas, investigadores de las más diversas disciplinas han propuesto un nuevo paradigma de la cognición humana: la cognición incorporada o cognición encarnada (del inglés *embodied cognition*). Impulsado por el trabajo interdisciplinar de biólogos, filósofos, neurocientíficos y psicólogos, el paradigma de la cognición incorporada resalta la importancia fundamental del cuerpo en los procesos de cognición (Clark, 1997; Wilson, 2002; Gallagher, 2005). Se opone así al predominante dualismo cartesiano, y contempla la cognición humana como íntima e inextricablemente ligada al cuerpo, y moldeada por él. En esta corriente de pensamiento, la cognición deja de ser considerada como un procesamiento de información abstracta y simbólica realizado exclusivamente por el cerebro. Los resultados de las investigaciones son cada vez más concluyentes: el cuerpo es un componente activo e indispensable para la cognición humana. Tan fuertemente enraizada en la experiencia corporal está la cognición, que es inseparable de la percepción sensorial y la acción motriz.

Las consecuencias de este cambio de paradigma para la educación, en general, y para el debate sobre las TIC en la enseñanza, en particular, son difícilmente ponderables. Pantalla, ordenador, realidad virtual, gamificación, etc., son dispositivos y metodologías cuya introducción en la enseñanza responde a una concepción cartesiana de la cognición, y por tanto de la educación. El desprecio a la educación sensorial y motriz, la preponderancia de la metodología, el reduccionismo y el ideal utilitarista de la ciencia son sus señas de identidad, que comparte con el empirismo inglés. Así, puede decirse que la digitalización de la enseñanza es un paso más en el camino iniciado por Descartes y Bacon hace casi cuatro siglos. Desde entonces, artistas, científicos, filósofos y pedagogos ilustres, como Goethe, Steiner, Bohm y Montessori, han tratado de oponerse a esta tendencia, planteando una visión holística de la actividad científica y del fenómeno educativo, y precediendo así al paradigma de la cognición incorporada. Hoy, en pleno siglo veintiuno, los descubrimientos de las ciencias cognitivas arrojan nueva luz sobre disputas pasadas y controversias presentes. No corresponde a este trabajo ocuparse de las primeras; sí de las segundas. ¿Lápiz o teclado? ¿Libro o ebook? ¿Pantalla o mundo real? Estas y otras preguntas serán exploradas y respondidas en este último apartado.

En el año 1972, los psicólogos cognitivos Fergus I. M. Craik y Robert S. Lockhart realizaron una serie de experimentos que revelaron la importancia de la profundidad de procesamiento mental para el aprendizaje y la memoria. Se demostró que el rendimiento de la memoria dependía de la profundidad de procesamiento (Craik, 1972). En años posteriores a los experimentos de Craik y Lockhart, varios estudios con técnicas de imagen cerebral han demostrado que una mayor profundidad de procesamiento está asociada a una actividad cerebral más intensa y generalizada. Adicionalmente, se ha demostrado que los diferentes modos de percepción sensorial implican distintos niveles de procesamiento, y por tanto de rendimiento memorístico, siendo la vista, el tacto y la propiocepción los que presentan rendimientos más altos (Mangen, 2013). Sin embargo, mientras que la primera ha tenido siempre un papel preponderante en el aprendizaje y la enseñanza, los segundos siguen sin recibir el reconocimiento que merecen. Y los resultados de las investigaciones son unánimes: la percepción sensorial y propioceptiva son vitales para el aprendizaje. Estudios de antropología y psicología han demostrado la importancia fundamental de la exploración háptica de objetos tangibles en el aprendizaje y el desarrollo cognitivo (Klatzky, 2005; Bara, 2007; Poldrack, 2007; Kiefer, 2012). En neurociencia, diversas investigaciones han explorado la relación entre la activación de las áreas cerebrales motoras y de percepción, y el aprendizaje y el procesamiento conceptual y semántico. Algunos investigadores afirman que dichas áreas del cerebro son esenciales para las representaciones semánticas (Pulvermüller, 1999; Kiefer, 2008; Kiefer, 2012). Muchos estudios han demostrado que varias áreas motoras del cerebro están implicadas en el procesamiento conceptual de objetos y palabras (Fadiga, 2004; Pulvermüller, 2005; Martin, 2007). Hay incluso evidencias de que la experiencia sensomotriz de un sujeto moldea la forma en que dicho sujeto entiende las acciones motrices de otros sujetos (Kiefer, 2007; Hoenig, 2011), afectando también a su comprensión del lenguaje (Beilock, 2008; Lyons, 2010). Adicionalmente, se ha demostrado que la riqueza y complejidad del entorno estimulan la sinaptogénesis y el fortalecimiento sináptico en cerebros adultos (Kozorovitskiy, 2005).

La relevancia que tienen estos descubrimientos para el debate de las TIC en la enseñanza es obvia: las restricciones sensomotrices que impone un sistema educativo dominado por las pantallas serán indudablemente perjudiciales para el aprendizaje y el desarrollo cognitivo de los estudiantes. Pero no es necesario confiar únicamente en extrapolaciones y especulaciones. Investigaciones recientes han abordado el estudio de la influencia de los dispositivos digitales en el aprendizaje: ventajas, inconvenientes, posibles aplicaciones, actitud de los estudiantes, etc. A continuación se exponen algunos de los resultados más relevantes.

4.3.3.2. ¿Lápiz o teclado?

A día de hoy, los dispositivos digitales (ordenadores, móviles y tabletas) han desbancado al bolígrafo y al papel como herramientas principales de escritura. El empuje de los teclados y las pantallas táctiles es tal que amenazan con conquistar un dominio que hasta ahora se les resistía, un dominio que desde hace mucho tiempo ha sido el baluarte del papel, el bolígrafo y la pizarra: la educación. Cada vez más centros educativos abogan por la introducción de tabletas, pantallas y pizarras digitales, en detrimento de los métodos de escritura tradicionales. La revolución digital, aseguran, lo requiere: es necesario preparar a los alumnos para trabajar en la era digital. Pero el asunto no es tan sencillo como parece.

El cambio de papel y bolígrafo a pantalla, ratón y teclado conlleva diferencias diversas y muy significativas en cuanto a la motricidad de la escritura. En primer lugar, la escritura manual es una actividad unimanual, mientras que la escritura con teclados (físicos o virtuales) es bimanual; además, la primera es generalmente más lenta que la segunda. En el caso de la escritura manual, el que escribe concentra su atención visual en la punta del bolígrafo mientras lo hace. Cuando se escribe con teclado, sin embargo, la atención visual está desligada de la acción motriz, es decir, del tecleo. De este modo, la escritura con teclado se realiza en dos espacios física y temporalmente separados: el espacio motor (el teclado), y el espacio visual (la pantalla). Otra diferencia fundamental reside en el modo en que se producen los caracteres en cada uno de las formas de escritura. En la escritura manual, el que escribe ha de dar forma a cada letra con un movimiento manual determinado, procurando que este se asemeje lo más posible a la forma estándar de la letra. En la escritura con teclado, no obstante, los caracteres están ya formados, y la labor del que escribe se limita a localizar cada letra en el teclado y presionar la tecla correspondiente. Por último, los procesadores de textos incorporan una amplia gama de herramientas que alteran radicalmente el proceso de escritura: copiar, cortar, pegar, autocorregir, etc. A la vista de lo expuesto anteriormente sobre la cognición incorporada, es lógico suponer que cambios como estos tengan consecuencias en los procesos de aprendizaje. ¿Cuáles son esas consecuencias?

El paso de la escritura manual a la escritura con teclado puede tener efectos negativos en la representación cerebral de las letras, y por ende en su memorización. Se han realizado varios estudios sobre las diferencias entre ambas formas de escritura, en alumnos de preescolar (Longcamp, 2005; Kiefer, 2015), y en adultos (Longcamp, 2006, 2008). En todos los casos se confirmó que los participantes tenían más dificultades para recordar los caracteres aprendidos mediante escritura con teclado. Además, las

técnicas de imagen cerebral han demostrado que los dos tipos de escritura dependen de áreas cerebrales diferentes, estando la escritura manual vinculada a regiones motoras. Tomados en conjunto, estos resultados indican que los movimientos que se memorizan al aprender a escribir participan en el reconocimiento visual de la forma y la orientación de las letras, contribuyendo así a la memorización de las mismas (Longcamp, 2008). Los resultados de otras investigaciones apuntan a la posibilidad de que la representación cerebral de las letras no sea estrictamente visual, sino que esté basada en redes neuronales complejas que incluyan componentes sensomotrices adquiridos al aprender a leer y escribir (James, 2006; Longcamp, 2005; Matsuo, 2003). Por último, un estudio bastante reciente ha demostrado que tomar apuntes con un portátil es menos efectivo para el aprendizaje que tomarlos de forma manual. Incluso cuando el ordenador se usa sólo para tomar apuntes, sin posibilidad alguna de multitarea ni fuentes externas de distracción, las desventajas frente a la escritura manual son evidentes (Mueller, 2014). Está claro que cambiar las herramientas de la escritura tiene profundas implicaciones, y las evidencias a favor del papel y el bolígrafo son abrumadoras.

4.3.3.3. ¿Papel o pantalla?

Otra de las actividades humanas en que el auge de las nuevas tecnologías hace sentir su influencia es la lectura. Dos tecnologías, antigua y nueva, vegetal y digital, están en guerra por el dominio de la palabra escrita. Frentes distintos son testigos de suertes distintas. La prensa escrita cede cada vez más terreno a los medios digitales, y cada vez más libros de texto se digitalizan para ser usados en tabletas y portátiles; los libros, en cambio, plantan cara al avance de los ebooks. Abundan, aquí también, las justificaciones y motivaciones de carácter práctico y utilitarista: los dispositivos digitales ahorran espacio, tiempo y esfuerzo físico, sin perder contenido alguno. Por desgracia, la cosa es algo más compleja. ¿Cuál es la diferencia entre leer en papel y leer en una pantalla? ¿Cómo responde el cerebro humano ante una y otra experiencia? ¿Qué consecuencias tiene la digitalización de la lectura?

Ya se ha visto lo inapropiado de considerar la cognición como una actividad circunscrita al reino de lo abstracto: ideas, metáforas, silogismos, patrones, etc. La lectura es otra prueba de ello. Para el cerebro humano, el texto es una parte tangible del mundo físico. Sencillamente, el cerebro trata a las letras como objetos físicos porque no conoce otra forma de lidiar con ellas. No existen redes neuronales específicamente dedicadas a la lectura, así que el cerebro ha de improvisarlas conectando regiones cerebrales dedicadas a otras actividades, como la visión, la coordinación motriz y el

habla. Se ha demostrado, además, que el cerebro humano percibe un texto de forma similar a como percibe un paisaje. Al leer construimos una representación mental del texto en la que el significado está ligado a la estructura, el contenido a la forma (Payne, 2006). Ahora bien, mientras que los libros impresos tienen una “orografía” definida que facilita la construcción de dicha representación, los formatos digitales carecen de ella. Un libro impreso ofrece al lector dos páginas claramente diferenciadas, con ocho esquinas que sirven de puntos de referencia. Además, el grosor del libro permite al lector situar lo que está leyendo en relación al conjunto del texto. En los soportes digitales, por el contrario, el lector desciende por una corriente ininterrumpida de palabras, contempla una tras otra una sucesión de efímeras páginas que aparecen y desaparecen, o acude directamente al lugar del texto deseado con sólo teclear unas palabras. Como ha demostrado una investigación reciente, todo esto, lejos de ser la preocupación romántica de los nostálgicos del papel, tiene efectos perjudiciales para la comprensión lectora (Mangen, 2013). Adicionalmente, se ha comprobado que los la lectura en papel conduce a un aprendizaje más profundo y a una respuesta memorística más rápida (Garland, 2003). Otros estudios sugieren que la lectura en pantalla dificulta la comprensión por ser más exigente, física y mentalmente, que la lectura en papel (Wästlund, 2005). La luz emitida por las pantallas (salvo en los ebooks), y la lectura continua basada en el desplazamiento vertical han demostrado ser causa de estrés, cansancio y déficits en la memoria de trabajo (Mayes, 2001; Wästlund, 2007). Y los hipervínculos, animaciones, los vídeos “educativos” que incorporan muchos libros de texto digitales conducen a una mayor distracción, y a todos los efectos desfavorables de la multitarea (Plass, 2003; Huk, 2006; Woody, 2010).

Pero no se trata sólo de una falta de referencias, de sobrecarga cognitiva y de cansancio físico, sino de actitud. Cada vez más estudios están demostrando que los lectores utilizan los ordenadores y las tabletas con una menor disposición hacia el aprendizaje que la que muestran cuando leen en papel. De forma inconsciente, mucha gente considera la lectura en pantalla como una tarea menos importante que la lectura en papel. Al leer en pantalla, la gente dedica más tiempo a explorar el texto y a buscar palabras clave que a hacer una lectura concienzuda del mismo, y es más propensa a leerlo una sola vez (Liu, 2005).

A la vista de todo esto, no sorprende en absoluto que la gente se decante por el papel cuando desea leer un libro o texto en profundidad. Varias encuestas, realizadas entre los años 2006 y 2011 a estudiantes menores de veinticuatro años, han desvelado que incluso los llamados nativos digitales prefieren los libros impresos cuando quieren

estudiar y entender una materia con claridad (Ramírez Leyva, 2006; Nicholas, 2008; Wu, 2011).

Ciertamente, las pantallas tienen muchas ventajas, y ofrecen a los lectores posibilidades que el papel no puede ofrecer; la prensa se ha beneficiado enormemente de ellas. Pero como demuestran las investigaciones, el papel es insustituible cuando se trata de leer libros, profundizar en una materia y lograr un aprendizaje significativo: el papel es insustituible para la enseñanza. Maryanne Wolf, psicóloga cognitiva de la Universidad de Tufts, ha realizado una de las evaluaciones más certeras del asunto: “Leer es una actividad con un componente físico, más importante quizá de lo que queremos pensar mientras nos introducimos, apresuradamente y a trompicones, en la lectura digital — mientras avanzamos con poca o ninguna reflexión. Me gustaría preservar lo mejor de los métodos antiguos, y saber cuándo utilizar los nuevos” (Wolf, 2008).

4.3.3.4. La gamificación

Una de las aplicaciones aparentemente más prometedoras de las tecnologías digitales es la denominada gamificación: el uso de videojuegos para la mejora de las capacidades cognitivas y la consecución de un aprendizaje significativo. Sin embargo, aunque algunas investigaciones han confirmado que el uso de videojuegos puede aumentar el rendimiento de los usuarios en algunas tareas cognitivas (Green, 2003, 2010; Bavelier, 2012; Appelbaum, 2013), lo cierto es que la gamificación no conduce a mejora alguna en las capacidades cognitivas. Un estudio realizado en el año 2010 demostró que el entrenamiento con videojuegos no mejora el desempeño intelectual de los usuarios. Si bien todos los participantes en el experimento mejoraron claramente sus rendimientos en las tareas virtuales particulares que se les asignaron, ninguno de ellos mostró mejoría alguna en el pensamiento lógico, la memoria verbal a corto plazo, la memoria espacial de trabajo y la capacidad de aprender a aprender (Owen, 2010). Es decir, el entrenamiento con videojuegos conduce al aprendizaje de una tarea, y dicho aprendizaje puede ser aplicado en el mundo real, es cierto. Pero este aprendizaje no puede ser transferido a ninguna otra tarea ni reto cognitivo, real o virtual, por similares que estos sean al entrenamiento original. Así, la gamificación puede ser muy útil para aprender habilidades concretas en formaciones técnicas o profesionales que así lo requieran; y esto es algo que lleva haciéndose desde hace tiempo con los simuladores. La educación, en cambio, es imposible sin desarrollo cognitivo y sin transferencia de conocimiento, beneficios ambos que la gamificación no puede ofrecer.

5. Discusión

Que el uso frecuente de las tecnologías digitales es nocivo para el desarrollo y el desempeño cerebral y cognitivo de los usuarios; que esto se manifiesta en la merma de capacidades y habilidades cognitivas básicas, como la atención, la memoria, la metacognición y la multitarea; y que, en consecuencia, dificulta gravemente el aprendizaje y la enseñanza, ha quedado demostrado en los apartados anteriores de este trabajo. ¿Por qué, entonces, se insiste tanto en la política de digitalización de los centros educativos?

En el año 1913, el prolífico inventor americano Thomas A. Edison escribía en un periódico neoyorquino: “Los libros quedarán pronto obsoletos en la escuela. [...] Es posible enseñar todas las ramas del saber humano con ayuda de películas. Nuestro sistema educativo se habrá transformado por completo dentro de diez años” (Spitzer, 2013). Bastantes años más tarde, Clifford Stoll, científico, profesor y escritor americano, recordaba, también en un periódico neoyorquino, su experiencia con las películas cuyas bondades presagiara Edison. “Las adorábamos porque durante una hora no teníamos que pensar. Los profesores las adoraban porque no tenían que dar clase, y los padres las adoraban porque demostraban que sus colegios eran de alta tecnología. Pero lo que se dice aprender, no aprendimos nada” (MacFarquhar, 1996). Tras las películas han ido llegando el radiocassette, la televisión, el vídeo, el ordenador, el proyector, la pizarra digital y las tabletas. Y de acuerdo con el profesor de Stanford Larry Cuban, la implantación en el sistema educativo de todos y cada uno estos innovadores dispositivos ha seguido un patrón similar. Cada ciclo comienza con grandes promesas de las empresas tecnológicas sobre las posibilidades educativas del producto. No obstante, en los colegios no se produce progreso académico alguno. Y los culpables son siempre la falta de financiación, la burocracia escolar paralizante, y el inmovilismo del cuerpo docente: jamás se cuestionan las afirmaciones de los tecnoevangelistas. Finalmente, cuando los progresos prometidos se han hecho esperar demasiado, se responsabiliza al producto del fracaso. Al poco tiempo, se empieza a vender a los colegios la siguiente generación tecnológica, y comienza de nuevo el ciclo ganancioso (Cuban, 1986). Ciertamente, la digitalización de la enseñanza supone una abundante fuente de ingresos para las empresas de tecnología digital. Sin embargo, aunque la impulsen y se lucren con ella, sería simplista pensar que tales empresas son las causantes de la digitalización educativa. No se usan en los colegios libros, sillas, pupitres y uniformes porque los fabricantes de estos productos hayan presionado para que así sea. No. El motor y origen de la digitalización de la enseñanza no es el mercado

de las TIC, sino el mercado laboral. Para entender hasta qué punto es así, es necesario, por última vez en este trabajo, volver la vista atrás.

A principios del siglo XX, el ingeniero y economista americano Frederick Winslow Taylor publicó sus *Principios de la Administración Científica*. En unas líneas que conforman un buen resumen de su tratado, Taylor escribe, “Los administradores asumen la labor de reunir todo el conocimiento tradicional que en el pasado ha estado en posesión de los trabajadores, y de clasificar, tabular y reducir dicho conocimiento a reglas, leyes y fórmulas.” De acuerdo con Taylor, el trabajo mental debe ser eliminado del dominio de los operarios y concentrado en los departamentos de planificación. Las grandes potencialidades de este sistema no se realizarán hasta que “casi todas las máquinas de la fábrica sean manejadas por hombres de menor éxito y categoría, y sean por tanto más baratos que los que requería el viejo sistema.” Como resulta evidente, las grandes potencialidades del sistema taylorista consisten en la reducción de costes de la compañía. La concepción y la planificación del trabajo están desligadas del operario que lo realiza. Se le ahorra así todo esfuerzo cognitivo, privándole también del aprendizaje y la satisfacción asociados al trabajo (Taylor, 1915).

Hoy, más un siglo después de que Taylor publicase su influyente tratado, la mayor parte del mercado laboral se encuentra estructurado según su sistema. Las profesiones del sector servicios están siendo sometidas a la misma automatización y degradación a que fueron sometidos cien años atrás los empleos del sector secundario. Así como la revolución industrial hizo posible la aplicación del sistema taylorista al sector secundario, la revolución digital ha hecho lo propio con el sector terciario. Entonces era necesario únicamente adquirir un conocimiento superficial y rutinario de los dispositivos mecánicos, ahora ocurre lo mismo con los dispositivos digitales (Rowlands, 2008). Antaño, permitiéndole elegir entre alternativas fijas, limitadas, y concernientes a asuntos de todo punto insignificantes para el funcionamiento de la empresa, se estimulaba en el trabajador el sentimiento de pertenencia a la misma, y una ilusoria sensación de relevancia. Y hogaño, en una sociedad cada vez más individualista, se recurre a la dialéctica de los *Baby Einstein* o de la “creatividad liberada.” Desde que somos pequeños, nos aseguran que la creatividad es una capacidad misteriosa que se esconde en cada uno de nosotros a la espera de ser liberada. Para lograr esa liberación, el ser humano ha de romper con las ligaduras intelectuales, personales y morales de lo convencional, de lo ordinario; no profundizar, sino expandirse; no bucear, sino surfear. Y nada mejor para lograrlo que el mundo digital. Con teclear, clicar el ratón y deslizar el dedo por la pantalla —movimientos sencillos incluso para un niño de dos años—

podemos acceder a océano tan vasto como superficial de información, relaciones personales y sensaciones estimulantes.

Para triunfar en el mundo laboral, se nos dice, son necesarias dos cosas: liberar la creatividad y dominar las tecnologías digitales (con dominar suelen referirse al manejo superficial antes mencionado). El problema es que, como el propio Einstein se apresuraría en recordarnos, la creatividad es una consecuencia de la pericia, y esta se alcanza sólo tras años de práctica, intensa, atenta y perseverante. Y el problema es que, como desde hace años viene demostrando la investigación científica, precisamente el uso frecuente de las tecnologías digitales dificulta enormemente ese tipo de práctica y de aprendizaje. Igual que ocurría con los principios de administración tayloristas, que lo llevaban incluso en el apellido, el adjetivo “científico,” que tanto usan los tecnoevangelistas para adornar sus argumentos, es empleado falazmente. La ciencia habla claro, pero pocos parecen dispuestos a prestar atención. Y al final, *Einsteins* siguen siendo unos pocos, y *babies* la gran mayoría. Al final, triunfa Taylor, triunfa Apple, triunfa Prensky, triunfa el colegio digitalizado, y fracasan los estudiantes.

Nadie discute que las tecnologías digitales han contribuido considerablemente al bienestar de las sociedades desarrolladas. No obstante, como ha quedado ya suficientemente claro, su uso frecuente y generalizado entraña riesgos que no pueden ser ignorados, especialmente cuando afectan a los individuos más jóvenes de la sociedad. Teniendo en cuenta la cantidad apabullante de evidencias científicas que demuestran los peligros de la digitalización de la enseñanza, la actual política educativa resulta como poco irresponsable. Antes de ser aprobado para su venta en farmacias, cualquier medicamento ha de pasar por cerca de quince años de investigación y ensayos clínicos que demuestren que sus beneficios superan con mucho sus posibles efectos adversos. Con las TIC, en cambio, no se ha tomado precaución alguna; y corremos el riesgo de que la digitalización de los colegios se convierta en la nueva talidomida: llene las arcas de los fabricantes, tranquilice a los mayores, y destruya a los pequeños. “Querido lector: de ti y de mi depende el que [...] sean o no realidad cosas como estas.” ¡Hagamos que no lo sean! (Dickens, 1854).

6. Conclusiones

El uso cada vez más extendido y frecuente de las tecnologías digitales está teniendo un fuerte impacto en la vida de las personas que viven en el mundo desarrollado, tanto en aquellas que nacieron en la era pre-digital, los inmigrantes digitales, como en aquellas que han nacido en la era digital, los nativos digitales.

A día de hoy, tiene lugar un debate cada vez más intenso sobre los efectos que puede tener la digitalización en la mente y en el cuerpo de los usuarios, especialmente de los nativos digitales. Mientras que para unos la digitalización conducirá a una mejora nunca vista de las capacidades cognitivas de la especie humana, para otros el triste resultado del uso masivo de las TIC será la merma de dichas capacidades. Unos y otros están de acuerdo en que la revolución digital está cambiando el cerebro y los procesos mentales de los usuarios.

Desde sus inicios, el debate sobre los efectos de las TIC ha sido especialmente relevante por las implicaciones que tiene en el ámbito educativo: uno de los ámbitos de la existencia humana en que más se está haciendo notar la revolución digital es el mundo de la enseñanza. A causa de los intereses económicos y políticos asociados a la educación, el debate ha estado frecuentemente enturbiado y ha transcurrido ajeno a las evidencias científicas.

Tales evidencias, de áreas tan dispares como la biología, la neurociencia, la psicología cognitiva y la pedagogía, han demostrado los efectos mayoritariamente nocivos que tiene la digitalización. El uso frecuente de internet resulta en una disminución de capacidades y procesos cognitivos como la atención, la memoria a corto y largo plazo, la multitarea, el procesamiento de información y la capacidad de aprender a aprender. La sustitución de los soportes tradicionales por la pantalla y el teclado tiene también consecuencias desfavorables para la comprensión lectora, la memoria, la atención y la metacognición. Además, el empleo de tecnologías digitales en los centros educativos está asociado a peores rendimientos académicos. Por otra parte, la supuesta pericia digital de los nativos digitales ha demostrado ser un mito.

La actitud de los nativos digitales frente a las tecnologías digitales es también reveladora para el debate sobre la digitalización de la educación. Cuando el objetivo es aprender y profundizar en una materia, la mayoría de los nativos (y los inmigrantes) digitales se decanta por los soportes pre-digitales: libros, papel y bolígrafo.

Por desgracia, la política educativa predominante parece ser ajena a todo este cuerpo de evidencias. En vez de prestar atención a los resultados de la investigación científica para explotar las ventajas de las TIC, guardarse de sus riesgos, y utilizarlas así en provecho del alumnado, se está llevando a cabo una digitalización masiva e indiscriminada. En vez de adaptar las TIC al alumno, se pretende adaptar el alumno a las TIC. Y se justifica esta política mediante argumentos utilitaristas y vocacionalistas, totalmente ajenos a las necesidades reales de los estudiantes.

7. Limitaciones y prospectiva

Las limitaciones más importantes de que adolece el presente trabajo son consecuencia de la amplitud y, en algunos casos, de la complejidad del tema objeto de estudio. La gran cantidad de bibliografía disponible, el nivel de especialización de gran parte de la misma, y la continua aparición de nuevas publicaciones, han hecho aún más complicada la ya de por sí difícil tarea de encontrar un compromiso satisfactorio entre amplitud y profundidad.

Ante la imposibilidad de abarcar todos los frentes del debate, se han seleccionado aquellos que, en opinión del autor, resultan más relevantes para el sector educativo, y de mayor interés para la opinión pública. Más concretamente, se ha puesto énfasis en las relaciones entre la digitalización y las capacidades cognitivas de los usuarios, y en las consecuencias que estas tienen para la enseñanza y el aprendizaje. Así, algunos aspectos que, siendo de gran interés e importancia, no están directamente relacionados con la enseñanza, no han sido recogidos en el trabajo. Entre ellos, cabe destacar la relación entre los videojuegos y la violencia, el impacto las redes sociales en la socialización y la inteligencia emocional de los usuarios, y los efectos fisiológicos adversos de la digitalización; y las vertientes económica y política del debate, que sólo han sido tratadas de forma somera. Son necesarios futuros trabajos que incorporen todos estos aspectos y les den un tratamiento adecuado.

Por otra parte, la complejidad y especialización de gran parte de la bibliografía utilizada demandan un tratamiento más extenso y concienzudo del que puede dársele en un trabajo de esta extensión. Más aún cuando las posturas encontradas de algunos científicos en torno a la interpretación de los resultados tienden a confundir al público no especializado, al que cuesta distinguir entre opinión e investigación. Aunque los fundamentos científicos expuestos han servido para enmarcar el debate y aclarar buena parte de las confusiones, es necesario un estudio más profundo que sirva de ayuda a la opinión pública, y contribuya a orientar debidamente la política educativa. Fenómenos como la plasticidad no-sináptica, de rabiosa actualidad en la investigación neurocientífica, y muy probablemente de gran importancia para la memoria y el aprendizaje, no han sido incluidos a causa de las restricciones de extensión .

Finalmente, el dinamismo de la investigación científica, y el carácter líquido de la sociedad digital, piden siempre cierta cautela. Las evidencias expuestas en el presente trabajo son suficientemente contundentes como para garantizar la validez de las conclusiones, pero la llegada de nuevos descubrimientos y tecnologías podría motivar

algunas correcciones. En biología y neurociencia, la neuroplasticidad es objeto de investigación permanente, y constantemente salen a la luz nuevas funciones cognitivas asociadas a la misma, y se descubren nuevos tipos de cambios cerebrales. La plasticidad no-sináptica y las relaciones entre la epigenética, la plasticidad sináptica y la memoria. En cuanto a la psicología cognitiva, aún hay que esperar a futuras investigaciones que aclaren la relación de causación entre la multitarea mediática y las deficiencias cognitivas a ella asociadas (Wagner, 2016). Además, es probable que el advenimiento de nuevas técnicas experimentales en neurociencia, aptas para su uso con humanos, permita estudiar en detalle las bases neuronales de la cognición, y los efectos de las TIC en el cerebro. Se conseguirá así una comprensión general de la interacción hombre-máquina digital, y de las consecuencias de la digitalización, permitiendo la elaboración de una política educativa que sea beneficiosa, ante todo, para los estudiantes.

8. Bibliografía

- Alzahabi, R., & Becker, M. W. (2013). The association between media multitasking, task-switching, and dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology—Human Perception and Performance* , 39 (5), 1485-1495.
- Anderson, J. Q., & Rainie, L. (2012). *Millenials will benefit and suffer due to their hyperconnected lifes*. Washington: Pew Research Center's Internet and American Life Project.
- Anderson, M. L., Nokia, M. S., Govindaraju, K. P., & Shors, T. J. (2012). Moderate Drinking? Alcohol Consumption Significantly Decreases Neurogenesis in the Adult Hippocampus. *Neuroscience* , 224, 202-209.
- Appelbaum, L. G., Cain, M. S., Darling, E. F., & Mitroff, S. R. (2013). Action video game playing is associated with improved visual sensitivity, but not alterations in visual sensory memory. *Atten Percept Psychophys* .
- Azmitia, E. C. (2007). Cajal and brain plasticity: Insights relevant to emerging concepts of mind. *Brain Research Reviews* , 55 (2), 395-405.
- Bach-y-Rita, P. (1967). Applications to a Vision Substitution System. *Acta Neurologica Scandinavica* , 43 (4), 417-426.
- Bailey, C. H., & Kandel, E. R. (1993). Structural Changes Accompanying Memory Storage. *Annual Review of Physiology* , 55, 397-426.
- Bailey, C. H., & Kandel, E. R. (2008). Synaptic remodeling, synaptic growth and the storage of long-term memory in Aplysia. *Progress in Brain Research* , 69, 179-98.
- Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2007). Haptics in learning to read with children from low socio-economic status families. *British Journal of Developmental Psychology* , 25 (4), 643-663.
- Bartsch, D., Ghirardi, M., Skehel, P. A., Karl, K. A., Herder, S. P., Chen, M., y otros. (1995). Aplysia CREB2 represses long-term facilitation: Relief of repression converts transient facilitation into long-term functional and structural change. *Cell* , 83, 979-992.
- Bavelier, D., Green, C. S., Pouget, A., & Schrater, P. (2012). Brain Plasticity Through the Life Span: Learning to Learn and Action Video Games. *Annual Review of Neuroscience* , 35, 391-416.
- Beilock, S. L., Lyons, I. M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H. C., & Small, S. L. (2008). Sports experience changes the neural processing of action language. *PNAS* , 105 (36), 13269-13273.
- Bell, V. (6 de Julio de 2010). *Neuroplasticity is not a new discovery*. Obtenido de Mind Hacks. Neuroscience and Psychology News and Views: <https://mindhacks.com/2010/07/06/neuroplasticity-is-not-a-new-discovery/>

- Benjamin, A. S. (2008). Memory is more than just remembering: Strategic control of encoding, accessing memory, and making decisions. En Benjamin, A. S, & B. H. Ross, *The Psychology of Learning and Motivation: Skill and Strategy in Memory Use* (Vol. 48, págs. 175-223). London: Academic Press.
- Bennett, S. (2008). The Digital Natives debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology* , 39 (5), 775-786.
- Berke, J. D. (2000). Addiction, Dopamine, and the Molecular Mechanisms of Memory. *Neuron* , 25 (3), 515-532.
- Bjork, R. A. (1972). Theoretical Implications of Directed Forgetting. En A. W. Melton, & E. Martin, *Coding Processes in Human Memory* (págs. 217-235). Washington D.C: John Wiley & Sons.
- Bliss, T. V., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of Physiology* , 232 (2), 331-56.
- Bowman, L. L., Levine, L. E., Waite, B. M., & Gendron, M. (2010). Can students really multitask? An experimental study of instant messaging while reading. *Computers & Education* , 54, 927-931.
- Buzsáki, G., & Chrobak, J. J. (2005). Synaptic plasticity and self-organization in the hippocampus. *Nature Neuroscience* , 8, 1418-1420.
- Cain, M. S., & Mitroff, S. (2011). Distractor filtering in media multitaskers. *Perception* , 40, 1183-1192.
- Carr, N. (2011). *The Shallows: What the Internet is doing to Our Brains*. Nueva York: W. W. Norton & Company.
- Carstens, A., & Beck, J. (2005). Get Ready for the Gamer Generation. *TechTrends* , 493, 22-25.
- Cendoya, R. (2013). *Revolución. Del Homo Sapiens al Homo Digitalis*. Madrid: Sekotia.
- Chen, S., Cai, D., Pearce, K., Sun, P. Y., Roberts, A. C., & Glanzman, D. L. (2014). Reinstatement of long-term memory following erasure of its behavioral and synaptic expression in *Aplysia*. *eLife* .
- Clark, A. (1997). *Being There: Putting Brain, Body and World Together Again*. Cambridge: The MIT Press.
- Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour* , 11 (6), 671-684.
- Cuban, L. (1986). *Teachers and Machines: Classroom Use of Technology Since 1920*. Teachers' College Press.

- Curlik, D. M., & Shors, T. J. (2011). Learning Increases the Survival of Newborn Neurons Provided That Learning Is Difficult to Achieve and Successful. *Journal of Cognitive Neuroscience* , 23 (9), 2159–2170.
- Dalla, C., Bangasser, D. A., Edgecomb, C., & Shors, T. J. (2006). Neurogenesis and Learning: Acquisition and asymptotic performance predict how many new cells survive in the hippocampus. *Neurobiology of Learning & Memory* , 88, 143-148.
- Dickens, C. (1854). *Tiempos Difíciles*. Madrid: Ediciones Cátedra.
- Downey, G. (12 de Junio de 2008). *We hate memes, pass it on....* Obtenido de Neuroanthropology: <https://neuroanthropology.net/2008/06/12/we-hate-memes-pass-it-on/>
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature* , 427, 311-312.
- Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H. G., Winkler, J., Büchel, C., y otros. (2006). Temporal and Spatial Dynamics of Brain Structure Changes during Extensive Learning. *The Journal of Neuroscience* , 26 (23), 6314-6317.
- Ellis, Y., Daniels, B. W., & Jauregui, A. (2010). The effect of multitasking on the grade performance of business students. *Research in Higher Education Journal* , 8, 1-10.
- Eriksson, P. S. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine* , 4, 1313-1317.
- Fadiga, L., & Craighero, L. (2004). Electrophysiology of action representation. *Journal of Clinical Neurophysiology* , 21 (3), 157-169.
- Fisher, M., Goddu, M. K., & Keil, F. C. (2015). Searching for Explanations: How the Internet Inflates Estimates of Internal Knowledge. *Journal of Experimental Psychology* , 144 (3), 674 – 687.
- Forzani, E., & Leu, D. J. (2012). Need for digital technologies in primary classrooms. *The Educational Forum* , 76, 421-424.
- Fox, A. B., Rosen, J., & Crawford, M. (2009). Distractions, distractions: does instant messaging affect college students' performance on a concurrent reading comprehension task? *Cyberpsychology and Behavior* , 12 (1), 51-53.
- Gallagher, S. (2005). *How the Body Shapes the Mind*. Nueva York: Oxford University Press.
- Goldacre, B. (21 de Octubre de 2011). *Serious claims belong in a serious scientific paper.* Obtenido de The Guardian: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2011/oct/21/bad-science-publishing-claims>

- Gould, E. (2007). How widespread is adult neurogenesis in mammals? *Nature Reviews* , 8, 481-488.
- Gould, E., Beylin, A., Tanapat, P., Reeves, A., & Shors, T. J. (1999). Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nature Neuroscience* , 2 (3), 260-265.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual. *Nature* , 423, 534-537.
- Green, C. S., Li, R., & Bavelier, D. (2010). Perceptual Learning During Action Video Game Playing. *Topics in Cognitive Science* , 2, 202-216.
- Greenfield, P. M. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences* , 14, 531-595.
- Gregoire, C. (28 de Julio de 2013). *How To Not Be A Slave To Technology*. Obtenido de Huffington Post: http://www.huffingtonpost.com/2013/07/28/why-you-should-do-less-to_n_3635679.html
- Grossberg, S. (2015). From brain synapses to systems for learning and memory: Object recognition, spatial navigation, timed conditioning, and movement control. *Brain Research* , 1621, 270–293.
- Hall, B. K., & Hallgrimsson, B. (2007). *Strickberger's Evolution*. Burlington: Jones and Bartlett Publishers.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. Nueva York: Wiley & Sons.
- Hembrooke, H., & Gay, G. (2003). The laptop and the lecture: The effects of multitasking in learning environments. *Journal of Computing in Higher Education* , 15 (1), 46–64.
- Hoenig, K., Müller, C., Herrnberger, B., Sim, E. J., Spitzer, M., Ehret, G., y otros. (2011). Neuroplasticity of semantic representations for musical instruments in professional musicians. *Neuroimage* , 56 (3), 1714-1725.
- Howe, N., & Strauss, W. (1991). *Generations: The history of America's future*. Nueva York: Quill.
- Howe, N., & Strauss, W. (2000). *Millennials Rising: The Next Great Generation*. Nueva York: Vintage Books.
- Howe, N., Strauss, & W. (2003). *Millennials Go To College: Strategies for a New Generation on Campus*. Washington DC: American Association of Collegiate Registrars and Admissions Officers.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning* , 22, 392-404.
- James, K. H., & Gauthier, I. (2006). Letter processing automatically recruits a sensory-motor brain network. *Neuropsychologia* , 44, 2937-2949.

- Jenkins, H. (5 de Diciembre de 2007). *Reconsidering Digital Immigrants*. Obtenido de Confessions of an Aca-Fan: The Official Weblog of Henry Jenkins: http://henryjenkins.org/2007/12/reconsidering_digital_immigran.html
- Jiang, H., van Gerven, M. A., & Jensen, O. (2015). Modality-specific Alpha Modulations Facilitate Long-term Memory Encoding in the Presence of Distracters. *Journal of Cognitive Neuroscience* , 27 (3), 583-592.
- Jones, C., & Shao, B. (2011). *The net generation and digital natives: implications for higher education*. York: Higher Education Academy.
- Jorgensen, B. (2003). Baby Boomers, Generation X and Generation Y? Policy implications for defence forces in the. *Foresight* , 54, 41-49.
- Just, M. A., Keller, T. A., & Cynkar, J. A. (2008). A decrease in brain activation associated with driving when listening to someone speak. *Brain Research* , 1205, 70-80.
- Kaplan, M. S. (2001). Environment complexity stimulates visual cortex neurogenesis: death of a dogma and a research career. *TRENDS in Neurosciences* , 24 (10), 617-620.
- Kiefer, M., & Pulvermüller, F. (2012). Conceptual representations in mind and brain: theoretical developments, current evidence and future directions. *Cortex* , 48 (7), 805-825.
- Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015). Handwriting or Typewriting? The Influence of Pen- or Keyboard-Based Writing Training on Reading and Writing Performance in Preschool Children. *Advanced Cognitive Psychology* , 11 (14), 136-146.
- Kiefer, M., Sim, E. J., Herrnberger, B., Grothe, J., & Hoenig, K. (2008). The sound of concepts: four markers for a link between auditory and conceptual brain systems. *Journal of Neuroscience* , 28 (47), 12224-12230.
- Kiefer, M., Sim, E. J., Liebich, S., Hauk, O., & Tanaka, J. (2007). Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience* , 19 (3), 525-542.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Mankinen, J. M. (2005). Visual and haptic exploratory procedures in children's judgments about tool function. *Infant Behavior and Development* , 28 (3), 240-249.
- Koob, G. F. (2004). Neurobiological Mechanisms in the Transition from Drug Use to Drug Dependence. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* , 27 (8), 739-749.
- Koutropoulos, A. (2011). Digital Natives: Ten Years After. *Journal of Online Learning and Teaching* , 7 (4), 525-538.
- Kozorovitskiy, Y., Gross, C. G., Kopil, C., Battaglia, L., McBreen, M., Stranahan, A. M., y otros. (2005). Experience induces structural and biochemical changes in the adult primate brain. *PNAS* , 102 (48), 17478-17482.

- Lenhart, A., Rainie, L., & Lewis, O. (2001). *Teenage Life Online: The Rise of Instant-Message Generation and the*. Washinton DC: Pew Internet and American Life Project.
- Leuner, B., Gould, E., & Shors, T. (2006). Is There A Link Between Adult Neurogenesis and Learning? *Hippocampus* , 16, 216-224.
- Lindley, E. H. (1897). A Study of Puzzles with Special Reference to the Psychology of Mental Adaptation. *The American Journal of Psychology* , 8 (4), 431-493.
- Longcamp, M., Boucard, C. I., Gilhodes, J., Anton, J. L., Roth, M., & Nazarian, B. (2008). Learning through Hand- or Typewriting Influences Visual Recognition of New Graphic Shapes: Behavioral and Functional Imaging Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience* , 20(5), 802-815.
- Longcamp, M., Zerbato-Poudou, T., & Velay, J.-L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children: A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica* , 119 (1), 67-79.
- Lottridge, D., Rosakranse, C., Oh, C., Westwood, S., Baldoni, K., Mann, A., y otros. (2015). The Effects of Chronic Multitasking on Analytical Writing. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (págs. 2967-2970). Seúl: ACM.
- Lyons, I. M., Mattarella-Micke, A., Cieslak, M., Nusbaum, H. C., Small, S. L., & Beilock, S. L. (2010). The role of personal experience in the neural processing of action-related language. *Brain Language* , 112 (3), 214-222.
- MacFarquhar, N. (7 de Marzo de 1996). The Internet Goes to School; Bellwether or Bust? Educators Debate Value of Surfing. *New York Times* .
- Maguire, E. A. (1998). Knowing where and getting there: a human navigation network. *Science* , 280 (5365), 921-924.
- Maguire, E. A. (2003). Navigation expertise and the human hippocampus: A structural brain imaging analysis. *Hippocampus* , 13 (2), 250-259.
- Maguire, E. A. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc Natl Acad Sci U S A.* , 200097 (8), 4398-4403.
- Mangen, A., & Velay, J.-L. (2010). Digitizing Literacy: Reflections on the Haptics of Writing. En M. H. Zadeh, *Advances in Haptics*. InTech.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Reviews Psychology* , 58, 25-45.
- Matsuo, K., Kato, C., Okada, T., Moriya, T., Glover, G. H., & Nakai, T. (2003). Finger movements lighten neural loads in the recognition of ideographic characters. *Cognitive Brain Research* , 17 (2), 263-272.
- Mayes, D. K., Sims, V. K., & Koonce, J. M. (2001). Comprehension and workload differences for VDT and paper-based reading. *International Journal of Industrial Ergonomics* , 28 (6), 367-378.

- Mayford, M., Siegelbaum, S. A., & Kandel, E. R. (2012). Synapses and Memory Storage. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* , 1-18.
- McCrindle Research. (2006). *New Generations at Work: Attracting, Recruiting, Retraining and Training 'Generation Y*.
- Minear, M., Brasher, F., McCurdy, M., Lewis, J., & Younggren, A. (2013). Working memory, fluid intelligence, and impulsiveness in heavy media multitaskers. *Psychonomic Bulletin and Review* , 20 (6), 1274–1281.
- Mirescu, C., & Gould, E. (2006). Stress and Adult Neurogenesis. *Hippocampus* , 16, 233–238.
- Mirescu, C., Peters, J. D., Noiman, L., & Gould, E. (2006). Sleep deprivation inhibits adult neurogenesis in the hippocampus by elevating glucocorticoids. *PNAS* , 103 (50), 19170–19175.
- Mooddy, A. K. (2010). Using Electronic Books in the Classroom to Enhance Emergent Literacy Skills in Young Children. *Journal of Literacy and Technology* , 11, 22–52.
- Morris, R. G. (1989). Synaptic plasticity and learning: selective impairment of learning rats and blockade of long-term potentiation in vivo by the N-methyl-D-aspartate receptor antagonist AP5. *Journal of Neuroscience* , 9 (9), 3040–3057.
- Mueller, P. A., & Oppenheimer, D. M. (2014). The Pen Is Mightier Than the Keyboard: Advantages of Longhand Over Laptop. *Psychological Science* , 1-10.
- Mustafa, S., Walker, A., Bennett, G., & Wigmore, P. M. (2008). 5-flouracil chemotherapy affects spatial working memory and newborn neurons in the adult rat hippocampus. *The European Journal of Neuroscience* , 28 (2), 323–330.
- Nass, C. (10 de Mayo de 2013). The Myth Of Multitasking. (I. Flatow, Entrevistador)
- Nicholas, A., & Lewis, J. (2008). Millennial Attitudes Toward Books and E-Books. *The International Journal of the Book* , 5 (2), 81–92.
- Noyes, J. M., & Garland, K. J. (2003). VDT versus paper-based text: reply to Mayes, Sims and Koonce. *International Journal of Industrial Economins* , 31 (6), 411–423.
- O'Connor, C., Rees, G., & Joffe, H. (2012). Neuroscience in the Public Sphere. *Neuron* , 74 (2), 220–226.
- Ophir, E., Nass, C., & Wagner, A. D. (2009). Cognitive control in media multitaskers. *PNAS* , 106 (37), 15583–15587.
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences* , 24 (5), 939–973.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajahni, S., Burns, A. S., y otros. (2010). Putting brain training to the test. *Nature* , 465, 758–775.

- Palfrey, J., & Gasser, U. (2008). *Born digital: Understanding the first generation of digital natives*. Nueva York: Basic Books.
- Patterson, C. (1999). *Evolution*. Ithaca: Cornell University Press.
- Payne, S. G., & Reader, W. R. (2006). Constructing structure maps of multiple on-line texts. *International Journal of Human-Computer Studies* , 64 (5), 461–474.
- Pew Research Center. (12 de Enero de 2017). *Mobile Fact Sheet*. Obtenido de Pew Research Center: <http://www.pewinternet.org/fact-sheet/mobile/>
- Pigliucci, M. (9 de Agosto de 2013). *Evolutionary psychology, Jerry Coyne, Robert Kurzban, and the so-called creationism of the mind*. Obtenido de Rationally Speaking: <http://rationallyspeaking.blogspot.com.es/2013/08/evolutionary-psychology-jerry-coyne.html>
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E., & Leutner, D. (2003). Cognitive load in reading a foreign language text with multimedia aids and the influence of verbal and spatial abilities. *Computers in Human Behavior* , 19, 221-243.
- Poldrack, R. A., & Foerde, K. (2007). Category learning and the memory systems debate. *Neuroscience Biobehavioral Reviews* , 32, 197-205.
- Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants Part 2: Do They Really Think Differently? *On the Horizon* , 9 (6), 1-6.
- Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon* , 9 (5), 1-6.
- Prensky, M. (2009). H. Sapiens Digital: From Digital Immigrants and Digital Natives to Digital Wisdom. *Journal of Online Education* , 5 (3).
- Prensky, M. (2010). *Teaching Digital Natives: Partnering for Real Learning*. London: Sage Publishers.
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience* , 6 (7), 576-82.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral Brain Science* , 22 (2), 253-79; discussion 280-336.
- Rakic, P. (1985). DNA synthesis and cell division in the adult primate brain. *Ann. New York Acad. Sci.* , 457, 193-211.
- Ramírez Leyva, E. M. (2006). The impact of the internet on the reading and information practices of a university student community: the case of UNAM. *New Review Of Libraries And Lifelong Learning* , 4 (1), 137-157.
- Ramón y Cajal, S. (1894). The Croonian Lecture: La Fine Structure des Centres Nerveux. *Proceedings of the Royal Society of London* , 55, 444–468.
- Ribot, T. A. (1882). *Diseases of the Memory: An Essay in the Positive Psychology*. Nueva York: Appleton and Company.

- Rideout, V. J., & Hamel, E. (2006). *The media family. electronic media in the lives of infants, toddlers, preschoolers and their parents*. Oakland: Henry J. Kaiser Family Foundation.
- Rideout, V. J., Foehr, U. G., & Roberts, D. F. (2010). *Generation M2: Media in the lives of 8- to 18-year-olds*. Oakland: Henry J. Kaiser Family Foundation.
- Roman, F., Staubli, U., & Lynch, G. (1987). Evidence for synaptic potentiation in a cortical network during learning. *Brain Research* , 418, 221-226.
- Rosen, L. D., Carrier, L. M., & Cheever, N. A. (2013). Facebook and texting made me do it: Media-induced task-switching while studying. *Computers in Human Behavior* , 29 (3), 948-958.
- Rowlands, I., Nicholas, D., Williams, P., Huntington, P., Fieldhouse, M., Gunter, B., y otros. (2008). The Google generation: the information behaviour of the researcher of the future. *Aslib Proceedings* , 60, 290-310.
- Seigers, R., Schagen, S. B., Beerling, W., Boogerd, W., van Tellingen, O., van Dam, F. S., y otros. (2008). Long-lasting suppression of hippocampal cell proliferation and impaired cognitive performance by methotrexate in the rat. *Behavioral Brain Research* , 186 (2), 168-175.
- Shaw, C. A., & McEachern, C. J. (2001). *Toward a Theory of Neuroplasticity*. Hove: Psychology Press.
- Shors, T. J. (Marzo de 2009). Saving New Brain Cells. *Scientific American* , 46-54.
- Shors, T. J. (2014). The Adult Brain Makes New Neurons, and Effortful Learning Keeps Them Alive. *Current Directions in Psychological Science* , 23 (5), 311-318.
- Shors, T. J., Miesegaes, G., Beylin, A., Zhao, M., Rydel, T., & Gould, E. (2001). Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories. *Nature* , 410, 372-376.
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *NeuroImage* , 17, 1613-1622.
- Sluming, V., Brooks, J., Howard, M., Downes, J., & Roberts, N. (2007). Broca's Area Supports Enhanced Visuospatial Cognition in Orchestral Musicians. *Journal of Neuroscience* , 27 (14), 3799-3806.
- Sparrow, B., Liu, I., & Wegner, D. M. (2011). Google Effects on Memory: Cognitive Consequences of Having Information at Our Fingertips. *Science* , 333, 776-778.
- Spitzer, M. (2013). *Demencia Digital*. Barcelona: Ediciones B.
- Stafford, T. (22 de Marzo de 2006). *Neuroessentialism*. Obtenido de Mind Hacks. Neuroscience and psychology news and views: <https://mindhacks.com/2006/03/22/neuroessentialism/>

- Storm, B., Stone, S. M., & Benjamin, A. S. (2016). Using the Internet to access information inflates future use of the Internet to access other information. *Memory* , 1-7.
- Stranahan, A. M., Khalil, D., & Gould, E. (2006). Social isolation delays the positive effects of running on adult neurogenesis. *Nature Neuroscience* , 9 (4), 526-533.
- Tapscott, D. (2009). *Growing up digital: How the net generation is changing your world*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Tapscott, D. (1998). *Growing up digital: The rise of the net generation*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Taylor, F. W. (1915). *Principles of Scientific Management*. Nueva York: Harper and Brothers.
- Thomas, M. (2011). *Deconstructing Digital Natives: Young People, Technology, and the New Literacies*. Nueva York: Routledge.
- Thompson, C. (20 de Septiembre de 2013). *Is Google Wrecking Our Memory?* Obtenido de Slate: http://www.slate.com/articles/health_and_science/science/2013/09/are_search_engines_and_the_internet_hurting_human_memory.html
- Uncapher, M. R., Thieu, M. K., & Wagner, A. D. (2016). Media multitasking and memory: Differences in working memory and long-term memory. *Psychonomic Bulletin and Review* , 23, 483-490.
- University of California Berkeley. (s.f.). *Misconceptions about evolution*. Obtenido de Understanding Evolution: http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions_faq.php
- van Gijn, J. (2009). Cerebral involvement in head injury. A study based on the examination of two hundred cases. By W. Ritchie Russell, MD. *Brain* 1932; 55: 549-603. *Brain* , 132 (3), 565-567.
- Veen, W. (2003). A new force for change: homo zappiens. *The Learning Citizen* (7), 5-7.
- Waddell, J., & Shors, T. J. (2008). Neurogenesis, learning and associative strength. *European Journal of Neuroscience* , 27, 3020-3028.
- Wallace, K. (4 de Noviembre de 2015). *Teens spend a 'mind-boggling' 9 hours a day using media, report says*. Obtenido de CNN: <http://edition.cnn.com/2015/11/03/health/teens-tweens-media-screen-use-report/>
- Wästlund, E. (2007). Experimental studies of human-computer interaction : working memory and mental workload in complex cognition. Göteborg, Suecia: Universidad de Göteborg, Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Psicología.

- Wästlund, E., Reinikkaa, H., Norlandera, T., & Archerb, T. (2005). Effects of VDT and paper presentation on consumption and production of information: Psychological and physiological factors. *Computers in Human Behavior* , 21 (2), 377-394.
- Wegner, D. M., Giuliano, T., & Hertel, P. T. (1985). Cognitive Interdependence in Close Relationships. En W. J. Ickes, *Compatible and incompatible relationships* (págs. 253-276). Nueva York: Springer-Verlag.
- Wegner, D., & Ward, A. (1 de Diciembre de 2013). *The Internet Has Become the External Hard Drive for Our Memories*. Obtenido de Scientific American: <https://www.scientificamerican.com/article/the-internet-has-become-the-external-hard-drive-for-our-memories/#>
- Weiler, A. (2005). Information seeking behavior in 'Generation Y' students: Motivation, Critical Thinking, and Learning Theory. *Journal of Academic Librarianship* , 31 (1), 46-53.
- Wilson, F. R. (1998). *The hand : how its use shapes the brain, language, and human culture*. Nueva York: Pantheon Books.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review* , 9 (4), 625-636.
- Windisch, E., & Medman, N. (2008). Understanding the Digital Natives. *Ericsson Business Review* , 1, 36-39.
- Wolf, M. (2008). *Proust and the Squid: The Story and Science of the Reading Brain*. Nueva York: Harper Perennial.
- Wu, M.-d., & Chen, S.-c. (2011). Graduate students' usage of and attitudes towards e-books: experiences from Taiwan. *Program* , 45 (3), 294 - 307.
- Zeigarnik, B. W. (1927). Untersuchungen zur Handlungs- und Affektpsychologie. *Psychologische Forschung* , 9, 1-85.