

# RESULTADOS PRELIMINARES DE LA APLICACIÓN DE NEUROTECNOLOGÍAS PARA EL AUXILIO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD

## PRELIMINARY RESULTS OF THE APPLICATION OF NEUROTECHNOLOGIES TO HELP THE DISABLED

ROBERTO CARLOS GARCÍA VACACELA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería (IIFIUC), Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. roberto.garcia@cu.ucsg.edu.ec

### RESUMEN

En los últimos 50 años, se ha visto un avance vertiginoso en el desarrollo de tecnologías que usan principios fisiológicos y biofísicos para auxiliar o potenciar el desempeño humano. Esas tecnologías, reminiscentes de ciencia ficción, son referidas como neurotecnologías. Ellas tienen la misión de crear interfaces que combinan procesadores digitales con biosensores y bioactuadores (mecanismos eléctricos, electro-mecánicos, electro-ópticos, etc). En este trabajo se presenta los resultados de la implementación de los biosensores de señales cerebrales (MindSet, NeuroSky), usando la Plataforma Arduino (<http://arduino.cc>), conceptualizada para facilitar el desarrollo de circuitos híbridos (análogo-digital). El resultado más importante que se obtuvo fue un prototipo de interfaz electrónica configurable, la misma que se usó en una silla de ruedas motorizadas cuyo movimiento fue controlado por señales eléctricas cerebrales. Consecuentemente, este trabajo tiene relevancia al esfuerzo que se viene haciendo en Ecuador, a través del Plan Nacional para el Buen Vivir (2013-2017) - (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013).

**PALABRAS CLAVE:** Neurotecnologías. Interfaces Humanas. Biosensores. Bioactuadores. Servomecanismos. Mecanismos de Control. Automatización. Interfaces Hombre-Máquina.

### ABSTRACT

*Over the past 50 years, we have seen dramatic improvement in the development of technologies that use physiological and biophysical principles to assist or strengthen human performance. These technologies, reminiscent of sci-fi, are known as neurotechnologies. These technologies have the mission to create interfaces that combine digital procedures with biosensors and bioActors (electric, electro-mechanic, electro-optical mechanisms). In this work we show our results of implementing biosensors of brain signals (MindSet, NeuroSky), using conceptualized Arduino platform (<http://arduino.cc>), to help to the development of hybrid circuits (analog-digital circuits). The most important result we had was a prototype of configurable electronic interface, which was used on a motorized wheelchair whose movement was controlled by electrical brain signals. Therefore our work is relevant to the efforts that Ecuador has been making through the National Plan for Good Living (2013-2017) – (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013).*

**KEYWORDS:** Neurotechnologies. Human interfaces. Biosensors. Bioactors. Servomechanisms. Control mechanisms. Automation. Human-machine interfaces.

RECIBIDO: 12/4/2014  
ACEPTADO: 7/5/2014

## INTRODUCCIÓN

Durante las últimas cinco décadas, se ha visto un avance vertiginoso en la investigación y el desarrollo de tecnologías que usan principios fisiológicos y biofísicos para auxiliar y/o potenciar el desempeño humano. Esas tecnologías, reminiscentes de ciencia ficción, son referidas como neurotecnologías.

Las neurotecnologías tienen el objetivo de crear interfaces que combinan procesadores de última generación (CPUs, GPUs, etc) con biosensores (detectores fisiológicos/biofísicos/bioquímicos) y bioactuadores (mecanismos eléctricos, electro-mecánicos, electro-ópticos, etc), para producir servomecanismos y controles que resultan en las funciones fisiológicas deseadas. Una de las compañías que se ha posicionado a la cabeza del campo de las neurotecnologías es NeuroSky (<http://neurosky.com>).

NeuroSky ha introducido un sistema, que consiste en dispositivos, procesadores y software propietario (NeuroSky, NeuroSky (Canal de YouTube), 2007). Este sistema facilita el desarrollo de aplicaciones que auxilian y/o potencian la salud y actividad de la mente (por ejemplo, concentración, focalización de ideas, agudeza mental, etc) los estados de consciencia (por ejemplo, meditación y relajación), y otras actividades físicas e intelectuales (ProxyDesign, 2010).

La integración de humanos con máquinas está tomando fuerza y popularización (Benedikter, Giordano, & Fitzgerald, 2010) y causando discusiones en el área de la ética (McNamee & Edwards, 2006). El impacto en las nuevas generaciones de *Homo sapiens es evidenciado por la enorme inversión en video juegos como el famoso Deus Ex Human* (MachinimaPrime, 2014) que fue introducido hace 4 años - ver, por ejemplo (Machinima, 2010). El enorme esfuerzo (físico y financiero) hecho para posibilitar el uso de la mente para controlar servomecanismos que auxilien (Farina & Negro, 2012), mejoren y potencien las funciones fisiológicas (Behneman, y otros, 2012) ha conseguido hacer con que el concepto de transhumanismo se perciba como una realidad cercana (Graham, 2002).

En el proyecto I.N.I.A.C. se identifica que “Los pocos estudios que se han realizado en Ecuador, no fueron realizados por instituciones educativas y solo han sido en mercadeo para determinar preferencias de consumidores basándose en la atención a campañas publicitarias, dejando de lado a la educación, salud y mejora de las capacidades del ser humano

(mejora de la atención y de la movilidad)” (ver García Vacacela, 2010, 2011), con esto podemos determinar que es necesario, en estudios locales, dar principal énfasis en usar las capacidades de la neurotecnología para ser aportadas en las áreas no consideradas en los estudios actuales, basándose en técnicas de estudio, movilidad de personas con capacidades limitadas y medicina.

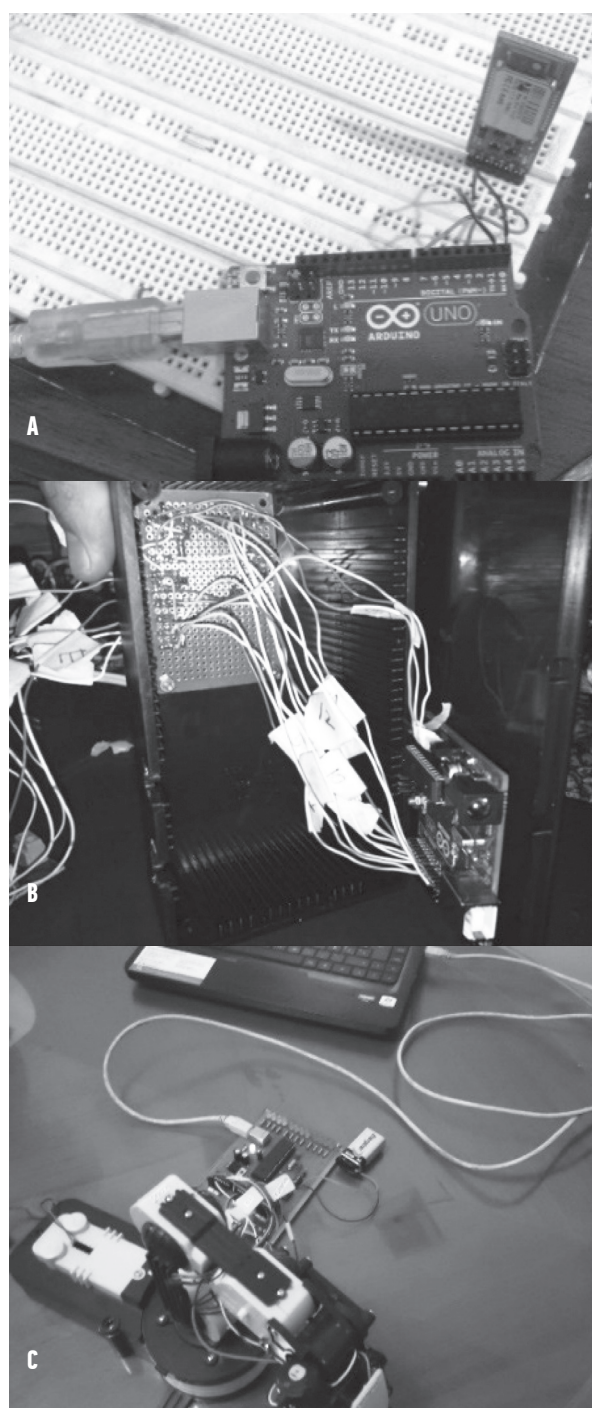
Aquí presentamos los resultados de nuestra aplicación del sistema NeuroSky, el más importante de los cuales fue un prototipo interfaz electrónica configurable, empleado en la implementación de una silla de ruedas controlada por ondas eléctricas cerebrales. Los resultados preliminares que hemos obtenidos con un presupuesto modesto, son útiles en academia, ciencia, técnica, industria, etc.

## MÉTODOS Y MATERIALES PLATAFORMA ARDUINO

La Plataforma Arduino fue creada para hacer prototipos de circuitos electrónicos híbridos (Análogo-Digital). Esta plataforma se basa en dispositivos y programas que son fáciles de usar, como lo demuestran numerosos videos de YouTube - ver, por ejemplo, (Roba, 2011). La Plataforma fue creada considerando las necesidades de artistas, diseñadores y cualquiera que esté interesado en crear objetos o ambientes interactivos. La Plataforma es capaz de detectar las condiciones del ambiente, del medio, a través de las señales que recibe de varios tipos de sensores (p.ej. sondas electrónicas, amplificadores de alta ganancia, transductores de varios tipos). La Plataforma Arduino puede controlar sus alrededores a través del envío de comando a luces, motores, y otros actuadores. El microcontrolador usado (Atmel) en la Plataforma puede ser programado usando el Lenguaje de Programación propio de esta (basado en conexiones por alambres) y el ambiente de desarrollo es basado en Procesamiento (Arduino, 2014). Los proyectos de diseño de la Plataforma Arduino pueden ser independientes o pueden comunicarse con programas que son lanzados desde una computadora (ej. MaxMSP). Las placas pueden ser construidas a mano o compradas pre-ensambladas. El programa de la Plataforma Arduino puede ser descargado de gratis del sitio web de Arduino (<http://arduino.cc/en/Main/Software>). Por estar basado en el lenguaje Java (Oracle), la Plataforma Arduino puede ser controlada a través de un computador portátil con sistema operacional Windows, Mac OS X y Linux. Diseños de referencia (archivos CAD) están

disponibles bajo una licencia de Open-Source (Fuente-Abierta) y el usuario puede adaptarlos a sus necesidades.

La figura 1 muestra nuestra aplicación de Arduino como base de la interfaz electrónica configurable desarrollada para implementarla en la silla de ruedas eléctrica.



**Figura 1.** Aplicación de la Plataforma Arduino para el control de un brazo robótico. **A.** Arduino UNO. **B.** Conjunto mostrando conexiones entre el Arduino UNO y la placa de diseño/trabajo. **C.** Brazo robótico de 8 cm conectado a un computador para simular la interfaz desarrollada.

Como explicado en el sitio web de Arduino, la gran ventaja de esta plataforma es la facilidad del diseño y desarrollo junto al software gratis.

Arduino puede ser programado para salidas digitales o analógicas. Nuestro sistema Arduino consistió de 14 entradas y salidas. De ellas, 4 podían ser usadas para modulación de ancho de pulso (PWM por el inglés Pulse-Width-Modulation). Esas 4 salidas sirvieron para regular los parámetros operacionales de los aparatos eléctricos y electrónicos (ej. velocidad, intensidad). Los pines de Arduino que usamos para el control fueron los siguientes:

- 5, 6, 9, 10 y 11 (salida digital o analógica)
- 2 (indicador de comunicación con el biosensor MindSet)
- 3, 4, 7 y 8 (indicador de señal en el biosensor MindSet)

El biosensor MindSet posee la capacidad de comunicación via Bluetooth. Por tal motivo, fue necesario de un módulo de Bluetooth (BlueS-MiRF de Sparkfun) para conectar con Arduino.

#### MINDSET

La neurotecnología implementada en NeuroSky está basada en las lecturas de las ondas alfa y beta generadas por el cerebro leídas por un biosensor ubicado en la frente de la persona, las mismas que son interpretadas por un sistema de procesamiento de señales y traducida en una interface cerebro-computador, esta tecnología se la denomina EEG (Electroencefalografía) la misma que es parte de la neuro tecnología, aclarando que NeuroSky detecta ondas cerebrales y no pensamientos, lo que hace que las mediciones sean exactas y científicamente aceptables (NeuroSky, NeuroSky Home Page, 2009).

El dispositivo comercializado por NeuroSky es el MindSet el cual cuenta con una conectividad BlueTooth con el computador y no necesita gel conductor para recibir las señales del cerebro, además de funcionar como auricular inalámbrico y poseer baterías recargables, puede ser usado con cualquier dispositivo (computador, celular, etc) que cuente con conectividad BlueTooth.

Las frecuencias cerebrales captadas por los dispositivos NeuroSky son: Delta (de 0 a 2 hz.): Asociada con estados relativamente inconscientes, tales como los del sueño profundo, carentes de actividad onírica. Las ondas Delta raramente

se presentan en un adulto normal despierto; Theta (de 2 a 7 hz.): Esta frecuencia está asociada con la somnolencia, al acceso de material inconsciente, la imaginación, fantasía, la actividad onírica, la resolución de problemas, inspiración, creatividad, y el despertar; Alfa (de 8 a 12 hz.): Está asociada con un sentido de bienestar y conciencia interna placentera, no con un estado de sueño, sino un estado de intensa tranquilidad y relajamiento; Beta (de 12 a 30 hz.): Asociadas al estado de alerta consciente. Dependiendo del mayor o menor estado de alerta requerido por el individuo, estas frecuencias fluctúan clasificándose en Beta Baja o Ritmos Sensomotores de 12 a 15 hz., Beta Media, de 15 a 18 hz. y Beta Alta, de 18 a 30 hz (Spillman, 2008).



Figura 2. Dispositivo MindSet comercializado por NeuroSky.

La investigación usó la metodología Namakforoosh (Tecnológico de Monterrey, 2008). Debido a que la metodología de la investigación tiene relación con el diseño de la investigación y los procedimientos que se siguen para responder a la pregunta de investigación; y que el diseño y las técnicas de investigación tienen que ver con los procesos que se utilizan para la obtención de información relacionada, así como realizar el trabajo objeto de estudio (Namakforoosh, 2002), los parámetros que se utilizaron para dar tratamiento a los datos estadísticos, y la evaluación de la información obtenida, se decidió usar la metodología Namakforoosh como base por ser adecuada a nuestros requerimientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 3 muestra una foto del sistema que se usó para probar con LED (Light Emitting Diodes) el funcionamiento de la Plataforma Arduino conectada al MindSet y un computador para simular el funcionamiento de la interfaz electrónica.

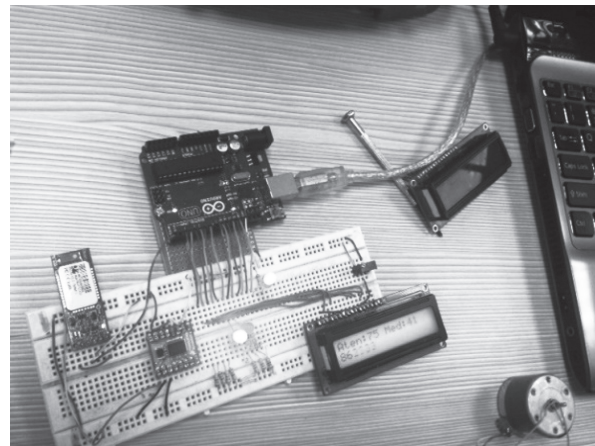


Figura 3. Plataforma Arduino para el Control de LEDs.

La figura 4 ilustra la parte inicial del programa desarrollado para el control de la iluminación de una fuente luminosa (foco), el mismo que fue implementado mediante la interfaz electrónica.

```

PROGRAMA MINDSET CONTROL DE APARQUE DE DOS MOTORES
el microcontrolador procesa la información enviada por el mindset
mediante comunicación Bluetooth.
Se a realizado la activación de dos motores mediante la atención y audición
respectivamente. Cada uno cuando el valor entregado por el mindset es mayor a 60.

Este programa puede ser modificado para realizar distintas operaciones con 5 salidas o entradas,
para esto se debe modificar en los espacios limitados, cabe recordar el nombre de las variables
asignadas por defecto

//
-----
ESPACIO PARA MODIFICAR ACCIONES DE SALIDA o entrada
Nombre variable   Fin de salida   Acción
-----
PEHAB             6               Analógica o Digital
AIH1              7               Digital
AIHC              8               Digital
BIH1              9               Analógica o Digital
BIHC             10              Analógica o Digital
//
-----
*/

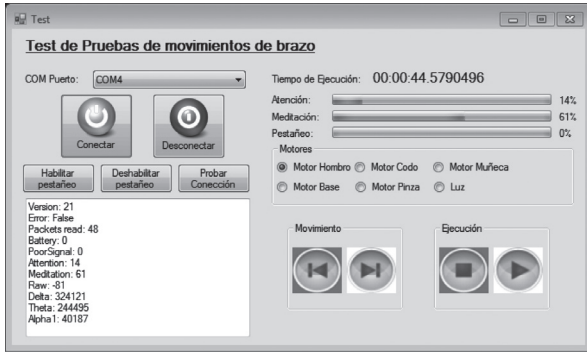
//*****
//Declaración de librerías a ser usadas
//*****
#include <liquidCrystal.h> //pantalla LCD
//*****
//VARIABLES DEL SISTEMA
//*****
#define LED 13
#define BAUDRATE 57600 //velocidad de comunicación
//comunicación LCD
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
// Variables de datos del mindset
byte errorRate = 200;
byte attention = 0;

```

Figura 4. Parte inicial del programa usado para controlar la iluminación de un foco.

La figura 5 muestra la captura de la pantalla del computador mostrando el sistema de NeuroSky en operación con software desarrollado en Microsoft C# que monitorea los niveles de atención, meditación, pestañeo y señales alfa, beta y gamma del cerebro, para luego correlacionar con el movimiento de un brazo robótico.

La figura 6 muestra la silla de ruedas cuyo movimiento es controlado por señales eléctricas del cerebro, mediante la interfaz electrónica configurable desarrollada. La silla fue construida por artesanos de Cuenca. Todos los componentes (motores eléctricos y baterías) son genéricos.

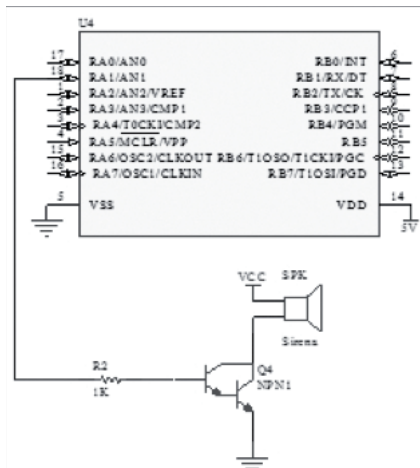


**Figura 5.** Prueba de sistema NeuroSky para control de un brazo robótico. Captura de pantalla de computador mostrando los valores de varias funciones fisiológicas de interés (ej. atención, meditación).

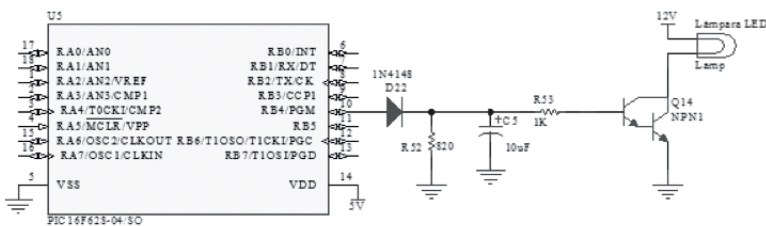
Podemos resumir nuestros logros de la siguiente forma. Creamos una interfaz electrónica configurable, basada en Arduino, para el control del funcionamiento de dispositivos y aparatos electrónicos y electromecánicos, mediante las ondas del cerebro; a continuación mostramos



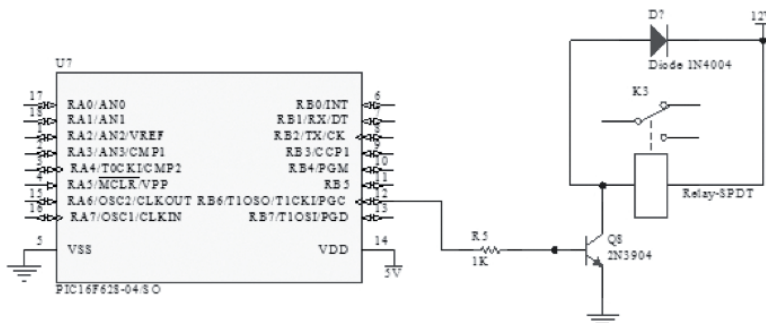
**Figura 6.** Foto de Silla de Ruedas Desarrollada. El movimiento de la silla es controlado por la mente a través de neurotecnología y la interfaz electrónica basada en la Plataforma Arduino.



**Figura 7.** Esquema de circuito usado para el control de alarma sonora.



**Figura 8.** Esquema del circuito para el control de LEDs.



**Figura 9.** Esquema del circuito para el control de fuentes de luz incandescentes.

algunos ejemplos que pueden realizarse usando la interfaz desarrollada.

**Alarma Sonora:** La figura 8 muestra el esquema del circuito que se usó para el control de alarma sonora.

**LED (Light Emitting Diodes):** Diodos Emisores de Luz. El número de LEDs controlados depende del número de salidas disponibles y usadas.

Varios LEDs pueden ser usados simultáneamente para producir mayor iluminación (igualando la iluminación dada por bombillos y lámparas cotidianas). La figura 8 ilustra el esquema del circuito que se usó.

**Fuentes de Luz Incandescentes:** La figura 9 da el esquema del circuito usado.

**CONCLUSIONES**

Los resultados de nuestro proyecto muestran que es posible crear interfaces configurables mediante programación. Este proceso de creatividad puede ser usado como método didáctico. Los circuitos que diseñamos pueden ser el-

borados y adaptados a situaciones específicas. Por tanto, sirven para enriquecer la experiencia académica, científica, tecnológica, etc, y así expandir la matriz productiva. La neurotecnología con biosensores MindSet (NeuroSky) es útil para usar señales cerebrales con el objetivo de controlar dispositivos, aparatos, equipos, instrumentos, etc. Nuestros resultados dan evidencia de la capacidad para desarrollar sistemas que ayuden a los discapacitados. También muestran la posibilidad de mejorar la capacidad de meditación y atención (ej. mediante juegos de mesa). La neurotecnología puede ser usada con comandos de audio. Así, por ejemplo, podemos usar el micrófono de MindSet para acompañar las órdenes dadas por los niveles de atención y meditación (García Vacacela, 2011).

### RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), a través del Sistema de Investigación y Desarrollo (SINDE), a quienes el autor les está agradecido (ver García Vacacela, 2010, 2011). Agradecemos a nuestros colegas Ingenieros Ángel Yaguana y Omar Alvarado por sus contribuciones al proyecto. Extendemos nuestro agradecimiento al Prometeo José O. Bustamante Pérez, Doctor en Ciencias, del Proyecto Prometeo (Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT) y recientemente vinculado a nuestra institución, por su tutoría en la redacción del manuscrito.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO. (5 de mayo de 2014). *Página principal del sitio de internet de Arduino*. Obtenido de Arduino: <http://www.arduino.cc>
- ATMEL. (5 de mayo de 2014). *Página principal del sitio web de Atmel*. Obtenido de Atmel: <http://www.atmel.com>
- BEHNEMAN, A., BERKA, C., STEVENS, R., VILA, B., TAN, V., GALLOWAY, T., . . . RAPHAEL, G. (2012). Neurotechnology to accelerate learning: during marksmanship training. *IEEE Pulse*, 3(1), págs. 60-63.
- BENEDIKTER, R., GIORDANO, J., & FITZGERALD, K. (2010). The future of the self-image of the human being in the Age of Transhumanism, Neurotechnology and Global Transition. *Futures*, 42(10), págs. 1102-1109.
- FARINA, D., & NEGRO, F. (2012). Accessing the neural drive to muscle and translation to neurorehabilitation technologies. *IEEE Rev Biomed Eng*, 5, págs. 3-14.
- GARCIA VACACELA, R. (2010). Proyecto Semilla: Investigación de Neuro Tecnologías Aplicadas Comercialmente. SINDE.
- GARCÍA VACACELA, R. (2011). Proyecto Semilla: Investigación de Neurotecnologías Innovadoras Aplicadas a Personas con Capacidades Especiales. SINDE.
- GRAHAM, E. (2002). 'Nietzsche Gets a Modem': Transhumanism and the Technological Sublime. *Literature and Theology*, 16(1), págs. 65-80.
- MACHINIMA. (12 de marzo de 2010). Deus Ex Human Revolution GDC 2010 Teaser Trailer. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=1BifPsHprbs>
- MACHINIMAPRIME. (18 de marzo de 2014). Human Revolution - Deus Ex - Short Film Trailer. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=STtw4INonsY>
- MCNAMEE, M., & EDWARDS, S. (2006). Transhumanism, medical technology and slippery slopes. *J Med Ethics*, 32(9), págs. 513-518.
- NAMAKFOROOSH, M. (2002). *Metodología de la Investigación*. México: Limusa.
- NEUROSKY. (19 de enero de 2007). NeuroSky (Canal de YouTube). Recuperado el 7 de junio de 2014, de <https://www.youtube.com/user/NeuroSky>
- NeuroSky. (2009). *NeuroSky Home Page*. Recuperado el 2 de 7 de 2010, de NeuroSky Home Page: [www.neurosky.com](http://www.neurosky.com)
- PROXYDESIGN. (16 de junio de 2010). NeuroSky Brain Scan Data in Processing. Recuperado el 7 de junio de 2014, de <https://www.youtube.com/watch?v=-AT8YQknkbg>
- ROBA, I. (06 de mayo de 2011). Brazo robótico + arduino + nunchuk. Recuperado el 7 de junio de 2014, de <https://www.youtube.com/watch?v=E04QNA5V4>
- SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Consejo Nacional para el Desarrollo, República del Ecuador. Recuperado el 07 de junio de 2014, de <http://www.buenvivir.gob.ec>
- Spillman, R. (2008). *Las Ondas Cerebrales*. España: Independiente.
- TECNOLÓGICO DE MONTERREY. (2008). *Universidad Virtual Tecnológico de Monterrey*. (D. H. Valenzuela, Ed.) Recuperado el 1 de 07 de 2011, de <http://www.mty.itesm.mx/dtie/centros/csc/materias/sc99-489/sesion-metodologias.pdf>